

# Espacialização de dados de precipitação com Krigagem para o Estado do Rio Grande do Sul, Brasil

Gledson Leal, Alexandro Schafer, John Roldan, Gustavo Trentin

Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada  
Universidade Federal do Pampa & Embrapa Pecuária Sul  
Bagé, Rio Grande do Sul, Brasil  
{leitelealgledson, alschafer, johnrroldan}@gmail.com,  
gustavo.trentin@embrapa.br

**Resumo** O objetivo desse trabalho foi espacializar os dados de precipitação provenientes de uma série histórica de 30 anos, compreendidos entre 1976 até 2005, com o uso de métodos geoestatísticos, para determinar padrões de precipitação do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, utilizando técnicas de geoprocessamento. O interpolador aplicado foi a krigagem. Foram usadas as 566 estações meteorológicas de toda a Região Sul do Brasil. De forma geral, a krigagem conseguiu interpolar os dados de precipitação nos doze meses do ano, menos para os dados do mês de outubro. Em relação à variabilidade anual de chuvas nesse estado, as precipitações comportam-se de forma homogênea geográfica e sazonalmente, o que implica diretamente na produção agropecuária que engloba a maior porcentagem da economia gaúcha.

**Palavras-chave:** Estatística espacial · espacialização · sistema de informação geográfica.

## 1 Introdução

A precipitação é o conjunto de todas as formas de umidade emanadas da atmosfera e depositadas na superfície terrestre como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada [14]. Entretanto, esse recurso natural é finito e denota a obrigatoriedade de aquisição de conhecimento para otimizar o uso da água.

A quantidade hídrica no solo é um dos componentes necessários para a produção de qualquer espécie. O deficit hídrico acarreta importantes danos no crescimento e desenvolvimento das plantas e, desde a antiguidade, o homem busca alternativas para superar as deficiências de água, seja por armazenamento hídrico ou manipulação genética de cultivares e de animais. O estudo da variabilidade da precipitação pode reduzir as consequências danosas e maximizar os efeitos benéficos [9]. A geração de mapas através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem como um dos objetivos de auxiliar na tomada de decisão no uso de algum recurso natural.

O mapeamento da precipitação tem sido alvo de pesquisadores, trabalhando por melhoria de aspectos metodológicos, gerando soluções de uso e aplicação prática para o planejamento do meio físico, proporcionando aos diversos setores da sociedade desenvolver técnicas e estudos aprimorados, para a execução racional de projetos hidrológicos [8].

Para a geração de mapas através de um SIG que contenham a variabilidade espacial da precipitação em um determinado período de tempo, é necessária a interpolação dos dados pontuais obtidos por estações pluviométricas em uma determinada região [5]. A interpolação espacial converte os dados observados em campos contínuos, produzindo padrões espaciais representativos podendo ser comparados com outras entidades espaciais contínuas [5].

Existem diversos métodos disponíveis para a realização da espacialização de dados climáticos, os mais aplicados são o Inverso da Potência da Distância (IPD), a Krigagem (KG), Função de Base Radial Multiquadrada (RBF) e Vizinho Natural (NN) [2]. O método Geoestatístico aplicado neste estudo foi a KG que foi originalmente proposto por Matheron e Huijbregts [6], sendo o método mais popular para interpolação de dados espaciais, e é um caso especial de previsão linear ideal para a aplicação de processos aleatórios no espaço ou em campos aleatórios [13].

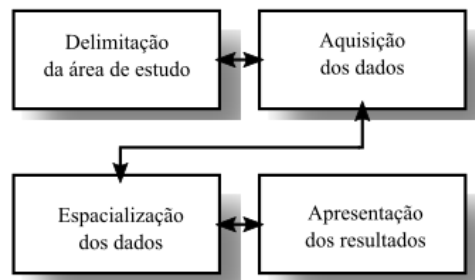
O objetivo desse estudo é espacializar os dados de precipitação provenientes de uma série histórica de 30 anos, compreendidos entre 1976 até 2005, com o uso de métodos geoestatísticos, para determinar padrões de precipitação do Estado do Rio Grande do Sul - Brasil, utilizando técnicas de geoprocessamento. Este estudo faz parte de uma pesquisa mais abrangente onde serão abordados os demais métodos interpoladores, com a finalidade de aplicar o melhor método na espacialização de dados climatológicos para estudos referentes ao balanço hídrico climatológico para a mesma região de estudo deste trabalho.

O texto subdivide-se na Seção 2 onde é apresentada a metodologia desse trabalho; na Seção 3 onde são abordados os resultados obtidos através da espacialização dos dados e, por fim, na última Seção onde são apresentadas as conclusões provenientes no escopo desse trabalho.

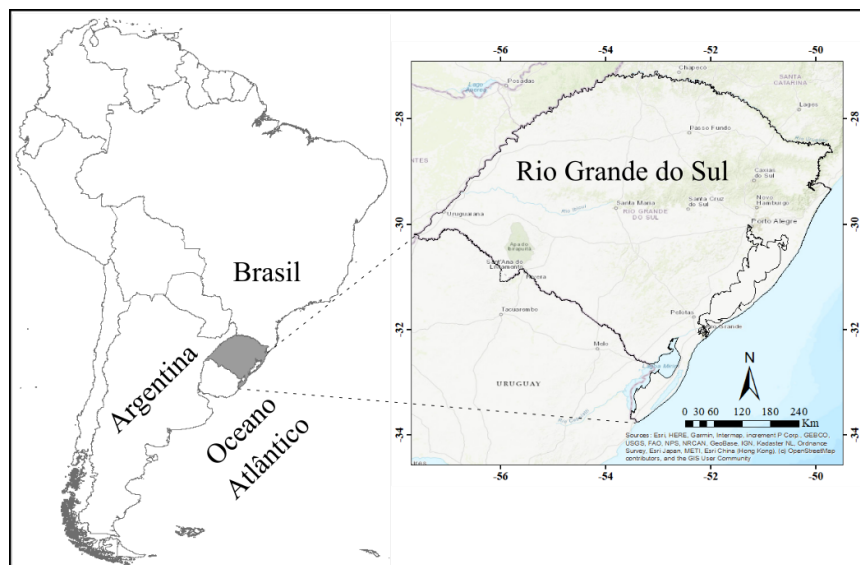
## 2 Material e Método

O método empregado para a execução do estudo, composto por quatro etapas sequenciais é apresentado na figura 1. A figura demonstra que, caso haja algum problema em etapas anteriores, poderão ocorrer soluções para o correto desenvolvimento da metodologia.

A área de estudo (figura 2) compreende a unidade federativa do Rio Grande do Sul, Brasil. O clima desta região caracteriza-se por ser homogêneo no que se refere à pluviometria e ao ritmo estacional de seu regime [11].



**Figura 1.** Etapas para o desenvolvimento do trabalho



**Figura 2.** Localização da área de estudo

Os dados de precipitação média mensal utilizados no estudo foram obtidos junto ao Atlas Climatológico da Região Sul do Brasil [15], provenientes de 566 estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) e do 8º Instituto Nacional de Meteorologia (DISME/INMET), das estações da Embrapa Clima Temperado e da Embrapa Trigo, da rede de estações da Agência Nacional de Águas (ANA). O período histórico é de 30 anos, compreendidos entre 1976 até o ano de 2005, dados disponíveis no [15]. Um dos alvos desse estudo, é realizar uma metodologia para espacialização de dados provenientes da natureza, proporcionando a replicação do estudo, em qualquer período de tempo. Entretanto, pretende-se, na continuação do trabalho, inserir os dados mais recentes.

Devido a errônea localização geográfica de algumas estações elencadas no Atlas [15], foi necessário corrigir as suas coordenadas geográficas, relacionando o nome de cada estação com a sua localização geográfica correta através do Inventário das Estações Pluviométricas fornecido pela ANA [1].

A representação cartográfica dos contornos do Estado do Rio Grande do Sul - Brasil (*shapefiles*) foi obtido no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O Sistema de Coordenadas Geométricas utilizado neste *shape* é o *World Geodetic System of 1984* (WGS 84). Devido à variabilidade espacial, os dados pluviométricos foram interpolados incluindo os dados das estações localizadas no estado de Santa Catarina, localizadas próximo a divisa entre os dois estados e com dados de estações do Uruguai, considerando sua dependência espacial e a forma como um dado influencia no seu vizinho. O *shape* do Uruguai foi obtido através do seu Instituto Nacional de Estatística<sup>1</sup>, com o mesmo sistema de coordenadas WGS 84.

O Método geoestatístico aplicado neste estudo foi a krigagem (KG). Outro fator que reforça a aplicação do método de krigagem é devido à variabilidade espacial das estações usadas nesse estudo. Wrege e colaboradores [15] informam que os dados de chuva dos três estados da Região Sul do Brasil foram interpolados em conjunto com dados da divisa entre os estados de São Paulo e Paraná, em toda a Região Sul do Brasil, com estações do Uruguai, por causa da dependência dos dados de cada estação com estações circunvizinhas. Os autores do Atlas, do qual foram extraídas as médias pluviométricas, também sugerem o emprego de equacionamento por técnicas de geoestatística (krigagem), em SIG, por meio de modelos denominados semivariogramas [15].

Foi aplicada, neste estudo, a krigagem ordinária que é definida na equação 1, onde  $s = (x, y)$  é um local no espaço geográfico e o  $Z(s)$  é algum valor observado definido para esta localização, por exemplo, a leitura da precipitação ou temperatura em uma determinada região. O modelo é baseado em uma média constante  $\mu$  para os dados (sem tendência) e erros aleatórios  $\varepsilon(s)$  com dependência espacial [4].

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s) \quad (1)$$

Suponha que o processo aleatório  $\varepsilon(s)$  seja intrinsecamente estacionário. O preditor é formado como uma soma ponderada dos dados (equação 2), onde  $Z(s_i)$  é o valor medido no  $i$ -ésimo local,  $\lambda_i$  é um peso desconhecido para o valor medido no  $i$ -ésimo local,  $s_0$  é a localidade da previsão e  $n$  é o número dos valores medidos [4].

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (2)$$

Para garantir que o preditor seja imparcial para cada medida desconhecida, a soma do peso  $\lambda_i$  deve ser igual a 1. Usando essa restrição, é necessário verificar se a diferença entre o valor verdadeiro  $Z(s_0)$  e o preditor,  $\sum \lambda_i Z(s_i)$ , é a menor possível, sendo necessário minimizar a expectativa estatística elevando a equação 2 ao quadrado a partir da qual as equações foram obtidas [4].

<sup>1</sup> <http://www.ine.gub.uy/mapas-vectoriales>

A solução para a minimização, restringida pela imparcialidade, fornece as equações de krigagem 3 ou 4, onde a matriz  $\Gamma$  contém os valores do semivariograma modelado entre todos os pares de localização a amostra, em que  $\gamma_{ij}$  denota os valores do semivariograma modelado com base na distância entre as duas amostras identificadas como as  $i^{\circ}$  e  $j^{\circ}$  posições. Já o vetor  $g$  contém os valores do semivariograma modelado entre cada local medido e o local da previsão, onde  $\gamma_{i0}$  denota os valores do semivariograma modelado com base na distância entre a  $i$ -ésima localização da amostra e a localização da previsão. O valor desconhecido  $m$  do vetor  $\lambda$  também é estimado e surge devido à restrição de imparcialidade. [4].

$$\Gamma * \lambda = g \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \dots & \gamma_{1N} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{N1} & \dots & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{10} \\ \vdots \\ \gamma_{N0} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Para a espacialização dos dados vetoriais de precipitação pluviométrica mensal, para cada mês do ano, foi utilizado a software de SIG *ArcMap* que é o principal componente do conjunto de programas de processamento geoespacial do *ArcGIS*, para criar e editar dados geográficos aplicáveis neste estudo [12]. O *ArcMap* contém ferramentas para edição baseadas em desenho assistido por computador (*computer-aided design* - CAD), sendo um sistema de informação geográfica (*Geographic Information System* - GIS). Dentre as ferramentas do *ArcMap*, o Analisador Geoestatístico fornece dois grupos de técnicas de interpolação: determinística e geoestatística que dependem de métodos estatísticos e matemáticos, podendo ser usados para criar superfícies e avaliar a incerteza das previsões [4].

Para a aplicação da krigagem, é necessário a determinação da variação espacial que é quantificada por um semivariograma, conforme a equação 5, onde  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(x_i), Z(x_i + h)$  e  $\gamma^*(h)$  é o semivariograma estimado [6].

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) + h]^2 \quad (5)$$

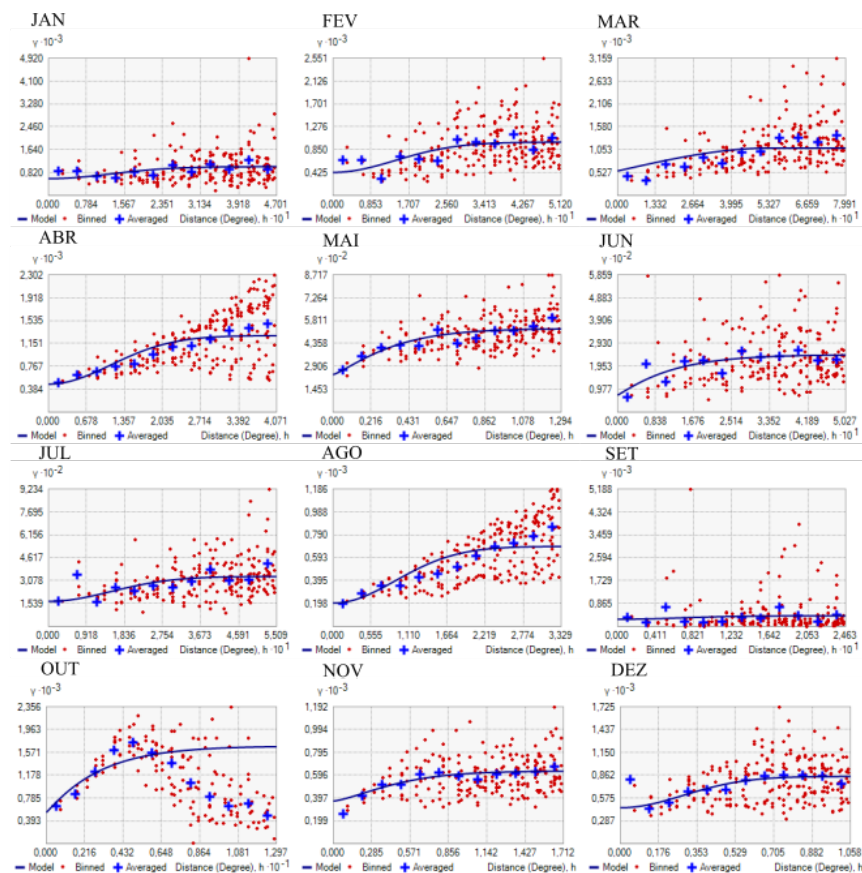
Inseridos no analista geoestatístico do Arcmap, encontram-se modelos de semivariogramas ajustados. Dentre os modelos apresentados por Johnston e colaboradores (2001)[4], os indicados para os mais variados tipos de situações são o esférico, exponencial ou gaussiano, conforme McBratney e Webster (1986) [7]. O modelo aplicado neste estudo foi o esférico que engloba 95% dos casos ambientais [3], definido conforme a equação 6, onde  $\theta$  é o valor de patamar (*sill*),  $h$  é o vetor que contém o tamanho do atraso (*lag*) que é o tamanho de uma classe de distância na qual os pares de locais são agrupados para reduzir o grande número de combinações possíveis e  $\theta_r$  é o intervalo do modelo [4].

$$\gamma(h) = \begin{cases} \theta_s \left[ \frac{3}{2} \frac{h}{\theta_r} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{\theta_r} \right)^3 \right] & \text{se } 0 \leq h \leq \theta_r \\ \theta_s & \text{se } \theta_r < h \end{cases} \quad (6)$$

### 3 Resultados e Discussão

Na figura 3 são apresentados os 12 gráficos dos semivariogramas de cada mês de precipitação. No geral, o aspecto visual do semivariograma comportou-se de forma semelhante nos 12 meses. Como exemplo, pode ser observado o modelo esférico do mês de janeiro, com um valor de patamar de 506,54, um intervalo de 0,47012 e efeito de pepita 568,3. Portanto, os valores calculados do semivariograma usando o modelo esférico selecionado está disposto conforme a equação 7.

$$\gamma(h) = \begin{cases} 506,54 * (1,5 * (h/0,47012) - 0,5(h/0,47012)^3) & \text{se } h \leq 0,47012 \\ 506,54 & \text{se } h > 0,47012 \end{cases} \quad (7)$$

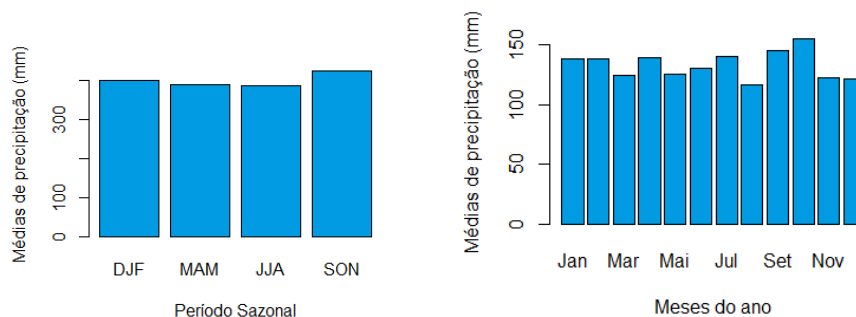


**Figura 3.** Semivariogramas plotados para médias mensais de precipitação

Nos gráficos, os pontos azuis representam a curvatura ideal para a interpolação e a curva azul é o resultado da interpolação. Desta forma, pode ser observado que para o mês de outubro o modelo esférico não se apresentou de forma satisfatória, devendo ser realizado um melhor ajuste para o modelo ou a aplicabilidade de outro modelo de semivariograma. Uma provável hipótese seria a média superior aos outros 11 meses.

Na figura 4 são apresentados os gráficos das médias mensais e sazonais de precipitação no Estado do Rio Grande do Sul. Percebe-se que o mês de agosto possui o menor volume de chuva, em torno de 116 mm. A maior média está em Outubro, ultrapassando os 155 mm de precipitação. Nos períodos sazonais, nota-se que no período de sazonal de verão (DJF) as médias permanecem próximas dos 400 mm e nos períodos sazonais de outono (MAM) e inverno (JJA) as médias permanecem em torno de 380 mm. O período sazonal mais chuvoso observado é a primavera (SON), ultrapassando os 420 mm de precipitação.

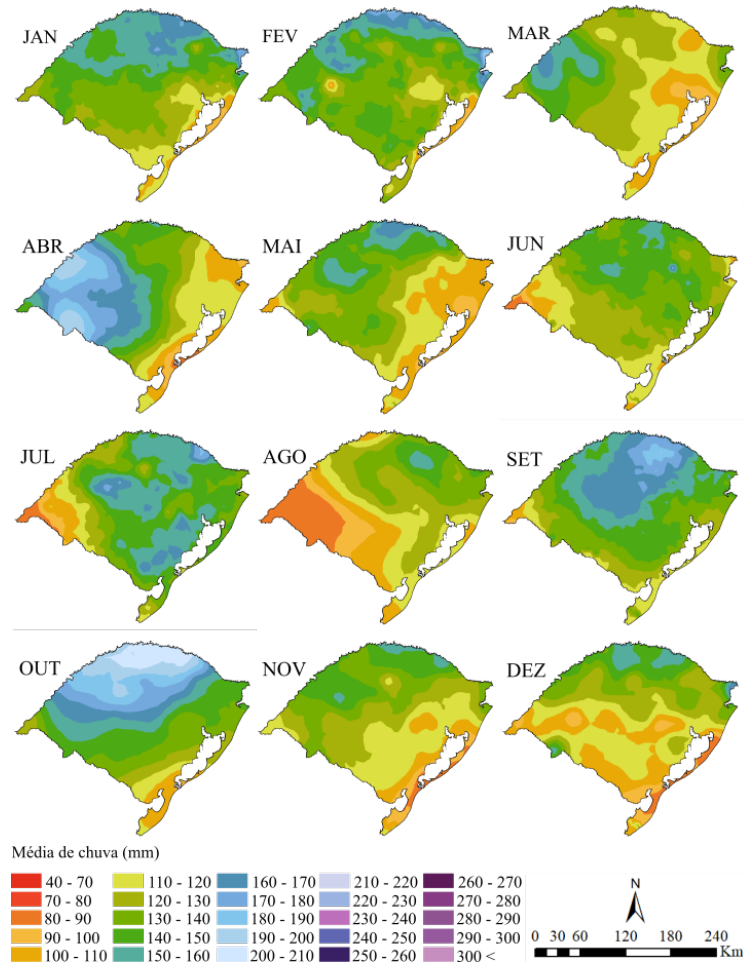
Observando os dois gráficos, as precipitações comportam-se de forma homogênea, salvo anos que a região sofre interferências de eventos climáticos como El Niño e La Niña. Nessas condições, no período sazonal da primavera, com a influência do El Niño, percebe-se um período com volumes maiores de chuva, ao contrário em períodos de La Niña, onde chove menos, principalmente na primavera [10].



**Figura 4.** Médias de precipitação mensal e sazonal

Na figura 5 são apresentados os mapas temáticos de precipitação gerados através da interpolação por krigagem. Foram gerados mapas das médias históricas de 30 anos, compreendidos entre 1976 até 2005, para cada mês do ano. Nesses mapas é possível visualizar a variabilidade espacial e temporal da precipitação média mensal. É possível visualizar claramente os períodos mais chuvosos e de estiagem, com precipitações variando de 32mm até ultrapassar os 300mm mensais no período de estudo.

A mesorregião sudoeste do Rio Grande do Sul apresenta uma maior variabilidade temporal de precipitação em relação ao restante do estado, variando de 40mm até 250 mm. Nessa região, os meses com maior estiagem são os compreendidos entre maio a agosto.



**Figura 5.** Médias Pluviométricas Espacializadas

As maiores médias mensais estão concentradas nas mesorregiões noroeste e nordeste, onde as médias pluviométricas podem ultrapassar os 300 mm, como observado nos meses de Janeiro e Fevereiro.



## 4 Conclusões

Este trabalho apresentou a espacialização de dados pluviométricos para o Estado do Rio Grande do Sul, em um período histórico de 30 anos, com dados resultantes das médias observadas das 566 estações pluviométricas localizadas em toda a região sul do Brasil.

O método geoestatístico aplicado foi a krigagem que conseguiu interpolar os pontos de forma satisfatória, com exceção do mês de outubro, onde a curva não seguiu a distribuição considerada ideal, no modelo esférico. Uma das possíveis hipóteses que causaram essa anomalia, é a média pluviométrica, sendo a maior nos 12 meses em estudo. Como solução, pode-se aplicar outros interpoladores ou outro semivariograma ajustado.

Pode-se concluir que o regime de chuvas do Rio Grande do Sul é, de forma geral, homogêneo geográfica e sazonalmente o que implica diretamente na produção agropecuária que engloba a maior porcentagem da economia gaúcha.

Como trabalhos futuros, pretende-se utilizar outros interpoladores para espacializar a precipitação média mensal para o Rio Grande do Sul, buscando identificar o que represente, de maneira mais adequada, a real distribuição espacial da precipitação no estado.

## Referências

1. Ana. Inventário das estações pluviométricas. [S.l.]: Agência Nacional de Águas. Brasília (2009)
2. Dos Reis, M. H. et al. Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal. (2005)
3. Grego, C. R.; De Oliveira, R. P.; Vieira, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. Embrapa Territorial-Capítulo em livro científico (ALICE), (2014)
4. Johnston, K. et al. Using ArcGIS geostatistical analyst. Redlands: Esri, (2001)
5. Machado, E. C. M. N.; Furtunado, O. M.; De Andrade Pinto, E. J. Espacialização dos dados de precipitação anual e trimestrais da bacia do Rio das Contas (Sub-Bacia 52). In: XIV world water congress, Porto de Galinhas. (2011)
6. Matheron, G.; Huijbregts, C. Universal kriging (an optimal method for estimating and contouring in trend surface analysis), decision making in the mineral industry. CIM Special Volume, n. 12, p. 159–169, (1971)
7. Mcbratney, A. B.; Webster, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. Journal of soil Science, v. 37, n. 4, p. 617-639, (1986)
8. Mello, CR de; Silva, AM da. Hidrologia: Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas. Lavras: UFLA (2013).
9. Mine, MRM. Aplicação da geoestatística no estudo da variabilidade da precipitação. Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá-PE (2006)
10. Matzenauer, R.; Radin, B.; Maluf, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. Agrometeoros, v. 25, n. 2 (2018)
11. Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. (2007)

12. Shaner J. e Wrightsell, J.Editing in arcMap. [S.l.]: Esri. (2000)
13. Stein, M. L.Interpolation of spatial data: some theory for kriging. [S.l.]: SpringerScience & Business Media (2012)
- [saath2018] aath, K.C.d.O., Fachinello, A.L.: Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no brasil. Revista de Economia e Sociologia Rural 56(2), 195–212 (2018).
14. Villela, S.M., Mattos, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraaw Hill do Brasil. 245p. (1975)
15. Wrege, M. S. et al. Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012. (2012)