


# ORIENTAÇÃO PARA INTERPOLADORES DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS

## BASE DE DADOS: PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE (PERD) MINAS GERAIS



 Cristiano Alexandre Vieira

 Fulvio Cupoñillo

 Instituto Federal de Minas Gerais - Bambuí

2020

# ORIENTAÇÃO PARA INTERPOLADORES DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS

## BASE DE DADOS: PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE (PERD) MINAS GERAIS

- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - Campus Bambuí

- **Cristiano Alexandre Vieira** (autor)

Estudante do Curso de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental - IFMG

- **Fulvio Cupolillo** (orientador)

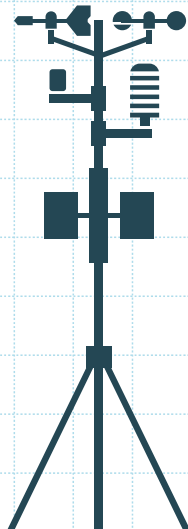
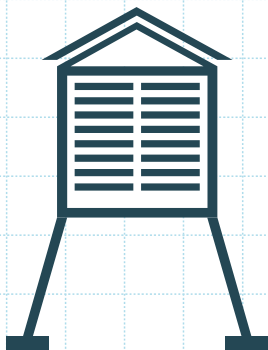
Professor Doutor do Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental - IFMG

- **Jean Monteiro Lima** (colaborador)

Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental - IFMG

- **João Bosco Coelho Nunes** (Design e ilustração)

Bacharel em Design Gráfico - UNIVALE



# INTRODUÇÃO

Os mapas temáticos constituem um importante mecanismo para análise de informações do espaço geográfico em diferentes escalas. No contexto atual a construção dos mapas utiliza, em grande parte, a técnica de geoprocessamento na qual permite organizar e comparar dados descritivos em camadas, possibilitando extensa análise por intermédio do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A manipulação dos dados geográficos a partir do SIGs proporcionam inúmeros benefícios em diversas áreas do conhecimento, dentre elas os estudos dos fenômenos que se alteram no espaço, ou seja, que apresentam variabilidade espacial dos fenômenos naturais.

Na busca pela compreensão destes fenômenos os métodos de interpolação revelam-se como uma importante ferramenta, resultante de um processo estatístico-matemático que permite manipular informações geoespaciais, extraindo novas informações e constituindo um conjunto de dados e mapas a partir do uso de SIGs.

Percebe-se a existência de diversos métodos de interpolação disponíveis no SIG, porém ao mapear a variabilidade espacial de parâmetros climáticos, de acordo com Alves (2011) é preciso considerar questões básicas como a forma, tamanho e orientação da área em estudo, de modo que não comprometa nos resultados finais.

Esta cartilha tem como objetivo analisar as características e aplicação de alguns métodos de interpolação e apresentar, por meio de mapas temáticos produzidos através do software ArcGis 10.3, os resultados referentes à espacialização dos parâmetros climáticos: precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar.

Os dados analisados neste estudo correspondem ao período entre 2005 e 2015, relacionado aos valores médios decendiais extraídos das estações meteorológicas de Caratinga, Ipatinga, Timóteo e do Parque Estadual do Rio Doce (PERD), área de concentração da pesquisa de Pós-graduação *Stricto sensu* em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), cuja cartilha faz parte do Produto Técnico da pesquisa e dissertação de mestrado.

Os mapas temáticos desenvolvidos neste trabalho foram organizados em decêndios, levando em consideração os percentuais máximos e mínimos registrados na estação seca e chuvosa da área em estudo. Para cada parâmetro climático foram gerados oito mapas temáticos, abordando os métodos de interpolação distintos, de modo que pode-se comparar visualmente o desempenho e espacialização das informações.

Contudo, pretende-se com esta cartilha subsidiar pesquisas e trabalhos acadêmicos que visam a comparação e identificação do desempenho de distintos métodos de interpolação para análise de diferentes parâmetros climáticos.

A técnica de geoprocessamento de uma superfície real para uma análise espacial por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite organizar, conforme destaca Alves (2011) uma representação de grande relevância para os estudos na atualidade, uma vez que por meio do ambiente digital pode-se visualizar e comparar atributos de dados descritivos e organizá-los por meio da sobreposição de camadas.

De acordo com Câmara et al. (1996) os Sistemas de Informações Geográficas são capazes de armazenar, analisar e manipular dados geográficos, das quais possuem inúmeros benefícios no que tange a visão espacial e na ocorrência de fenômenos atmosféricos, por exemplo. Este sistema permite a realização de análises não-estruturadas e relacionamentos não-convencionais entre os dados por meio da representação espacial em mapas.

O processamento de um SIG possibilita realizar análise espacial de determinada região superando a técnica analógica, com o armazenamento de informações geográficas dos mapas para o formato digital, favorecendo uma amostra visual e comparativa que envolve

diferentes variantes por meio de sobreposições (ALVES, 2011).

As possibilidades de convergência de dados proporcionados pelos SIGs conferem os benefícios desta ferramenta, tornando-a indispensável na compreensão dos fenômenos espaciais em diversas áreas do conhecimento. O aperfeiçoamento destes estudos pode ser estabelecido a partir da geoestatística, que corresponde ao ramo da estatística aplicada, definida por Olea (1991) como o estudo dos fenômenos que se alteram no espaço, ou seja, que apresentam variabilidade espacial dos fenômenos naturais.

## ▲ INTERPOLAÇÃO ESPACIAL

O método de interpolação revela-se como uma importante ferramenta, que resulta de um processo estatístico-matemático que permite encontrar valores intermediários entre os valores discretos de uma função. A interpolação também possibilita a manipulação de informações geoespaciais, extração de novas informações com formação de um conjunto de dados e construção mapas a partir do uso de SIGs.

De acordo com Burrough (1986) citado por Mazzini e Schettini (2009) a interpolação



espacial consiste num procedimento que visa estimar os valores de propriedades locais que não foram amostrados (matriciais) tendo por base os valores de dados observados em locais conhecidos (vetoriais).

Para Lucas et al. (2013) os interpoladores são ferramentas matemáticas capazes de atribuir valores relativos a alguma variável junto aos pontos que são inseridos em um certo campo de valores ou banco de dados já existentes a partir de pesquisas e observações sistemáticas e georreferenciadas. Deste modo é permitido a transformação de dados discretos em contínuos.

A ideia base do processo de interpolação é que, em média, coexiste uma similaridade maior de valores entre as áreas mais próximas frente as áreas mais distantes (CÂMARA e MEDEIROS, 1998). Fato este que fundamenta as relações espaciais existentes entre fenômenos geográficos, permitindo o uso da correlação espacial como mecanismo de diferença entre os valores estimados.

Segundo Alves (2011) o conceito de interpolação é útil quando os dados disponibilizados para uma determinada área são insuficientes e se quer ter conhecimento dos valores de abrangência dessas amostras. Desta forma o uso de métodos de interpolação para

diferentes parâmetros meteorológicos possibilita sua estimativa em áreas ou regiões na qual não há instalação de estações meteorológicas.

O resultado do processo de interpolação espacial é obtido através de isolinhas, linhas do mesmo valor, que correspondem as linhas de contorno de mesma altitude.

Logo, ao analisar o comportamento e distribuição espacial de variáveis meteorológicas torna-se fundamental para elaborar e definir estratégias de planejamento territorial, políticas que atendam desde ao zoneamento agrícola, questões energéticas, ambientais e riscos climáticos. Neste sentido, as vantagens no uso de técnicas de interpolação mostram-se eficazes através da facilidade na verificação de parâmetros e sua espacialização de modo que permite organizar estudos e propor melhorias com agilidade e precisão (PERIN et al., 2015).

## ● TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO

Os interpoladores são assinalados, de acordo com os estudos de Hartkamp et al. (1999) em diferentes categorias, sendo elas globais ou locais, exatos ou suavizantes; e entre determinísticos ou estocásticos, conforme serão apresentados a seguir.

Os interpoladores globais envolvem todos os pontos da área amostrada na qual determinam apenas uma função mapeada sobre toda a região. Já os locais definem-se sobre porções determinadas do mapa, onde as alterações de valores interferem diretamente sobre os pontos próximos (MAZZINI e SCHETTINI, 2009).

Interpoladores exatos são utilizados quando se tem uma precisão sobre valores dos pontos, uma vez que estes representam os dados de forma precisa e não apresenta resíduos. Em contrapartida, os interpoladores suavizantes (smoothing) são aplicados quando existe uma incerteza relacionada aos valores amostrados; eles produzem superfícies com curvas suavizadas e permite que os possíveis erros sejam reduzidos (MAZZINI e SCHETTINI, 2009).

Os interpoladores estocásticos utilizam a probabilidade e possuem critérios estatísticos para atribuir um peso aos pontos em seu cálculo. Os determinísticos não utilizam os métodos da probabilidade, neste modelo são geradas combinações lineares dos valores amostrados tendo por base, de acordo com Mazzini e Schettini (2009) a geometria da distribuição espacial dos dados.

De acordo com Hartkamp et al. (1999) alertam para o fato de que quando os

dados são escassos existe uma grande variação sobre os resultados gerados, ao passo que quando se tem uma grande distribuição de informações, a interpolação revela resultados semelhantes.

Sendo assim a qualidade de uma interpolação depende da distribuição e conhecimento dos pontos usados no cálculo e correlação de modelos estatísticos aos fenômenos estudados, na qual a escolha deste modelo é fundamental para obter melhores resultados (LUCAS et al., 2013).

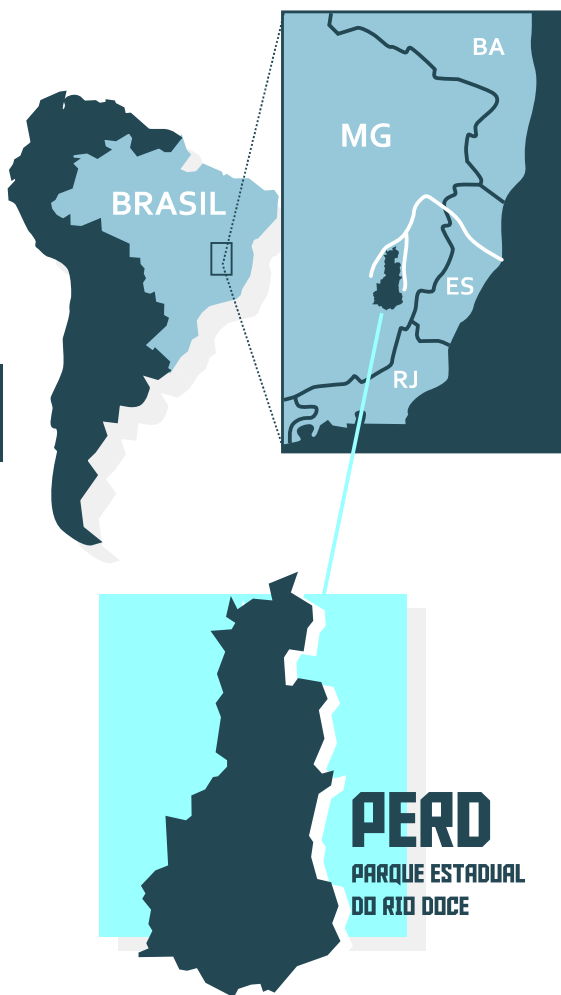
A escolha do interpolador deve ser avaliada a partir de seu desempenho para cada variável ou parâmetro estudado. Diversos estudos apresentam argumentos e testes em defesa de determinado método de interpolação, no entanto verifica-se que para cada região e parâmetro meteorológico um determinado método torna-se mais apropriado, tendo em vista a variabilidade espacial e outros aspectos.

Conforme salienta Burrough & McDonel (1998) citados por ASSAD et al. (2003) existem diversos métodos de interpolação disponíveis no SIG, no entanto ao mapear a variabilidade espacial de parâmetros climáticos é necessário considerar questões básicas como a forma, tamanho e orientação da área em estudo, de modo que não comprometa nos resultados obtidos.

Esta cartilha consiste em avaliar alguns interpoladores selecionados, sendo eles: *Global*

*Polynomial Interpolation (GPI), Inverse Distance Weigh (IDW), Krigagem (KRG) e Spline*, ambos utilizados na geração de grades regulares e espacialização dos parâmetros climáticos precipitação, pressão atmosférica, temperatura média e umidade relativa do ar sobre a região do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) em Minas Gerais.

Figura 1 – Localização do Parque Estadual do Rio Doce – PERD



## LOCALIZAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE (PERD)

O Parque Estadual do Rio Doce – PERD (Figura 1), possui 35.973 ha e localiza-se no leste do Estado de Minas Gerais, na porção central da Bacia do Rio Doce, sob as coordenadas 19°42'00" Sul 42°30'36" Oeste. Esta área compreende aos municípios de Timóteo, Marliéria e Dionísio. Seus limites geográficos são o Rio Piracicaba, ao norte, e Rio Doce, a leste. O Parque é uma Unidade de Conservação (UC) criada em 14 de julho de 1994, por meio do Decreto-Lei nº1.119 (MINAS GERAIS, 1944), e constitui-se por um importante remanescente de Mata Atlântica do Estado sendo administrado pelo Instituto Estadual de Florestas – IEF, desde 1962, conforme apresentado pelo Relatório PELD- site 4 (2002).



## ORGANIZAÇÃO DOS DADOS METEOROLÓGICOS

Séries históricas de precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, foram utilizadas em escala diária, considerando um período de onze anos (2005-2015).

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir de quatro estações

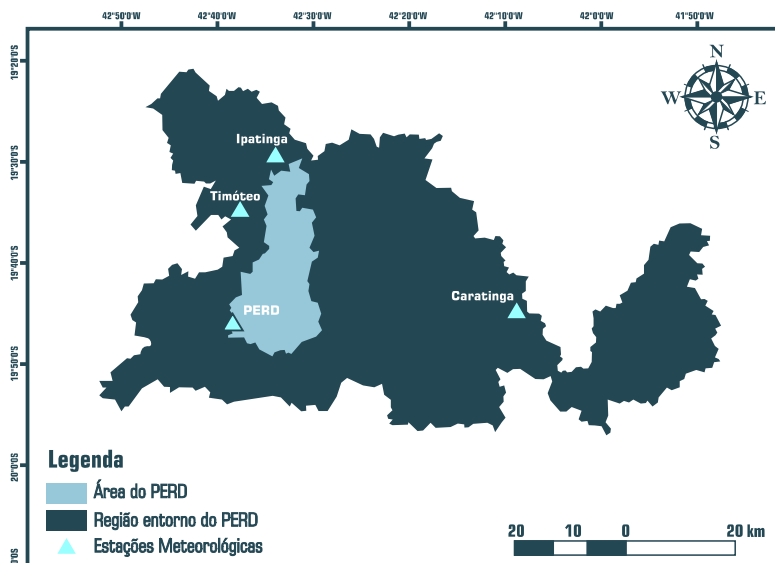
meteorológicas demonstradas na tabela 1 com a localização geográfica, altimetria e identificação das estações meteorológicas, sendo duas correspondentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Timóteo e Caratinga; e duas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Ipatinga e PERD (Figura 2).

Tabela 1 – Estações Meteorológicas do estudo

LOCALIDADE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (M)	ID. EST. METEOROLÓGICA
Caratinga	19,7357	42,13714	609	AUT 554
Ipatinga	19,4700	42,52300	305	PCB 32507
Timóteo	19,5738	42,62241	333	AUT 511
PERD	19,8030	42,63380	297	PCB 30800

Fonte: INMET (2019), INPE (2019)

Figura 2 - localização das estações meteorológicas



Foram calculadas as médias climatológicas decendiais do período entre 2005 a 2015. Os dados referem-se aos parâmetros meteorológicos precipitação, pressão atmosférica, temperatura média e umidade relativa, referente às estações meteorológicas de Caratinga, Ipatinga, Timóteo e PERD.

Os dados obtidos em formato .txt foram convertidos ao formato .xls, sendo posteriormente tratados e organizados no software computacional Microsoft Excel.

Para calcular as médias climatológicas seguiu-se o modelo aplicado por Cupolillo (2015), o qual foi computado o somatório da frequência de ocorrência das variáveis meteorológicas em decêndios durante a estação chuvosa (DPC) e durante a estação seca (DPS) dividido pelo período de anos correspondentes a cada uma das quatro estações meteorológicas, de forma que:

(1)

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N}$$

Pm = Precipitação Média Sazonal DPC e DPS por ano  
nd = Número de decêndios DPC e DPS  
N = Número de anos de dados para cada local

$\sum_{i=1}^{nd} di$  = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS

(2)

$$Pa = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N}$$

Pa = Pressão Atmosférica Sazonal DPC e DPS por ano  
nd = Número de decêndios DPC e DPS  
N = Número de anos de dados para cada local

$\sum_{i=1}^{nd} di$  = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS

(3)

$$TM = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N}$$

TM = Temperatura Média Sazonal DPC e DPS por ano  
nd = Número de decêndios DPC e DPS  
N = Número de anos de dados para cada local

$\sum_{i=1}^{nd} di$  = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS

(4)

$$UR = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N}$$

UR = Umidade Relativa Sazonal DPC e DPS por ano  
nd = Número de decêndios DPC e DPS  
N = Número de anos de dados para cada local

$\sum_{i=1}^{nd} di$  = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS

Este procedimento foi realizado por meio da soma dos valores diários registrados no “primeiro decêndio” do mês de “janeiro” para cada ano. Em seguida calculou-se a média dos totais obtidos para o “primeiro decêndio” de cada um dos meses de “janeiro” do período em estudo “2005-2015”. O procedimento foi otimizado para o decêndio mais úmido e mais seco identificado no período em estudo para esta análise.

## GERAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Para geração dos mapas de precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, os valores obtidos foram interpolados no Software ArcGis 10.3 utilizando os interpoladores Global Polynomial Interpolation (GPI), Inverse Distance Weight (IDW), Krigagem (KRG) e Spline.

## VARIABILIDADE ESPACIAL DOS INTERPOLADORES

A espacialização dos valores registrados através dos parâmetros meteorológicos do estudo, referentes a região do Parque Estadual do Rio Doce, foi realizada por meio da comparação visual dos mapas temáticos gerados, correspondente aos decêndios selecionados na estação seca e chuvosa sobre cada parâmetro.

## MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL

Para análise dos diferentes parâmetros meteorológicos, foram selecionados quatro interpoladores, cujo objetivo é avaliar qual destes apresenta o melhor desempenho sobre a região em estudo, levando em consideração a espacialização e sua

representação visual nos mapas temáticos.

A seguir serão apresentadas as principais características, potencialidades e desafios do uso de cada um dos interpoladores selecionados para análise dos dados meteorológicos no estudo.

## Global Polynomial Interpolation (GPI)

Também chamado de Interpolação polinomial global corresponde a uma função matemática caracteriza-se pelo ajuste e suavização que é realizada sobre a superfície em decorrência da função polinomial aplicada sobre os pontos observados. Este método determinístico é considerado rápido, porém não apresenta um certo grau de exatidão conforme destaca Jakob e Young (2006) que sugerem sua aplicação para superfícies que apresentam mudanças graduais, podendo causar suavização das informações, cuja localização média dos dados poderá exercer influência sobre a superfície.

De acordo com Souza et al. (2011), é possível identificar neste método que a escala dos dados é ajustada gradualmente de forma linear com uma função polinomial, quadrática e cúbica, conforme alteram-se às ordens, numa sequência entre a primeira até a décima.

## **Inverse Distance Weigth (IDW) ou Inverso Quadrático da Distância**

É um método matemático exato podendo também ser considerado suavizante. Constitui-se de acordo com Marcuzzo et al. (2011) como um método computacional rápido, uma vez que a definição dos pesos para ponderação linear é simplista e o peso de cada ponto representa o inverso de uma potência da distância, de forma que, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior será o peso atribuído ao valor da amostra. Em síntese, por meio deste interpolador, os valores referentes aos pontos próximos são similares, em contrapartida, os pontos distantes tornam-se independentes e apresentam menor influência.

O IDW consiste num interpolador local, sendo que a distância entre os pontos e a potência da função tornam-se fundamentais para sua aplicação. Nesse método os pontos de dados encontram-se no interior das isolinhas equivalentes, porém geralmente há a geração de muitas “ilhas” de dados tornando as isolinhas menos suaves (Marcuzzo et al., 2011).

Este método de análise espacial assume de acordo com Amorim et al. (2006) que cada amostra de ponto exerce uma influência local sendo que a mesma reduz-se com a distância. Neste sentido os pontos mais próximos para o processamento da célula,

influem de forma mais significativa frente aos que estão distantes. Segundo os autores o uso do IDW é sugerido quando a variável a ser mapeada diminui com a distância.

Um aspecto interessante sobre este método de interpolação relaciona-se a formação de contornos concêntricos ao redor dos pontos de amostragem, fato que se dá pelo caráter estatístico e influência que cada ponto exerce num raio de forma igual em todas as direções, ou seja, na configuração de círculos (ANDRIOTTI, 2009).

Para os autores Jakob e Young (2006) o método IDW determina um valor para determinada área não medida por meio de valores amostrados em seu entorno, pois terão um peso maior sobre os mais distantes. Torna-se adequado o seu uso mediante interpretação preliminar de uma superfície, no entanto a ausência de predição de erros pode resultar numa suavização geral da variável, sendo para tanto, melhor aplicado em pontos amostrais que estão igualmente distribuídos pela área.

## **Krigagem, Krigeagem ou Kriging (KRG)**

Corresponde a um método estocástico que utiliza a geoestatística para efetuar a interpolação, consiste num conjunto de técnicas de estimação de superfícies, baseadas na modelação da estrutura de correlação espacial, tornando-se vantajosa perante outros métodos.

As análises de Jakob e Young (2006) demonstram na perspectiva da geoestatística, que as informações espaciais proporcionam o cálculo de distâncias tal como a modelação e autocorreção. Este processo é realizado a partir de um semivariograma, que corresponde a relação entre variância de pares de observações e a distância que as separa, permitindo fazer interferências.

Os estudos de Vieira (2000) apresentam a Krigagem junto a Teoria das Variáveis Regionalizadas que refere-se à dependência espacial entre amostras vizinhas para estabelecer os valores em áreas não-amostradas. Tal variação espacial é expressa quantitativamente em um semivariograma estimado a partir de uma amostra. O gráfico (semivariograma) representa a correlação espacial dos dados amostrais pela dispersão da semivariância (medida de dispersão) em detrimento dos pontos.

De acordo com Lucas et al. (2013) a Krigagem apresenta uma série de técnicas com análise de regressão que buscam reduzir a variância estimada a partir de um modelo prévio disposto na função de um variograma.

Segundo Mazzini e Shettini (2009) o método estabelece o nível de dependência entre as amostras e a partir da modelagem do semivariograma pode definir os melhores pesos

das amostras, sendo um interpolador tanto suavizador como exato.

Logo, verifica-se que este método apresenta como vantagem a capacidade de desagregar os dados e fornecer estimadores com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

## **Spline ou Curvatura Mínima**

Revela-se como um método de interpolação que por meio de uma função matemática reduz a curvatura da superfície em estudo, de modo que suaviza os pontos amostrados.

Segundo De Amorim et al. (2008) este método é utilizado para ajustar a superfície, sendo apropriado quando coexiste a tendência de variações gradativas sobre os fenômenos interpolados.

Esta técnica deriva de uma ferramenta de desenho técnico, na qual segundo Mazzini e Schettini (1997) o Spline é muito aceito e utilizado no qual apresenta boa convergência e aproximações precisas, valendo-se da divisão sobre a série de dados e uso de polinômios, constituindo a interpolação de um grande domínio, como desvantagem está o fato de não ser um interpolador exato e como consequência os dados nem sempre apresentam valores reais.

Este método de interpolação apresenta melhores resultados em superfícies que



representam tendências gradativas, como é o caso das chuvas médias na bacia. No entanto torna-se inviável em caso de grandes intervalos nas superfícies ou na situação de pequena distância horizontal (DE AMORIM et al., 2008).

## ACURACIDADE DOS INTERPOLADORES

Esta cartilha não visa discutir os algoritmos matemáticos dos métodos de interpolação, mas sim sua aplicação prática e resultados de caráter qualitativo realizados visualmente através da geração de mapas temáticos, com verificação de acurácia e desempenho dos interpoladores selecionados sobre cada um dos parâmetros climáticos, conforme será apresentado a seguir.



## Precipitação



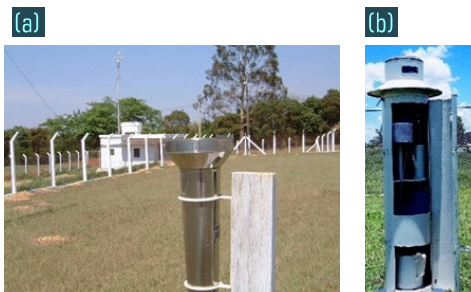
O parâmetro climático precipitação compreende a um componente do ciclo hidrológico e constitui uma relação entre a água da atmosfera e o solo, integrado ao escoamento superficial. A precipitação se forma a partir da ascensão de massas de ar úmido, ou seja, a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre.

Existem diferentes tipos de precipitação e tais distinções ocorrem devido a fatores como o relevo e ação das massas de ar, na qual estão ligadas às condições de ascensão do ar. Os três principais tipos de precipitação são as precipitações convectivas, orográficas e ciclônicas ou frontais e o estudo deste parâmetro climático torna-se fundamental devido a água ser o principal elemento que permite a vida dos seres vivos.

A coleta dos dados relacionados a precipitação pluvial (chuvas) é realizada por meio do pluviômetro (Figura 3a), que possui um cilindro com um fundo afunilado na qual a água é coletada e direcionada à um reservatório; a intensidade da precipitação é medida através do

pluviógrafo (Figura 3b), que também registra a quantidade da precipitação a partir do pluviograma, onde é possível identificar a evolução da chuva através do tempo, numa escala em milímetros (INMET, 2011).

Figura 3 – Instrumentos Meteorológicos. 3a: Pluviômetro; 3b: Pluviógrafo.

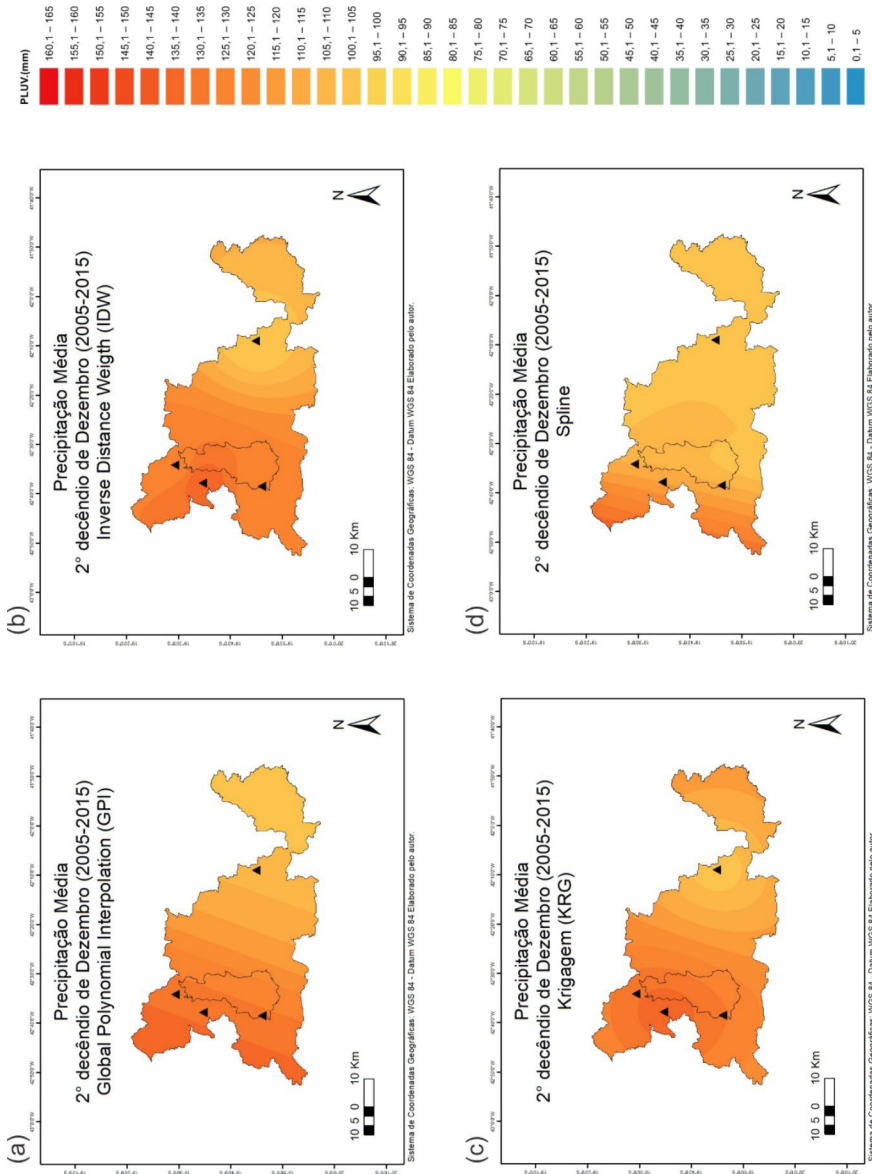


Fonte: UFPEL, 2020. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/instrumentos-meteorologicos/>

Seguem os mapas temáticos correspondentes ao parâmetro precipitação, com dados médios decendiais das estações meteorológicas do PERD e entorno. Os mapas das figuras 4 e 5, referem-se ao decêndio que apresentou o maior (2º decêndio de dezembro) e menor (2º decêndio de julho) índice de precipitação na estação chuvosa e seca ao longo do período investigado (2005-2015).

Figura 4 – Teste de interpoladores no 2º decêndio de dezembro – Precipitação Média (2005-2015).

a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigh (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Sistema de Coordenadas Geográficas: WGS 84 - Datum WGS 84 Elaborado pelo autor.

Sistema de Coordenadas Geográficas: WGS 84 - Datum WGS 84 Elaborado pelo autor.

Fonte: Vieira (2020)

Figura 5 — Teste de interpoladores no 2º decêndio de julho — Precipitação Média (2005-2015).

a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigh (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Fonte: Vieira (2020)

# Pressão Atmosférica



O parâmetro climático pressão atmosférica refere-se à força da gravidade um peso da coluna de ar, conforme destaca Conti e Furlan (2008) denomina-se pressão o peso do ar exercido sobre a superfície, na qual apresenta uma variabilidade a depender de sua localização, latitude, dentre outros aspectos.

Para Varejão-Silva (2006) a compreensão sobre a pressão atmosférica é muito relevante pois sendo o ar um fluido, tende a movimentar-se em direção às áreas de menos pressão e o movimento da atmosfera, dentre outros aspectos, relaciona-se à distribuição da pressão atmosférica.

Os instrumentos utilizados para medir a pressão atmosférica são os barômetros (Figura 6a) e os barógrafos (Figura 6b), o primeiro é constituído por um tubo de vidro protegido por um cilindro de metal, estando este unido a uma cuba fixa e escala compensada; o mercúrio contido no interior do tubo transparente ora sobe e desce de acordo com as variações da pressão do ar. Já os barógrafos acompanham as variações na pressão a partir do movimento de um sistema de alavancas que acionam um ponteiro, e por meio de um mecanismo simples, contendo braços e

alavancas, transmite as variações da pressão até uma pena com tinta, imprimindo sobre um papel milimetrado um gráfico, a partir de um cilindro em rotação semanal, a variação da pressão atmosférica (INMET, 2011).

Figura 6 – Instrumentos meteorológicos.

6a: Barômetro, 6b: Barógrafo

(a)



(b)

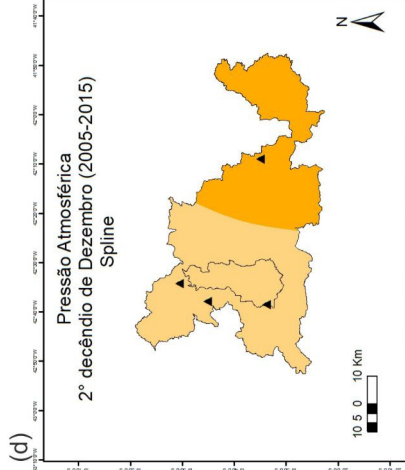
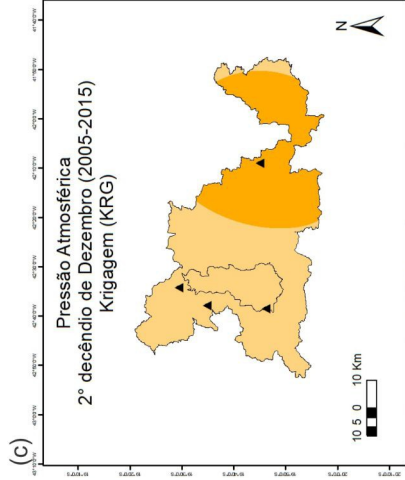
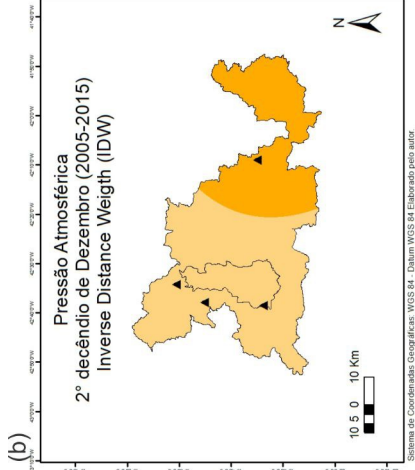
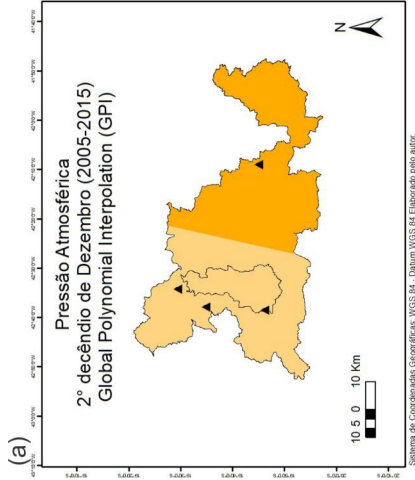


Fonte: UFPEL, 2020. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/instrumentos-meteorologicos/>

A seguir são apresentados os mapas decendiais deste parâmetro ao longo das estações chuvosa e seca, com destaque para o 2º decêndio de dezembro (Figura 7), que registrou os menores valores e o 3º decêndio de maio (Figura 8) com o maior registro médio identificado no período em estudo (2005-2015) nas estações meteorológicas do PERD e seu entorno.

Figura 7 – Teste de interpoladores no 2º decêndio de dezembro – Pressão atmosférica (2005-2015).

a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



## Legenda

▲ Estações

□ Área do PERD

Total em hPa

990,1 - 1000

980,1 - 990

970,1 - 980

960,1 - 970

950,1 - 960

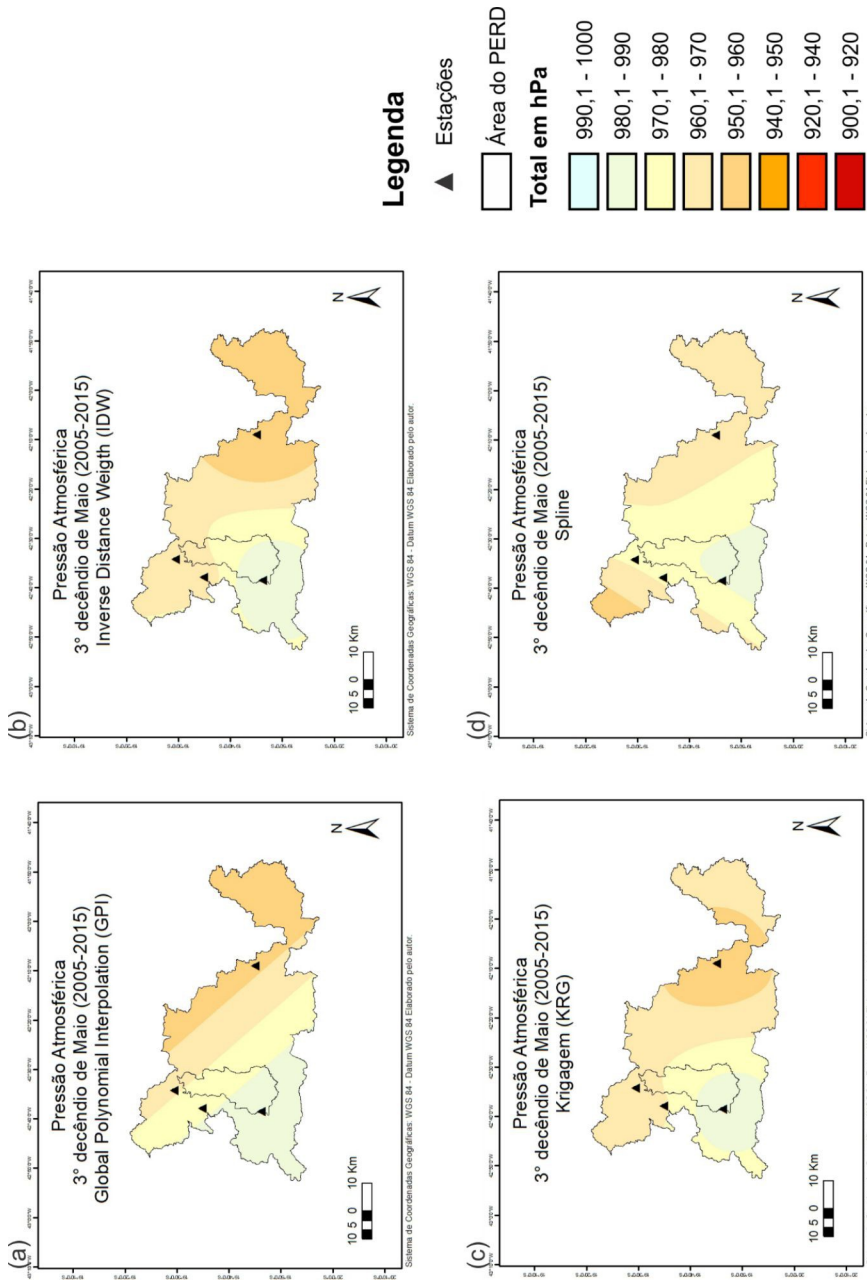
940,1 - 950

920,1 - 940

900,1 - 920

Figura 8 — Teste de interpoladores no 3º decêndio de maio — Pressão atmosférica (2005-2015).

a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weight (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.

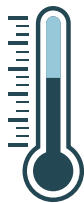


Sistema de Coordenadas Geográficas: WGS 84 - Datum WGS 84 Elaborado pelo autor.

Fonte: Vieira (2020)



# Temperatura



Ao analisar o parâmetro temperatura pode-se afirmar que corresponde a medida do calor sensível do ar, na qual de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007) sua variação acompanha ao movimento aparente do sol resultado de sua trajetória diária.

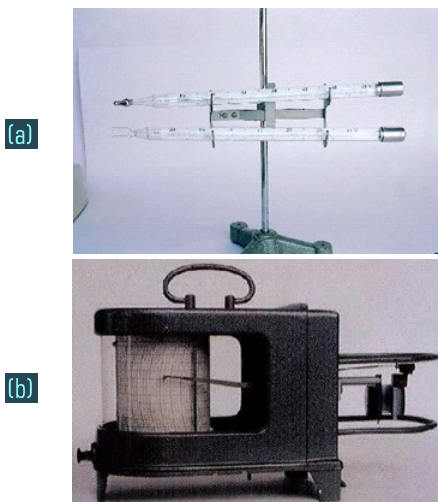
Quanto à variação espacial, composta por aquecimento/resfriamento têm-se alterações quanto às porções continentais e oceânicas que conferem padrões sazonais distintos devido à incidência e inclinação dos raios solares ao longo do ano.

Os instrumentos responsáveis por fornecer os registros da temperatura são os termômetros (Figura 9), existe uma diversidade destes instrumentos porém na meteorologia destaca-se o termômetro de máxima e mínima (Figura 9a) onde os termômetros de máxima verificam a temperatura em um dado momento a partir do mercúrio, eles possuem um estrangulamento no tubo capilar e situa-se inclinado cerca de 5° em relação ao plano horizontal, ficando num nível abaixo da câmara de expansão; já no termômetro de mínima o bulbo bifurcado possui como elemento sensível o álcool etílico, sua disposição geralmente está localizada junto ao termômetro de máxima. Outro importante instrumento de medida são os

termógrafos (Figura 9b) na qual as temperaturas são medidas por um aparelho constituído de sensores que acionam alavancas capazes de medir as alterações sobre a temperatura ambiente; as variações são registradas a partir de um termograma fixado em um tambor rotativo, que resulta em um gráfico contínuo a cada 24 horas consecutivas (INMET, 2011).

Figura 9 – Instrumentos meteorológicos.

9a: Termômetros de máxima e mínima, 9b: termógrafo.

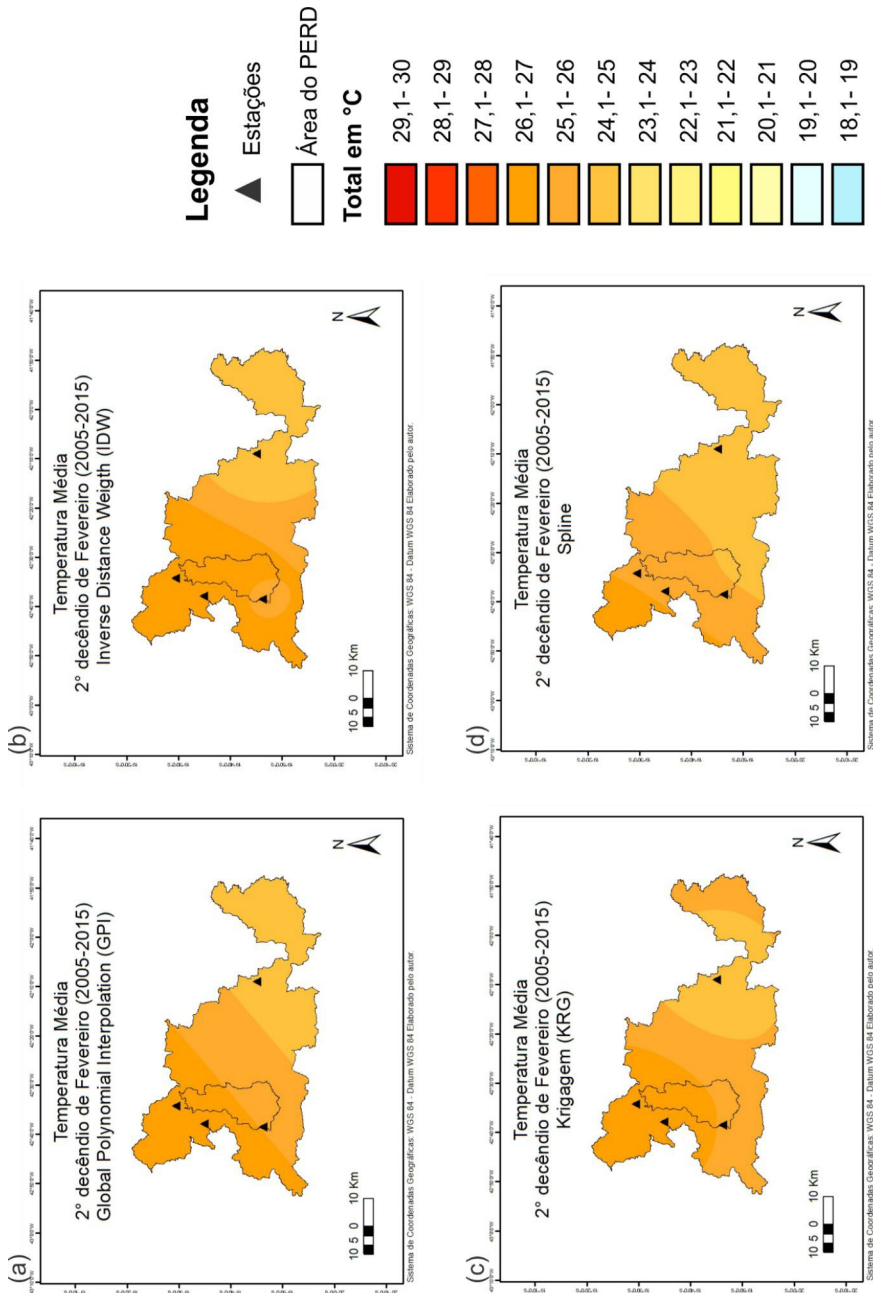


Fonte: UPPEL, 2020. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/instrumentos-meteorologicos/>

Seguem os mapas temáticos correspondentes ao parâmetro temperatura, com dados médios decendiais das estações meteorológicas do PERD e entorno. Os mapas da figura 10 referem-se ao 2° decêndio de fevereiro que registrou a maior temperatura na estação chuvosa e a figura 11, corresponde ao 1° decêndio de julho, na qual registrou a menor temperatura na estação seca ao longo do período investigado (2005-2015).

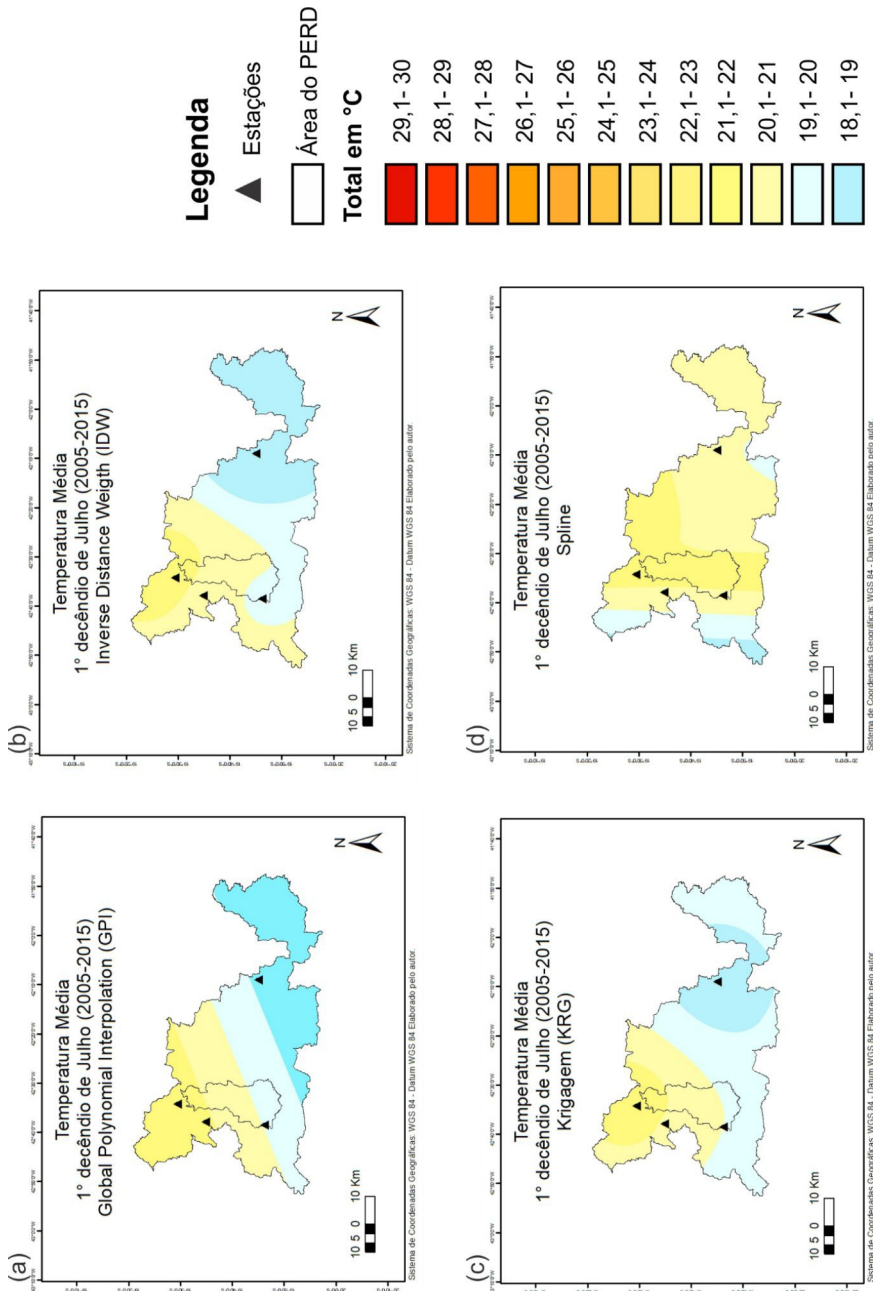


Figura 10 — Teste de interpoladores no 2º decêndio de fevereiro — Temperatura Média (2005-2015).  
a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Fonte: Vieira (2020)

Figura 11 – Teste de interpoladores no 1º decêndio de julho — Temperatura Média (2005-2015).  
 a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline..



Sistema de Coordenadas Geográficas: WGS 84 - Datum WGS 84 Elaborado pelo autor

Fonte: Vieira (2020)

# Umidade Relativa Do Ar



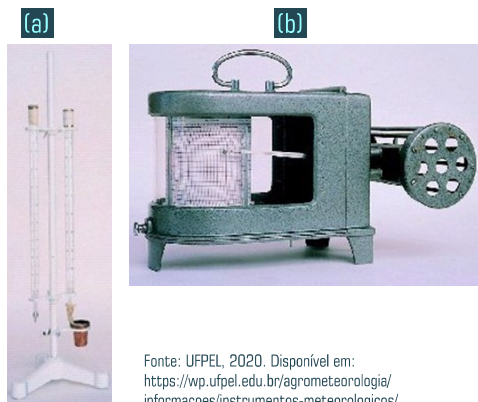
Por fim, o parâmetro umidade relativa do ar refere-se, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007) à presença do vapor d'água na atmosfera, sendo representada pela relação entre o vapor existente no ar e seu ponto de saturação.

Para Franca (2009) a umidade atmosférica sofre influência indireta pela atuação de anticiclones por meio dos movimentos de subsidência de ar, que dificultam o transporte de umidade para as camadas médias e superiores; já nas regiões com baixa pressão, os movimentos de ascendência propiciam elevações de vapor d'água na atmosfera, podendo resultar em chuvas.

Para medir este parâmetro são utilizados os psicrômetros (Figura 12a) que consiste em dois termômetros comuns onde um apresenta o bulbo descoberto (termômetro de bulbo seco) e o outro apresenta o depósito de mercúrio umedecido por uma musselina molhada, revestido com uma gaze (termômetro de bulbo úmido). Já os higrógrafos (Figura 12b) tem como base a variação de um feixe de cabelo humano, na qual é possível verificar que ao elevar-se a umidade do ar o feixe de cabelo distende, e ao reduzir a umidade, o feixe se

contraí. Este instrumento possui alavancas que acionam o suporte de uma pena registradora que move-se num tambor rotativo contendo um diagrama com papel especial, que registra na escala horizontal o tempo e na vertical a umidade (INMET, 2011).

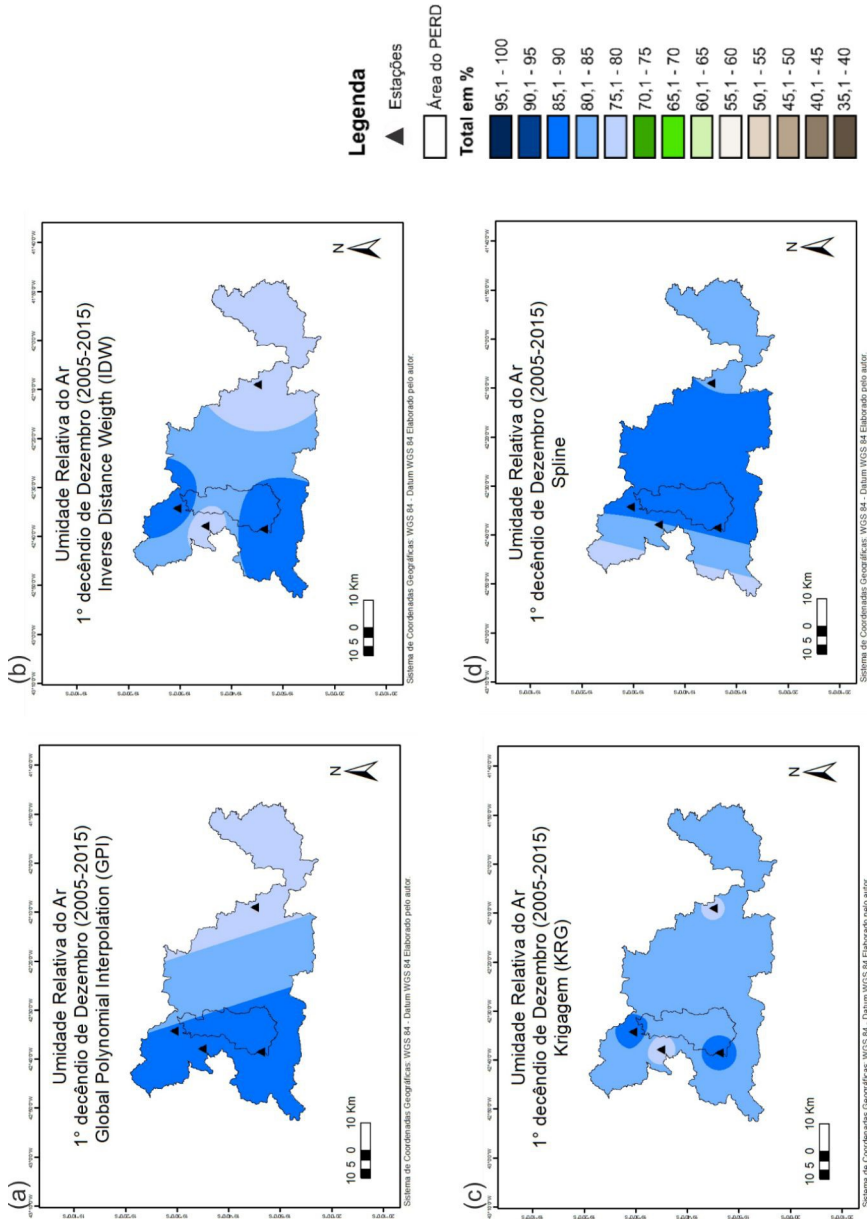
Figura 12 – instrumentos meteorológicos.  
12a: Psicrômetro, 12b: Higrógrafo



Fonte: UFPEL, 2020. Disponível em:  
<https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/instrumentos-meteorologicos/>

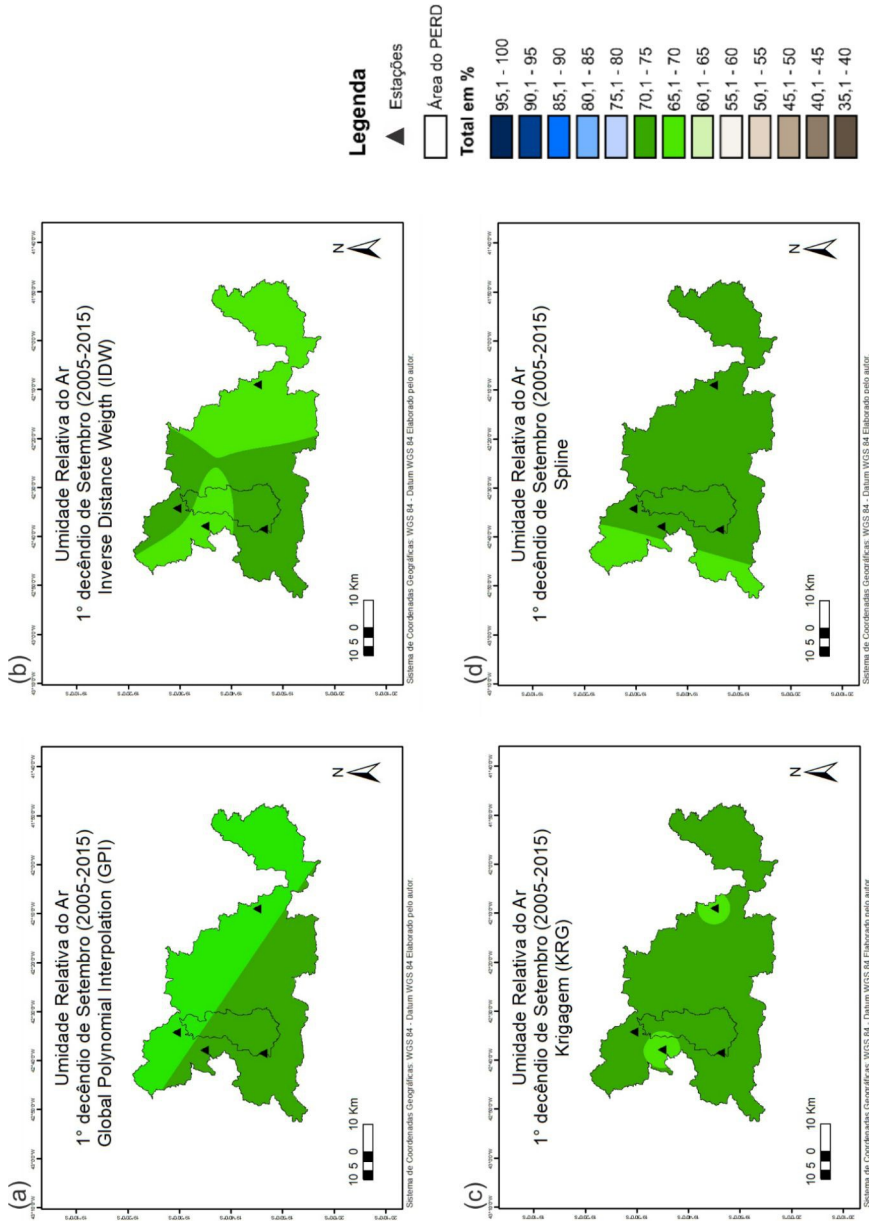
Os resultados apresentados nos mapas temáticos a seguir correspondem ao 1° decêndio de dezembro relacionado ao decêndio mais úmido da estação chuvosa (Figura 13) e o 1° decêndio de setembro, que se referem aos menores percentuais de umidade relativa identificado na estação seca (figura 14).

**Figura 13 – Teste de interpoladores no 1º decêndio de dezembro – Umidade relativa do ar (2005-2015).**  
**a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.**



**Fonte: Vieira (2020)**

Figura 14 – Teste de interpoladores no 1º decêndio de setembro – Umidade relativa do ar (2005-2015).  
a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weight (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Fonte: Vieira (2020)

Os mapas construídos através do software ArcGis 10.3, a partir do uso de modelos matemáticos de interpolação determinísticos e estatísticos, tiveram como base os dados médios decendiais das estações meteorológicas de Caratinga, Ipatinga, Timóteo e do PERD, na qual foram investigados o desempenho de interpoladores distintos frente aos parâmetros climáticos precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar. Os resultados e análises dos testes de interpolação, identificados nos mapas temáticos apresentados anteriormente, serão discutidos a seguir.

A partir do conjunto de mapas temáticos foi possível organizar uma avaliação que, embora subjetiva, possui grande relevância, uma vez que consiste no produto final do processo de interpolação sobre diferentes parâmetros climáticos. Ressalta-se, como mencionado anteriormente, que a cartilha não visa discutir os algoritmos matemáticos dos métodos apresentados, mas sim a sua aplicação prática e efeito visual dos resultados frente às superfícies e mapas temáticos.

Ao verificar o desempenho de todos os interpoladores ao longo de cada parâmetro, pode-se inferir que o Global Polynomial

Interpolation (GPI) e Spline não apresentaram um bom desempenho sobre os parâmetros avaliados. Tais resultados podem estar relacionados ao número de pontos amostrados neste trabalho, fato que deve ser considerado para análise e espacialização.

Faz-se necessário considerar que o interpolador Global Polynomial Interpolation (GPI) considera a localização da média dos dados na obtenção de um amplo efeito (influência) sobre a superfície, na qual não é necessária uma hipótese inicial para os dados. Verifica-se que este método é muito utilizado para examinar e/ou remover os efeitos de tendências globais de longa duração, criando superfícies que descrevem processos físicos. Entretanto, quanto maior a ordem da função polinomial, maior a complexidade para a explicação; tais superfícies também são muito suscetíveis aos pontos extremos (outliers).

Os interpoladores que obtiveram melhor desempenho foram o Inverse Distance Weigth (IDW) e a Krigagem (KRG), sendo possível identificar que a espacialização dos dados ocorreu de maneira uniforme.

Ao comparar os mapas temáticos em cada parâmetro e sua espacialização, é possível identificar que o interpolador IDW apresentou a melhor distribuição dos elementos climáticos sobre a região em estudo nas figuras 3b, 4b, 5b, 6b, 7b, 8b, 9b e 10b. Tais resultados demonstraram um

peso maior sobre as amostras mais próximas, resultando em contornos concêntricos. Além disso, por se tratar de um método determinístico, é possível visualizar uma superfície com valores mais próximos ao real.

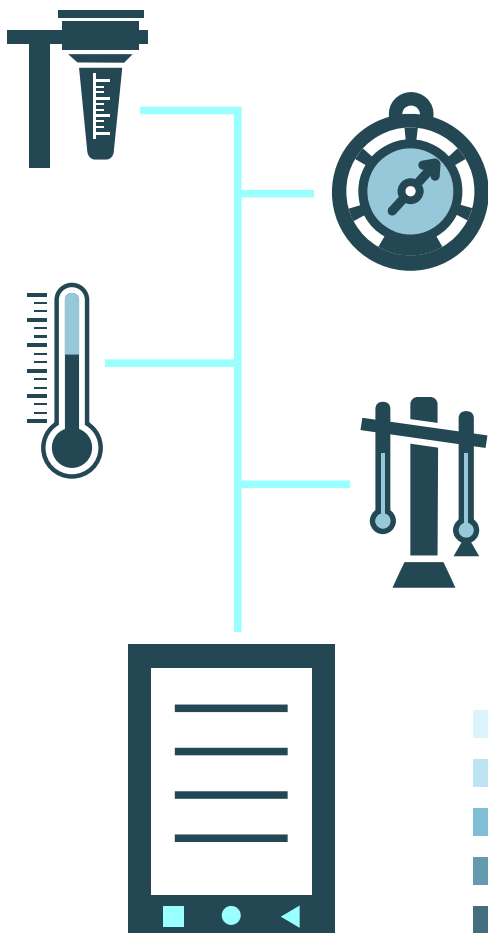
O método de interpolação da Krigagem demonstrou através das figuras 3c, 4c, 5c, 6c, 7c, 8c, 9c e 10c uma espacialização que não evidencia de forma significativa a realidade geográfica da região do PERD e entorno, pois não se aplica as características topográficas necessárias frente aos valores amostrais registrados e resultado apresentado.

Vale ressaltar, porém que, a apresentação e visualização dos mapas temáticos a partir do interpolador Krigagem demonstraram um bom desempenho visual, tal como o interpolador IDW, na qual é possível identificar a espacialização dos parâmetros meteorológicos de maneira bem delimitada e próximo às estações meteorológicas deste estudo.

O desempenho do interpolador IDW em cada parâmetro meteorológico permitiu uma maior proximidade entre os dados registrados e à realidade das superfícies, com a influência das condições topográficas e quantidade de estações meteorológicas (unidades amostrais).

Os mapas temáticos desenvolvidos o interpolador IDW demonstraram um

desempenho e distribuição mais uniforme que os demais métodos, o que corrobora com os resultados de Cunha (2019), Lima (2019), Antunes (2018) e Cupolillo (2015), afirmando ser o algoritmo Inverse Distance Weight o que melhor representa os parâmetros de precipitação, pressão atmosférica, temperatura média e umidade relativa do ar, quando comparado aos métodos Global Polynomial Interpolation, Krigagem e Spline.





O desenvolvimento desta cartilha permitiu aprofundar os conhecimentos referentes à importância e aplicação da ferramenta de interpolação, como mecanismo de organização e interpretação de fenômenos espaciais, dentre eles os climáticos e meteorológicos.

Verificou-se que o uso destas ferramentas, pertencentes ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) mostram-se eficazes na organização e espacialização de parâmetros climáticos, de modo que facilita a interpretação e análise de informações. Neste aspecto os mapas temáticos, construídos a partir destas ferramentas tornam-se instrumentos de grande relevância em análises espaciais.

O estudo permitiu identificar que um dos grandes desafios torna-se a escolha do método de interpolação que apresenta um desempenho mais satisfatório frente ao parâmetro climático selecionado, levando-se em consideração a variabilidade e superfície em estudo.

Foram realizadas análises de caráter qualitativo a partir de observação e comparação visual dos mapas decendiais dos parâmetros

climáticos precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar na estação chuvosa e seca da região do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e seu entorno.

Dentre os resultados observados, destaca-se que os interpoladores Global Polynomial Interpolation (GPI) e Spline não apresentaram um desempenho satisfatório, uma vez que a configuração dos mapas não demonstrou uma espacialização dos parâmetros climáticos, possivelmente devido ao número de pontos amostrais neste estudo.

Já os interpoladores Krigagem e Inverse Distance Weigth (IDW) demonstraram um bom desempenho em todos os mapas temáticos apresentados. Foi possível identificar os contornos entre as estações meteorológicas e uma espacialização dos parâmetros bem delimitadas. No entanto houveram diferenças na representação entre estes métodos de interpolação.

Apesar do bom desempenho visual demonstrado nos mapas, o interpolador Krigagem não apresentou de forma evidente à realidade topográfica da região em estudo frente aos parâmetros avaliados. O interpolador Inverse Distance Weigth por sua vez, é um método exato de fácil manipulação e que apresentou em seus resultados superfícies regulares com uma delimitação das estações meteorológicas a partir de círculos concêntricos e uma característica típica



deste interpolador de suavizar os resultados.

Neste sentido, em conformidade com os estudos de Cunha (2019), Lima (2019), Antunes (2018) e Cupolillo (2015) avalia-se que o método de interpolação Inverse Distance Weigth (IDW) apresentou um melhor desempenho frente aos parâmetros climáticos precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar sobre a região do PERD e seu entorno, conforme os dados apresentados neste estudo.

Cabe ressaltar que tal análise e comparação nesta cartilha não levou em consideração os algoritmos matemáticos que constam nos métodos de interpolação apresentados, além de não ter sido realizada nenhuma acuracidade por meio de métodos estatísticos.

O propósito desta análise possui um caráter visual e qualitativo, cujo interesse é propiciar subsídios e análises sobre a espacialização de diferentes parâmetros climáticos em uma determinada área de estudo, tendo por base diferentes métodos de interpolação.



## REFERÊNCIAS

ALVES, FC Avaliação de interpoladores para espacialização de variáveis de variação na bacia hidrográfica do rio Ivai. In: XV SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2011, Curitiba. Anais... Curitiba: INPE, 2011 P. 4070.

ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. Fundamentos de Estatística e Geoestatística. São Leopoldo, RS: Unisinos. 2ª reimpressão, 2009.

ANTUNES, D. A. Diagnóstico Climatológico do Parque Estadual do Rio Doce – PERD. Dissertação (Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, Bambuí - MG, 2018.

ASSAD, E. D.; MACEDO, M. A.; ZULLO JÚNIOR, J.; Pinto, H. S.; Brunini, O. Avaliação de métodos geoestatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, n.2, p.161-171, 2003.

CÂMARA, Gilberto et al. Anatomia de sistemas de informações geográficas. Instituto de Computação. Campinas: UNICAMP, 1996.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, pp.3-11, 1998.

CONTI, José Bueno; FURLAN, S. O clima: a atmosfera e a vida terrestre. In: ROSS, Jurandir Luciano Sanches (Org). Geografia do Brasil. 5.ed. São Paulo: Edusp, 2008. p.69-110.

CUNHA, D. M. Variabilidade das chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Doce –MG/ES no período de 1991 A 2017. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial. Belo Horizonte, 2019. 281f.

CUPOLILLO, F. Diagnóstico Hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce. 1ª. ed. Saarbrücken - Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015. v. 1. 224p.

DE AMORIM, Raniéri Carlos Ferreira; RIBEIRO, A.; LEITE, C.C.; LEAL, B. G. e SILVA, J. B. G.. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. Acta Scientiarum. Technology, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008.

FRANCA, R. R. da. Anticiclones e umidade relativa do ar: um estudo sobre o clima de Belo horizonte. Dissertação (mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo horizonte.2009. 109f.

HARTKAMP, A.D.; DE BEURS, K.; STEIN, A. & WHITE, J.W. (1999) Interpolation Techniques for Climate Variables. NRG-GIS Series 99-01. Mexico, D.F.: CIMMYT, 34 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA INMET, Boletim Agroclimatológico. Mensal. N.10/2015 a 12/2016. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 22 out. 2019.

INSTRUMENTOS METEOROLÓGICOS. Universidade Federal de Pelotas, Agrometeorologia, 2020. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/instrumentos-meteorologicos/>> Acesso em: 12/06/2020.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 15, 2006, Caxambú, Minas Gerais. Anais... Caxambu: ABEP. 2006. p.

LIMA, J. M. Análise espaço-temporal das chuvas persistentes na região do Parque Estadual do Rio Doce – PERD (2005 A 2015). Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Bambuí, 2019. 346 p.

LUCAS, Taíza Pinho Barroso et al. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. Revista Brasileira de Climatologia, v. 13, 2014.

MARCUZZO, F. N, ANDRADE, L. R. & MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. Revista Brasileira de Geografia Física. Vol. 4. Ano 2011. 793-804p.

MAZZINI, P.L.F. & SCHETTINI, C.A.F. (2009). Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. Brazilian Journal of Aquatic Sciences & Technology, (1-31), pp. 53-64.

MINAS GERAIS. Decreto-Lei nº 1.119, de 14 de julho de 1944. Dispõe sobre parques florestais. Diário do Executivo, Minas Gerais, 15 de julho de 1944.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficinas de Textos, 2007.

OLEA, Ricardo A. Geostatistical glossary and multilingual dictionary. Oxford University Press on Demand, 1991.

PERIN, Edénir Bagio et al. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos mais eficientes. Geografia, v. 40, n. 2, 2015.

PERÔNICO, C. Preenchimento sedimentar de lagos assoreados na região do médio rio Doce, Minas Gerais. Tese (doutorado em Ciências Naturais) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto 2009. 108f.

Relatório técnico-científico das atividades do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD, site 4, Mata Atlântica e Sistema Lacustre do Médio Rio Doce – MG - 2002. Setembro, 2002. 391 p.

SOUZA, J. L. L., GOMES, T. S., DIAS, R. S., OLIVEIRA, G. M. A., & SANTOS, R. L. (2011). Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão/Bahia. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 4295-4302.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Recife: Versão Digital 2, 2006.

VIEIRA, S. R. (2000). Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1, 1-53.



Cristiano Alexandre Vieira