

INVERSO DA DISTÂNCIA PONDERADA APLICADO À GERAÇÃO DE EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

ARYANE ARAUJO RODRIGUES¹; TAMARA LEITZKE CALDEIRA BESKOW²;
TIRZAH MOREIRA SIQUEIRA³

¹Universidade Federal de Pelotas; Centro de Engenharias; Discente no PPG em Ciências Ambientais – aryane_03.2@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas; Centro de Engenharias – tamaraleitzkecaldeira@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas; Centro de Engenharias; Docente no PPG em Ciências Ambientais – tirzahsiqueira@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento acerca do comportamento espacial e temporal, especialmente das chuvas intensas, tem sido foco de estudos visando contribuir no planejamento e gestão dos recursos naturais, pois estas informações subsidiam estudos ambientais, projetos de obras hidráulicas como canais, sistemas de drenagem urbana e rural, barragens, pontes, bem como as técnicas de manejo e conservação do solo e da água.

As principais grandezas características das chuvas intensas são a sua intensidade (I), duração (t) e tempo de retorno (TR) e, portanto, para relacioná-las têm sido realizado o ajuste de modelos matemáticos, como as equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF), sendo um dos procedimentos mais utilizados na engenharia de recursos hídricos (MELLO; SILVA, 2013).

As equações IDF são determinadas para um local a partir de dados pluviográficos ou pluviométricos. No entanto, não devem ser utilizadas indiscriminadamente, pois representam apenas a chuva da localidade para a qual foram ajustadas. Por isso, mesmo com a ampla Rede Hidrometeorológica Nacional, a densidade pluviométrica no estado do Rio Grande do Sul ainda não é satisfatória para abranger a variabilidade da chuva, tendo em vista as recomendações da Organização Mundial Meteorológica (WMO, 2008).

Este aspecto leva os tomadores de decisão a obterem os coeficientes da equação IDF por meio da média dos coeficientes dos postos pluviométricos vizinhos ou simplesmente utilizarem equação mais próxima. Assim, para sobrepor este obstáculo, a interpolação espacial vem sendo empregada com a finalidade de espacializar variáveis como a chuva, a intensidade da chuva e os coeficientes da equação IDF, fazendo uso de interpoladores geoestatísticos, como a Krigagem, ou interpoladores determinísticos mais simples e usuais, como o Inverso da Distância Ponderada (IDP).

Em relação à espacialização dos coeficientes da equação IDF, diversos estudos no Brasil vêm sendo conduzidos utilizando o IDP (ALMEIDA, 2017; BRAGA et al., 2018), que estima o valor da variável de interesse em um local não-amostrado, como sendo uma média ponderada pelo inverso da distância dos valores dos amostrados dentro de um raio de busca (MELLO; SILVA, 2013).

Neste contexto, e diante da importância das informações sobre as chuvas intensas para a gestão dos recursos naturais, o objetivo deste estudo foi avaliar o interpolador Inverso da Distância Ponderada (IDP) na espacialização dos coeficientes da equação IDF para todo o estado do Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

Foram utilizadas séries históricas de chuva total diária, obtidas junto ao *Hidroweb* – Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas

e Saneamento Básico, de 248 postos pluviométricos no Rio Grande do Sul (RS) e 10 postos pluviométricos em Santa Catarina (SC), próximos à fronteira com o RS, com o intuito de diminuir os erros de estimativa nestes locais, fenômeno que é conhecido como “Efeito de Borda” (RIOS, 2018).

A partir destas, foram constituídas séries de Chuva Máxima Diária Anual (CMDA), considerando anos com no máximo 30 dias de falha e extensão entre 20 e 73 anos (Figura 1). Essas séries foram submetidas ao teste de tendência de Mann-Kendall ($\alpha = 0,05$) (MANN; KENDALL, 1975) para verificação da estacionariedade, que é um requisito básico da modelagem probabilística empregada neste estudo.

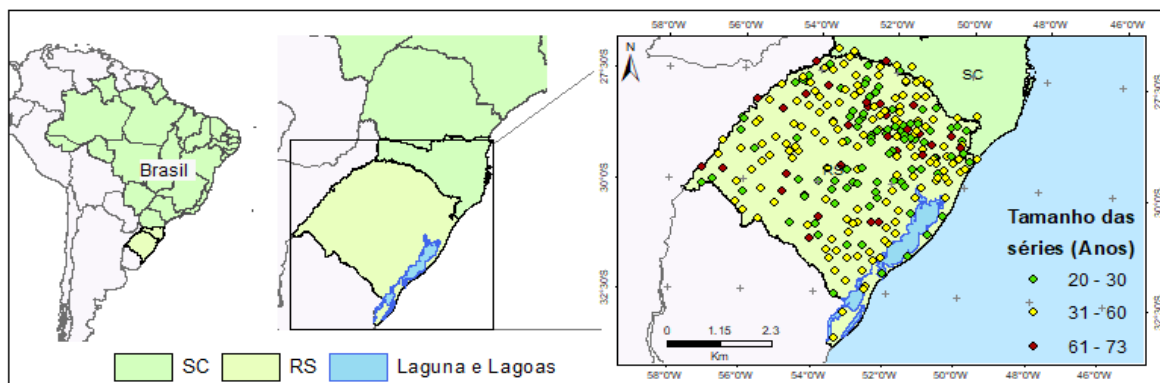


Figura 1 – Área de estudo e distribuição espacial dos postos pluviométricos.

À cada série de CMDA (Figura 1) foram ajustadas as distribuições probabilísticas (DP) Log Normal a 2 parâmetros (LN 2P), Log Normal a 3 parâmetros (LN 3P), Gumbel para Máximos, Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Kappa, utilizando o Método dos Momentos-L para estimação dos parâmetros (NAGHETTINI, 2017). O ajuste das DPs foi avaliado com o teste de aderência de Anderson-Darling (AD) ($\alpha = 0,05$) (ANDERSON; DARLING, 1954). Tanto a constituição das séries de CMDA, quanto o ajuste das DP foram realizados com o *software* SYHDA - *System of Hydrological Data Acquisition and Analysis* (VARGAS et al., 2019).

Com base na melhor DP de cada série de CMDA, foram calculadas as intensidades máximas de chuva associadas aos TR de 2 a 100 anos e, empregando a técnica de Desagregação da Chuva Diária foram estimadas as intensidades com durações inferiores a 1 dia. As constantes de desagregação utilizadas foram as propostas pela CETESB (1979), considerando as durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 720 e 1440 minutos.

O conjunto de dados de intensidade máxima de chuva associada às diversas durações e TR foi utilizado para ajustar os coeficientes da equação IDF, empregando o modelo matemático (Equação 1) mais aplicado para relacionar as principais grandezas da chuva (CHOW, 1962):

$$I = \frac{a \cdot TR^b}{(c + t)^d} \quad (1)$$

Em que: I é a intensidade máxima da chuva (mm.h^{-1}); TR é o tempo de retorno (anos); t é a duração (minutos); e a , b , c e d são coeficientes ajustados para o local de cada posto pluviométrico. Os coeficientes foram ajustados no *software* RStudio (R Core Team, 2017), utilizando o Coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) (NASH; SUTCLIFFE, 1975) como função objetivo.

As equações ajustadas para as 258 localidades foram utilizadas como dado de entrada no procedimento de interpolação espacial, conduzido no

software ArcGIS 10.8 (ESRI, 2020). A espacialização dos coeficientes foi realizada empregando o interpolador Inverso da Distância Ponderada (IDP), testando as potências (p) de 2 a 5. Foram considerados de 10 a 15 postos pluviométricos vizinhos de cada *pixel* a ser estimado, dentro de um raio de busca de 50 Km desse *pixel*, e os mapas foram gerados com resolução espacial de 1 Km. O desempenho da estimativa dos coeficientes da equação IDF, realizada com o IDP, foi avaliado pela Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (*Root Mean Square Error – RMSE*) (CHAI; DRAXLER, 2014), entre o valor do coeficiente obtido nos postos pluviométricos e os valores estimados pelo IDP no *pixel* em que os postos encontram-se.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As DP que melhor se ajustaram às 258 séries de CMDA foram a Kappa (186), GEV (70) e LN 2P (2). Em relação ao ajuste dos coeficientes da equação IDF, o C_{NS} foi superior a 0,994 para os 258 locais, sendo que: o coeficiente a variou entre 417,36 e 1263; o coeficiente b variou entre 0,06028 e 0,3547; e os coeficientes c e d foram constantes e iguais a 9,791 e 0,7244, respectivamente.

A espacialização dos coeficientes a e b das 258 equações IDFs, realizada por meio do interpolador IDP para todo o RS é demonstrada na Figura 2.

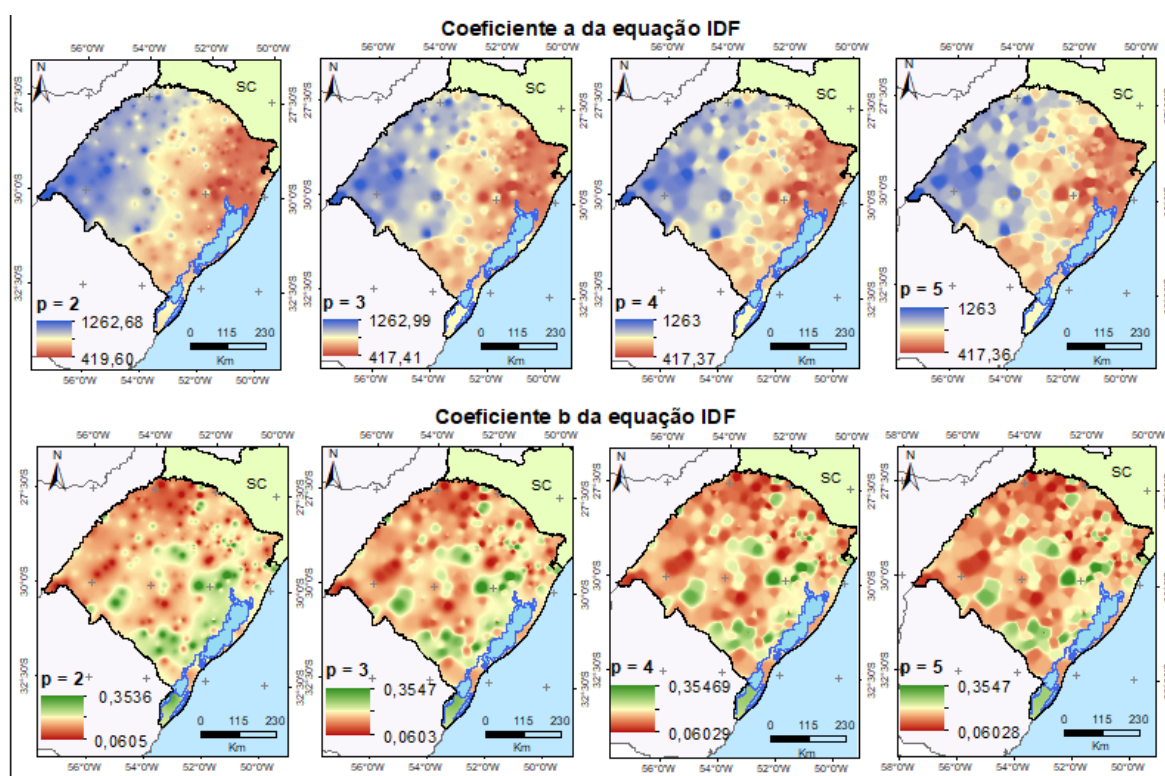


Figura 2 – Interpolação espacial dos coeficientes a e b da equação IDF para o estado do RS, realizados com as diferentes potências (p) (de 2 a 5)

Os menores valores do coeficiente a encontram-se na região nordeste do RS, enquanto os maiores na metade oeste do estado. Em contrapartida, o coeficiente b possui seus valores mínimos nas regiões noroeste e sudoeste, e máximos em porções das regiões nordeste e sudeste, majoritariamente (Figura 2). Também é possível observar que os mapas dos coeficientes a e b apresentaram diferenças na estimativa dos valores conforme o parâmetro p varia. No IDP, quanto maior a potência, maior peso é dado aos valores dos postos mais próximos ao *pixel* a ser estimado, ou seja, conforme aumenta a distância, diminui a influência dos coeficientes dos postos pluviométricos mais afastados.

A avaliação das potências utilizadas no IDP foi feita com base nos resultados do RMSE, demonstrados na tabela 1.

Tabela 1 – Desempenho do interpolador IDP na estimativa dos coeficientes da equação IDF para o RS, variando o parâmetro potência (ρ), conforme o RMSE.

Potência	RMSE			
	$\rho = 2$	$\rho = 3$	$\rho = 4$	$\rho = 5$
Coeficiente a	15,67	14,73	14,25	13,98
Coeficiente b	0,0508	0,0104	0,0101	0,0099

Os menores RMSE foram obtidos para a potência 5, enquanto que os maiores foram encontrados realizando a interpolação com as potências 2 e 3. Estes resultados são semelhantes aos encontrados em outros estudos como os de ALMEIDA (2017) e BRAGA et al. (2018), que encontraram os menores erros de estimativa ao utilizar as potências 4 e 5. Além disso, acredita-se que este fato possa indicar um menor alcance e uma maior contribuição das chuvas locais para a estimativa dos coeficientes, tendo em vista que é característica das chuvas intensas este comportamento esparsa e de alta variabilidade espacial.

4. CONCLUSÕES

Foi possível espacializar os coeficientes da equação IDF para todo o estado do RS utilizando o interpolador Inverso da Distância Ponderada, sendo que a potência que gerou os mapas com os menores erros foi a 5ª, tanto para o coeficiente a , quanto para o coeficiente b .

Ademais, cabe destacar que apesar de suas limitações, o uso do IDP forneceu bons resultados, culminando em mapas que representam um ganho de informações hidrológicas a serem utilizadas na gestão dos recursos naturais no estado do Rio Grande do Sul.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of fit. **Journal of the American Statistical Association**, v. 49, n. 268, pp. 756-76, 1954.
- ALMEIDA, L. T. **Espacialização de chuvas intensas: uma nova proposta**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.
- BRAGA, Raphael Nunes de Siqueira et al. Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro. **Revista Ambiente & Água**, v18, 2018.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana – Manual de Projeto**. 3 ed. 1979.
- CHOW, Ven Te et al. **Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small basins**. Illinois, 1962.
- KENDALL, M. **Rank correlation methods** (4th edn.), Charles griffin. 1975.
- MELLO, C. R.; Silva, A. M. **Hidrologia: Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.
- NAGHETTINI, Mauro. **Fundamentals of statistical hydrology**. Springer, 2017.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models I. **Journal of Hydrology**, v. 10, n.3, 1970.
- RIOS, E. S. **O EFEITO DE BORDA NA GEOESTATÍSTICA**. 2018. Tese. UFV.
- VARGAS, M. M.; BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; CORREA, L. CUNHA, Z. A. D. SYHDA – System of Hydrological Data Acquisition and Analysis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 24, 2019.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Hydrological Practices**. Genebra. Chairperson Publications Board, 2008, 6º ed.