

Estimativa e mapeamento de chuva de projeto, a partir da distribuição GEV e momentos-LH, para a região Oeste do Paraná, Brasil

Estimative and mapping of design rainfall, through GEV distribution and LH-moments, for the Western Region of Paraná, Brazil

• **Data de entrada:**
03/11/2021


• **Data de aprovação:**
25/04/2022


Ana Paula Steffen^{1*} | Patrícia Cristina Steffen² | Wagner Alessandro Pansera¹ | Gustavo Henrique Dalposso¹ | Benedito Martins Gomes³


DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.024>


ORCID ID

Steffen AP  <https://orcid.org/0000-0001-7192-4559>

Steffen PC  <https://orcid.org/0000-0002-2672-4619>

Pansera WA  <https://orcid.org/0000-0002-6850-6775>

Dalposso GH  <https://orcid.org/0000-0003-2097-5748>

Gomes BM  <https://orcid.org/0000-0003-0223-4049>

Resumo

Estudos de precipitação máxima têm destaque em projetos de Engenharia, vistas as perdas que suas consequências podem gerar. Instalações prediais de água pluvial captam e conduzem a água incidente na edificação à rede de drenagem. A chuva de projeto é um parâmetro de dimensionamento da instalação predial, e para obtenção de sua intensidade a NBR 10844/1989 sugere uso de dados locais de chuva; quando não há dados, a norma indica a adoção de 150 mm/h para áreas de projeção horizontal menor que 100 m². Então, o estudo estimou valores locais de intensidade de chuva a partir da distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Momentos-LH. Foram estudados 64 postos pluviométricos da região Oeste do Paraná e seus quantis com T_r de 1, 5 e 25 anos. A desagregação de chuvas foi aplicada para obter a intensidade da chuva de duração de 5 minutos. Verificou-se que para T_r de 1 ano os valores estão abaixo de 150 mm/h, enquanto, para os demais, a maioria é superior à referência. Por fim, os resultados foram espacializados em mapas gerados pela Krigagem Ordinária.

Palavras-chave: Rede de drenagem urbana. Instalações prediais. Curva IDF. Distribuição Generalizada de Valores Extremos. Momentos-LH. Krigagem Ordinária.

Abstract

Maximum precipitation studies are highlighted in engineering projects once the losses their consequences can generate are significant. A building's rainwater installations collect and carry the water falling on the building to the drainage network. The design rainfall is a parameter for dimensioning the building facility, and NBR 10844/1989 suggests the use of local rainfall data to obtain its intensity; when there is no data, the standard indicates the adoption of 150 mm/h for horizontal projection areas smaller than 100 m². Therefore, the study estimated local rainfall intensity values from Generalized Extreme Value (GEV) distribution and LH-moments. In the Western Region

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Toledo - Paraná - Brasil.

² Universidade Federal de Mato Grosso - Barra do Garças - Mato Grosso - Brasil.

³ Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Cascavel - Paraná - Brasil.

* **Autora correspondente:** anapaulasteffen.eng@gmail.com.

of Paraná, 64 pluviometric stations and their quantiles of 1, 5 and 25 years T_r were studied. Rainfall breakdown method was applied to obtain the rainfall intensity of 5 minutes duration. For 1-year T_r the values are below 150 mm/h, while for the others, most of the values are above the reference. Finally, the results were spatialized in maps generated by Ordinary Kriging.

Keywords: Urban drainage network. Building facilities. IDF curve. Generalized Extreme Value distribution. LH-moments. Ordinary Kriging.

1 INTRODUÇÃO

Os estudos de precipitações máximas têm grande destaque nos projetos de Engenharia (GOMES JÚNIOR et al., 2019), uma vez que eventos extremos máximos podem gerar cheias e, conseqüentemente, prejuízos materiais e humanos. As instalações prediais de águas pluviais se inserem nesse contexto com a função de recolher e conduzir a água da chuva que incide sobre a edificação até a rede de drenagem da cidade. Para projetar os sistemas de instalações prediais de águas pluviais, existem três etapas que devem ser consideradas: (i) avaliação das informações preestabelecidas em projeto, como a arquitetura, (ii) traçado do caminhamento das tubulações de águas pluviais e (iii) dimensionamento dos condutores. Na última etapa, definem-se, por exemplo, os diâmetros das tubulações de condução e as dimensões dos coletores de água, os quais dependem da intensidade pluviométrica. Em outras palavras, a intensidade de chuva é uma variável aplicada para a obtenção da vazão de projeto – parâmetro utilizado no dimensionamento.

A determinação da chuva de projeto, por sua vez, deve estar em consonância com as séries históricas de precipitação da região; quando não se tem esses registros, podem ser utilizados dados de localidades com características hidrológicas semelhantes (BACK; BONETTI, 2014). No entanto, essa generalização pode afetar o dimensionamento de sistemas de condução vertical e horizontal de águas pluviais, tornando-os sub ou

superdimensionados, influenciando diretamente os sistemas locais de drenagem urbana.

A pesquisa das características das precipitações pode ser feita conhecendo-se seus dados de duração, intensidade e frequência de ocorrência. A relação entre essas variáveis é denominada de curva de intensidade-duração-frequência (IDF) e pode ser uma ferramenta utilizada para transformações chuva-vazão (DAMÉ et al., 2008). Contudo, para conhecer as relações IDF, utilizam-se dados das séries históricas de chuva, que passam por um processo de modelagem estocástica, a fim de representar o comportamento da população a partir da amostra.

No Brasil, a NBR 10844/1989 expõe conceitos e diretrizes relevantes para projetos de instalações prediais de águas pluviais e apresenta a intensidade de chuva para várias cidades brasileiras. Os valores se baseiam nos estudos de Pfafstetter (1956, 1982), cujos resultados são utilizados até hoje como referência nos projetos de engenharia, embora o estudo tenha sido publicado há mais de 50 anos (o estudo foi republicado em 1982 sem atualizações) (MARTINS et al., 2019). Ademais, os dados foram coletados há quase 70 anos (MARTINS et al., 2019), sendo que a maioria dos valores apresentados pela norma foram estimados a partir de amostras inferiores a 20 anos e outros, por meio de amostras menores que 10 anos. Naghettini e Pinto (2007) indicam que podem ser realizadas estimativas confiáveis de quantis para períodos de retorno com até o dobro do tamanho amostral. Nesse sentido, algumas estimativas

apresentadas pela NBR 10844/1989 para o período de retorno de 25 anos podem ser duvidosas, podendo resultar em super ou subdimensionamento das instalações prediais de águas pluviais, devido à adoção de parâmetros desatualizados.

Ainda, caso a região do projeto não esteja contemplada pela NBR 10844/1989, recomenda-se o uso de dados pluviométricos das estações regionais, mas a norma brasileira não sugere nenhum processo metodológico para obtenção dos valores de chuva de projeto. Em contrapartida, a norma sugere a utilização de uma intensidade de chuva igual a 150 mm/h para construções de até 100 m² de projeção horizontal, sem menção a um parâmetro para áreas superiores a isso. Contudo, de acordo com experiências práticas profissionais, edificações de médio e alto porte raramente apresentam projeções horizontais inferiores a 100 m², sendo as consequências em casos de falhas das instalações ainda mais significativos. A regulamentação também fixa a duração da chuva em 5 minutos para qualquer instalação predial.

Deste modo, ao se observar os valores recomendados pela Norma Brasileira, entende-se que as incertezas inerentes aos dados hidrológicos são, de alguma forma, desprezadas. Por isso, a utilização da chuva de projeto local pode resultar em projetos mais eficientes e precisos do que aqueles obtidos a partir dos valores recomendados pela norma NBR 10844/1989. Nesse contexto, como forma de estabelecer um processo metodológico para obtenção da chuva de projeto em regiões não contempladas pela NBR 10844/1989, e de verificar se os valores apresentados pela normativa são ainda consistentes, este estudo teve como objetivo estimar a chuva de projeto, com 5 minutos de duração, para diferentes tempos de retorno (1, 5 e 25 anos). Para isso, foi utilizada a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV), com parâmetros estimados por meio do método dos momentos-LH, calculados a partir de combinações lineares das estatísticas de altas ordens, sendo atribuído maior peso aos

maiores valores observados, já que possuem informações relevantes sobre a cauda superior da GEV (PANSERA; GOMES, 2021). Ainda, para espacialização dos resultados, foram desenvolvidos mapas temáticos a partir de Krigagem Ordinária.

Para a aplicação dos métodos propostos, a área de estudo foi a Região Oeste do Estado do Paraná, Brasil. A escolha da região se deve a três fatores: (i) não foram encontrados estudos relacionados ao tema na localidade; (ii) no anexo da NBR 10844/1989 são apresentados dados de chuvas intensas com duração de 5 minutos apenas para quatro municípios no estado do Paraná (Jacarezinho, Curitiba, Paranaguá e Ponta Grossa), localizados nas regiões Norte ou Leste do estado; e (iii) Back e Bonetti (2014), estudando o estado de Santa Catarina, Brasil, observaram que mais de 80% das estações estudadas apresentaram intensidade de chuva superior a 150 mm/h para um período de retorno de 5 anos, evidenciando a necessidade de utilização de dados locais em projetos de drenagem e a importância da atualização de estudos de intensidade de chuva.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área para o desenvolvimento do presente trabalho são os municípios da região Oeste do Estado do Paraná, que totalizam 50 cidades.

As séries de precipitações diárias máximas anuais foram obtidas junto ao Instituto Água e Terra (IAT), anteriormente denominado Instituto das Águas do Paraná. A seleção das estações se deu com base no tamanho da amostra e em seu comportamento, de modo que na triagem foram priorizadas as estações com mais de 20 anos de dados e com até 5% de falhas. O controle de qualidade dos dados (consistência e homogeneidade) foi realizado conforme metodologia proposta por Serrano-Notivoli et al. (2017).

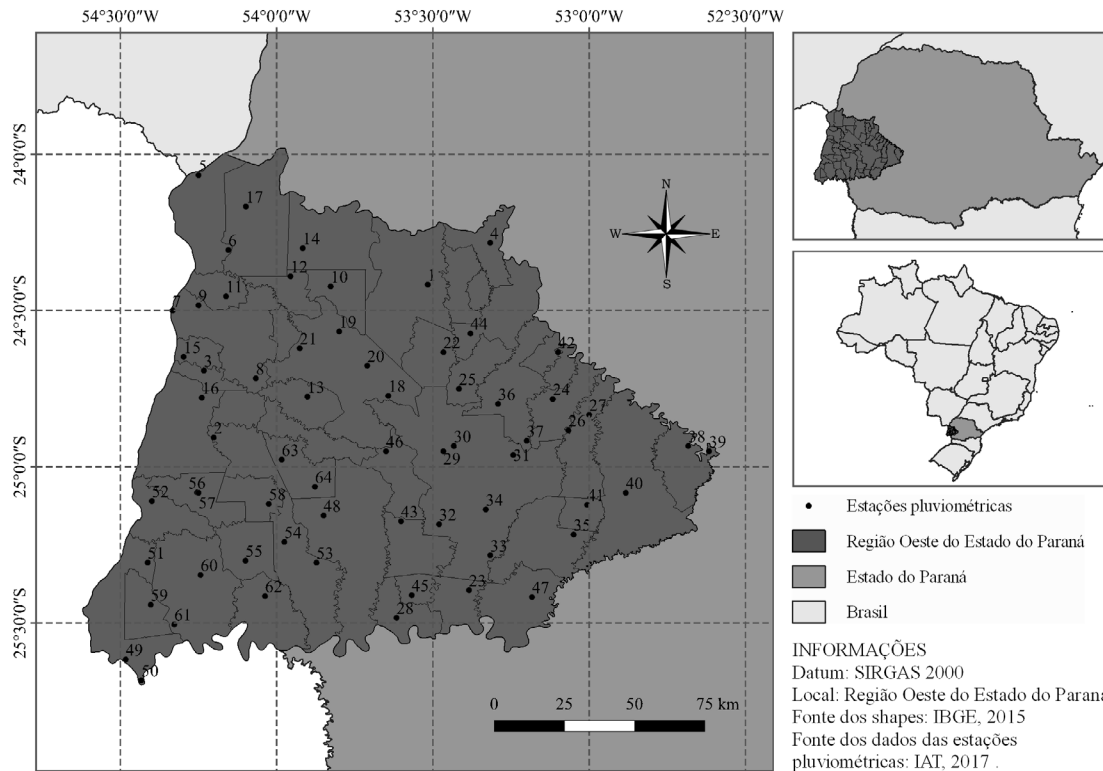


Figura 1 - Municípios e estações pluviométricas da região oeste do Paraná

Buscou-se, também, utilizar ao menos uma estação de cada município da região Oeste. No entanto, foram identificados municípios que não possuem dados disponibilizados pelo IAT: Iracema do Oeste, Jesuítas, Quatro Pontes, São José das Palmeiras e Anahy. Já para o município de São Pedro do Iguazu não há registros com mais de 20 anos e, como a série apresenta falhas em vários meses, optou-se por não utilizar a série histórica desta estação.

Portanto, foram selecionadas 64 estações pluviométricas para o desenvolvimento deste trabalho. Cada estação foi identificada por um número (ID) de 1 a 64. A área de estudo e as estações são apresentadas na Fig. 1.

2.2 Métodos

Devido à aleatoriedade dos dados hidrológicos, inicialmente foi realizada uma análise estatística

descritiva das amostras, com o intuito de criar medidas resumo, de tendência central e dispersão, facilitando a organização, separação e sintetização dos dados de cada estação pluviométrica. Depois disso, foram realizadas as etapas de homoscedasticidade, estimativa dos parâmetros da GEV, desagregação de chuva para duração de 5 minutos e elaboração dos mapas temáticos.

2.2.1 Homoscedasticidade

Segundo Naghettini e Pinto (2007), para trabalhar com a análise de frequência de chuvas é necessário assumir que a amostra utilizada é aleatória, simples e extraída de uma única população. Portanto, é necessário testar as hipóteses de aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade.

As hipóteses de aleatoriedade e independência não foram testadas nesta pesquisa. A independência é parcialmente garantida pela forma como as séries são amostradas, o que, em outras palavras, significa que, do ponto de vista estritamente hidrológico, não faz sentido imaginar que a precipitação máxima de um ano guarde relação com o máximo do anterior. A aleatoriedade, por outro lado, é parcialmente garantida pela natureza estocástica do fenômeno analisado (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A homogeneidade e a estacionariedade das séries foram avaliadas pelos testes de Mann-Whitney e Spearman, respectivamente, considerando um nível de significância de 5%. Mais detalhes sobre os testes podem ser encontrados em Naghettini e Pinto (2007).

2.2.2 Estimativa de parâmetros da GEV

Para analisar eventos hidrológicos extremos máximos, Rao e Hammed (2000) apresentam algumas distribuições de probabilidade relevantes e destacam a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV), que foi introduzida por Jenkinson (1955) e combina os três possíveis tipos de distribuição de valores extremos em um padrão. As distribuições GEV são usadas para modelar uma ampla gama de extremos naturais, como inundações, precipitação, velocidade do vento, temperatura e outros (EL-MAGD, 2010).

Ao modelar a distribuição Generalizada de Valores Extremos aos dados amostrais, é necessário estimar seus parâmetros de escala (α), posição (β) e forma (κ). Com esses parâmetros, é obtida a chuva máxima diária para cada estação pluviométrica, substituindo-se os parâmetros nas Eq. 1 ou 2, de acordo com o parâmetro de forma (κ):

$$x(F) = \beta + \frac{\alpha}{\kappa} \{1 - [-\ln(F)]^\kappa\}, \text{ para } \kappa \neq 0 \quad (1)$$

$$x(F) = \beta - \alpha \cdot \ln[-\ln(F)], \text{ para } \kappa=0 \quad (2)$$

As Eq. 1 e 2 definem os quantis da GEV ($x(F)$), e são função da frequência (F) e do tempo de retorno (Tr), além dos parâmetros supracitados. Papalexiou e Koutsoyiannis (2013), por meio do estudo de 15137 séries de dados de precipitação máxima anual em todo o mundo, identificaram três questões importantes sobre o parâmetro de forma: (i) o tamanho da amostra tem grande influência sobre o parâmetro de forma e séries longas são necessários para fazer estimativas confiáveis; (ii) quando o tamanho da amostra é suficiente, a variação do parâmetro de forma é pequena; e (iii) a localização geográfica afeta o parâmetro de forma.

Ainda, os quantis da GEV são gerados a partir dos períodos de retorno estipulados pela NBR 10844/1989. A norma recomenda três níveis de risco (1, 5 e 25 anos), de acordo com a natureza da área a ser drenada: para áreas pavimentadas é utilizado o período de retorno de 1 ano (pátios de estacionamento de veículos, áreas de circulação restrita e calçadas); o período de retorno de 5 anos é aplicado às áreas com cobertura; e o período de retorno de 25 anos é usado para telhados e áreas onde a retenção de água não é permitida. Desta forma, foi gerada a precipitação máxima diária para cada estação pluviométrica, considerando o período de retorno de 1, 5 e 25 anos. Para fins matemáticos, o período de retorno de 1 ano (Tr) foi adotado igual a 1,05 ano nos cálculos, uma vez que $\ln\left[1 - \frac{1}{Tr}\right]$ para Tr igual a 1 não existe.

Outra questão importante sobre o uso da GEV é o método de estimação dos parâmetros, pois interfere na precisão dos quantis estimados, principalmente nas caudas da distribuição, onde se encontram os valores desejados. Os principais métodos para estimar os parâmetros da GEV são os métodos dos momentos, da máxima ve-

rossimilhança e dos momentos-L (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Queiroz e Chaudhry (2006) e Wang (1997, 1998), no entanto, afirmam que o método dos momentos-LH também pode ser usado para este propósito. Nesta pesquisa, os parâmetros GEV foram estimados pelo método dos momentos-LH.

O método dos momentos-LH foi apresentado por Wang (1997) como uma generalização dos momentos-L, baseado na combinação linear de estatísticas de alta ordem. O método enfatiza os quantis superiores das distribuições em detrimento dos inferiores (MURSHED et al., 2013), o que significa que, no método dos momentos-LH, os maiores valores amostrais recebem um peso maior, pois contêm informações relevantes sobre a cauda superior da distribuição. Ao ajustar a GEV a uma série de dados amostrais, além de estimar os parâmetros por meio de métodos como o de momentos-LH, é importante a realização de testes da qualidade desse ajuste, ou testes de aderência, importantes para decidir se uma distribuição é adequada ou não a uma dada amostra. Dentre os testes de aderência, Naghettini e Pinto (2007) destacam: qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling e Filliben.

Já Queiroz e Chaudhry (2006) e Wang (1998) apresentam o teste de qualidade de Wang (1998) como opção para o ajuste da GEV. Em seu estudo, Queiroz e Chaudhry (2006) utilizaram a distribuição GEV para modelar eventos hidrológicos extremos em rios da sub-bacia 64 da Bacia Hidrográfica do Paraná (Estado do Paraná). Os autores analisaram séries de cheia anual e de vazão mínima de 7 dias para 42 estações pluviométricas, aplicando a GEV e os momentos-LH, com teste de aderência de Wang (1998) e Kolmogorov-Smirnov. Neste trabalho foi aplicado o teste de aderência de Wang (1998).

Pansera e Gomes (2021) desenvolveram uma rotina de obtenção dos parâmetros da GEV. A

existência de uma rotina e a pesquisa bibliográfica realizada justificam a aplicação dos métodos deste trabalho. Por meio da rotina, foram aplicadas as etapas a cada estação: (i) calcular os momentos-LH amostrais; (ii) estimar os parâmetros da GEV; (iii) e calcular o teste de Wang (1998) da distribuição GEV. As etapas de (i) a (iii) devem ser realizadas para as ordens de momentos-LH iguais a 0, 1, 2, 3 e 4, totalizando 5 conjuntos de parâmetros GEV ao final da execução. Para decidir qual conjunto de parâmetros utilizar, foi aplicada a sugestão apresentada por Queiroz e Chaudhry (2006) e Pansera e Gomes (2021): escolher o conjunto de parâmetros em função do menor valor do teste de Wang (1998).

2.2.3 Desagregação de chuvas para duração de 5 minutos

As relações IDF foram determinadas após a estimativa dos parâmetros GEV. Esta etapa apresenta grandes dificuldades devido à escassez das séries de dados pluviométricos, à baixa densidade da rede pluviográfica e ao curto período de disponibilidade das séries de dados no Brasil (BACK et al., 2012).

Quando grandes séries de dados de chuva não estão disponíveis, a adoção de outras medidas é necessária para obter chuvas de projeto de durações diferentes da chuva de intensidade diária (MARTINS et al., 2019). No Brasil, a técnica amplamente utilizada considera as relações de durações propostas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1986). Com base nesse princípio, denominado desagregação da chuva, os níveis de precipitação podem ser estimados a partir da precipitação máxima diária anual registrada pelo pluviômetro em períodos de apenas cinco minutos (DORNELES et al., 2019). A duração de 5 minutos se justifica por ser o menor intervalo em que os pluviogramas con-

vencionais podem ser lidos com precisão adequada (BACK; BONETTI, 2014).

Back et al. (2012), estudando 13 estações pluviométricas, concluíram que as relações entre diferentes durações de chuvas ajustadas para as estações do interior do estado de Santa Catarina (que possui clima semelhante ao da região de estudo) apresentam menos de 5% de diferença em relação aos valores estabelecidos pela CETESB (1986). Como a região de estudo é climaticamente semelhante, serão utilizados os mesmos coeficientes.

Por meio da precipitação máxima diária, os coeficientes da CETESB (1986) são utilizados para realizar a desagregação da precipitação para o período de interesse. Inicialmente, a precipitação pluviométrica com duração de 24 horas foi estimada utilizando o coeficiente igual a 1,14. Depois disso, para obter a chuva com duração de 24 horas, foram aplicadas manipulações matemáticas entre as precipitações recomendadas pela CETESB (1986) até a obtenção da chuva de 5 minutos. Por fim, as alturas pluviométricas (medidas em milímetros) foram transformadas em intensidade (medidas em mm/h). Assim, para cada estação pluviométrica e cada período de retorno, foi obtida a intensidade da chuva com duração de 5 minutos.

2.2.4 Elaboração dos mapas temáticos

A dificuldade de obtenção da precipitação de projeto em áreas não previstas na norma brasileira pode ser contornada por meio de procedimentos de interpolação espacial (SZOLGAY et al., 2009). De acordo com Castro et al. (2010), o método de interpolação espacial Krigagem apresenta melhor desempenho para interpolação de diferentes regiões do país, conforme mostram as pesquisas de Silva et al. (2007) e Lucas et al. (2013).

A análise descritiva espacial estuda o comportamento dos dados considerando sua posição, e

pode ser obtida por meio da confecção do gráfico *Postplot* (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2016), que representa a primeira impressão da distribuição dos dados ao longo da região. No presente estudo, os dados se referem à chuva de projeto.

Primeiramente, elaboram-se o semivariograma experimental, onde se admite que os dados se comportam de maneira isotrópica. Ou seja, a covariância é semelhante para todas as direções do fenômeno (DIGGLE; RIBEIRO JUNIOR, 2007). Esta consideração permite que o estudo da dependência espacial seja feito por meio de um único semivariograma experimental (omnidirecional) (GUEDES et al., 2008).

Apenas o semivariograma experimental não é suficiente para descrever o comportamento espacial de um determinado fenômeno, por isso ajusta-se um modelo teórico ao semivariograma experimental. Nesta pesquisa foram adotados os modelos teóricos: esférico, exponencial, gaussiano e família Matérn. A estimação dos parâmetros para cada um dos modelos foi realizada utilizando-se o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS). Para escolher qual o “melhor modelo”, foi utilizada a validação cruzada, recomendada por Adhikary et al. (2016). Posteriormente, os parâmetros deste modelo são empregados para elaborar um mapa temático por meio do interpolador de Krigagem Ordinária. Em resumo, são apresentadas as etapas a serem atingidas para a obtenção dos mapas temáticos da chuva de projeto: (i) construção do semivariograma experimental omnidirecional; (ii) ajuste do modelo teórico esférico, exponencial, Gaussiano e família Matérn, utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS) para estimar os parâmetros efeito pepita, patamar e alcance; (iii) validação cruzada para a escolha do modelo teórico de melhor ajuste; (iv) elaboração do mapa temático com uso de Krigagem Ordinária.

Destaca-se a obtenção das coordenadas geográficas que delimitam a região Oeste do Paraná, antes da análise geostatística básica. Para obtenção das coordenadas, utilizou-se a base cartográfica (malha digital) fornecida pelo IBGE (2015). Do mesmo modo, associou-se o resultado da chuva de projeto à coordenada geográfica de cada estação para criação do banco de dados para a análise geostatística. A construção dos mapas foi realizada por meio do pacote “geoR”, criado por Ribeiro Junior e Diggle (2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio dos testes de homogeneidade e estacionariedade, oito (dentre as 64) estações pluviométricas foram descartadas (estações de ID 3, 7, 13, 15, 25, 30, 40 e 58), pois suas séries de dados tiveram a hipótese nula rejeitada. Portanto, essas estações não foram utilizadas nas etapas seguintes da pesquisa.

3.1 Parâmetros da GEV

Os parâmetros da distribuição GEV são apresentados na Tabela 1, junto à ordem dos momentos LH escolhida, taxa de momentos LH e valor do teste de Wang (1998) para as 56 estações pluviométricas selecionadas (64 estações menos as 8 desconsideradas devido aos testes de homogeneidade e estacionariedade). Na Tabela 1 é apresentado apenas um conjunto de parâmetros para cada estação pluviométrica, os quais foram escolhidos devido ao menor valor do teste de adequação de Wang (1998). Ainda, na Tabela 1, para manter a organização da pesquisa, os IDs de estações adotados foram os mesmos apesar dos testes de homogeneidade e estacionariedade. Assim, os IDs ausentes (3, 7, 13, 15, 25, 30, 40 e

58) correspondem às estações cujas séries tiveram a hipótese nula rejeitada nos testes.

Os resultados da Tabela 1 mostram que, para 55 estações pluviométricas, os ajustes da distribuição GEV para as séries de dados analisadas foram aceitos com nível de significância de 5%. No entanto, para a série de dados de ID 14, o teste de adequação de Wang (1998) indica que o ajuste da distribuição GEV aos dados não foi aceito com o mesmo nível de significância ($Z_w > 1,96$). Por isso, os autores procuraram investigar os motivos pelos quais a série de dados não se ajustava à distribuição GEV. Em primeiro lugar, essa série de dados (ID 14) foi a que apresentou o maior valor para o parâmetro de forma (λ) (0,65). Além disso, a ordem estatística considerada foi o LH igual a 4, e, mesmo para essa ordem, o ajuste foi rejeitado.

Outro ponto observado é o teste de adequação de Wang (1998), que se baseia na curtose de LH. Portanto, para esse conjunto de dados (ID 14), foi obtido um valor negativo ($cc = -0,06$) para a curtose de LH da amostra (que foi o único valor negativo observado entre as 56 séries). Essa característica pode ter contribuído para a rejeição do ajuste. Nesse contexto, por meio dos valores de Z_w apresentados na Tabela 1, as estações pluviométricas com o menor (ID 11) e o maior (ID 14) valores foram identificadas pelo teste de ajuste de Wang (1998). Em outras palavras, as estações ID 11 e ID 14 possuem as séries de dados com melhor e pior ajustes à distribuição GEV, respectivamente. Assim, os gráficos da Fig. 2 foram criados para entender o comportamento de cada situação. Na Fig. 2, o ajuste da distribuição GEV coincide com os valores observados para a estação ID 11. No entanto, para os valores de precipitação mais baixos, a função de probabilidade empírica não coincide com a função de probabilidade acumulada da GEV para a estação ID 14.

Tabela 1 - Ajustes da distribuição GEV às séries de precipitação diária máxima anual.

ID	Código	Estação Município	Zw	LH	Parâmetros da GEV			Taxas de momentos-LH		
					κ	α	β	cv	cc	ca
1	02453004	Assis Chateaubriand	0,1652	3	-0,22	12,37	85,95	0,09	0,24	0,39
2	02454018	Diamante d'Oeste	0,5059	1	-0,04	21,22	92,29	0,11	0,18	0,26
4	02453010	Formosa do Oeste	0,0562	0	-0,19	19,03	80,44	0,17	0,21	0,29
5	02454001	Guaíra	0,1652	1	-0,03	22,71	77,22	0,13	0,15	0,26
6	02454016	Guaíra	0,0075	0	-0,11	19,12	85,03	0,15	0,18	0,24
8	02454013	Marechal Cândido Rondon	0,1260	2	0,49	43,23	89,44	0,09	0,05	0,04
9	02454014	Marechal Cândido Rondon	0,0203	4	-0,21	11,59	85,37	0,09	0,22	0,39
10	02453047	Maripá	0,0783	1	-0,19	17,35	86,95	0,12	0,21	0,35
11	02454015	Mercedes	0,0006	2	0,16	19,55	90,93	0,07	0,11	0,19
12	02453048	Nova Santa Rosa	0,0046	3	-0,08	17,07	86,18	0,09	0,18	0,33
14*	02453003	Palotina	1,9706	4	0,65	64,14	74,06	0,07	-0,06	0,02
16	02454012	Santa Helena	0,2637	1	-0,04	20,19	93,23	0,11	0,15	0,26
17	02454006	Terra Roxa	0,4155	1	-0,33	15,23	85,58	0,14	0,26	0,44
18	02453027	Toledo	0,2137	0	0,08	24,31	87,94	0,16	0,12	0,12
19	02453033	Toledo	0,3533	0	-0,13	20,30	85,55	0,16	0,22	0,25
20	02453059	Toledo	0,8258	4	-0,27	7,64	106,70	0,06	0,30	0,42
21	02453028	Toledo	0,0369	3	-0,30	12,19	90,60	0,11	0,26	0,43
22	02453031	Tupãssi	0,4646	0	-0,26	17,92	68,61	0,20	0,21	0,35
23	02553026	Boa Vista da Aparecida	0,6263	0	0,16	28,50	101,61	0,15	0,15	0,07
24	02453040	Braganey	0,2703	4	-0,09	16,85	104,39	0,08	0,20	0,34
26	02453014	Campo Bonito	0,2158	0	0,10	22,78	93,12	0,14	0,14	0,11
27	02453041	Campo Bonito	0,0060	3	0,03	20,60	96,89	0,08	0,14	0,27
28	02553024	Capitão Leônidas Marques	0,2164	3	0,01	28,56	91,21	0,11	0,14	0,28
29	02453007	Cascavel	0,6658	4	0,36	40,59	80,51	0,08	0,01	0,14
31	02453056	Cascavel	0,2396	0	0,19	29,25	100,75	0,16	0,10	0,06
32	02553016	Cascavel	0,0197	1	0,19	30,18	104,83	0,11	0,10	0,14
33	02553031	Cascavel	0,4585	0	0,03	21,10	84,48	0,15	0,11	0,15
34	02553035	Cascavel	0,0263	0	-0,18	23,39	94,42	0,17	0,21	0,29
35	02553041	Catanduvás	0,0852	4	0,11	38,18	82,41	0,11	0,12	0,25
36	02453012	Corbélia	0,0019	2	0,16	24,94	89,30	0,09	0,11	0,19
37	02453038	Corbélia	0,1337	2	-0,01	20,39	87,78	0,10	0,14	0,28
38	02452031	Diamante do Sul	0,4551	4	0,44	46,59	93,22	0,07	0,02	0,11
39	02452051	Diamante do Sul	0,0155	4	-0,20	16,33	89,50	0,11	0,22	0,39
41	02553019	Ibema	0,3572	0	-0,11	22,50	90,00	0,16	0,16	0,24
42	02453013	Iguatu	1,1702	4	-0,37	12,23	89,11	0,13	0,32	0,46
43	02553033	Lindoeste	0,5043	4	-0,20	18,69	98,96	0,11	0,24	0,39
44	02453037	Nova Aurora	0,2268	3	-0,10	13,78	90,63	0,08	0,18	0,34
45	02553028	Santa Lúcia	0,2102	0	0,07	26,21	95,56	0,16	0,12	0,12
46	02453025	Santa Tereza do Oeste	0,0616	0	-0,02	19,45	86,60	0,14	0,15	0,18
47	02553030	Três Barras do Paraná	0,2532	4	-0,29	18,84	93,88	0,13	0,26	0,43
48	02553009	Céu Azul	0,1543	2	0,14	30,18	100,91	0,10	0,12	0,20
49	02554001	Foz do Iguaçu	0,4074	4	0,17	29,98	86,81	0,08	0,10	0,22
50	02554002	Foz do Iguaçu	0,3485	0	0,10	28,76	89,41	0,18	0,12	0,11
51	02554030	Foz do Iguaçu	0,1103	1	-0,13	20,75	93,34	0,12	0,20	0,32
52	02554025	Itaipulândia	1,3734	4	0,19	58,17	76,71	0,12	0,03	0,22
53	02553020	Matelândia	0,0778	3	0,19	37,19	94,86	0,09	0,11	0,20
54	02554005	Matelândia	0,4590	1	-0,06	27,32	100,66	0,13	0,15	0,28
55	02554007	Medianeira	0,0023	2	-0,35	16,98	94,45	0,15	0,29	0,46
56	02554020	Missal	0,1653	1	-0,11	16,78	99,52	0,10	0,18	0,31
57	02554022	Missal	0,2702	0	0,38	24,15	96,61	0,13	0,08	-0,05
59	02554012	Santa Terezinha de Itaipu	1,0684	0	-0,19	19,20	97,72	0,14	0,16	0,30
60	02554006	São Miguel do Iguaçu	0,2250	3	-0,05	21,40	88,44	0,10	0,18	0,31
61	02554013	São Miguel do Iguaçu	0,5068	0	-0,25	21,15	97,67	0,17	0,22	0,34
62	02554018	Serranópolis do Iguaçu	0,9131	0	0,04	22,92	88,70	0,15	0,09	0,14
63	02454011	Vera Cruz do Oeste	0,2852	2	0,27	37,47	98,29	0,10	0,07	0,14
64	02553022	Vera Cruz do Oeste	0,2426	4	-0,36	13,46	96,80	0,12	0,30	0,46

ID - Identificador; Zw - Teste de Wang, com Zw (0,05) teórico = 1,96; LH - Ordem escolhida; κ - Parâmetro de forma; α - Parâmetro de escala; β - Parâmetro de posição; cv - Coeficiente de variação; cc - Coeficiente de curtose; ca - Coeficiente de Assimetria; * estação descartada.

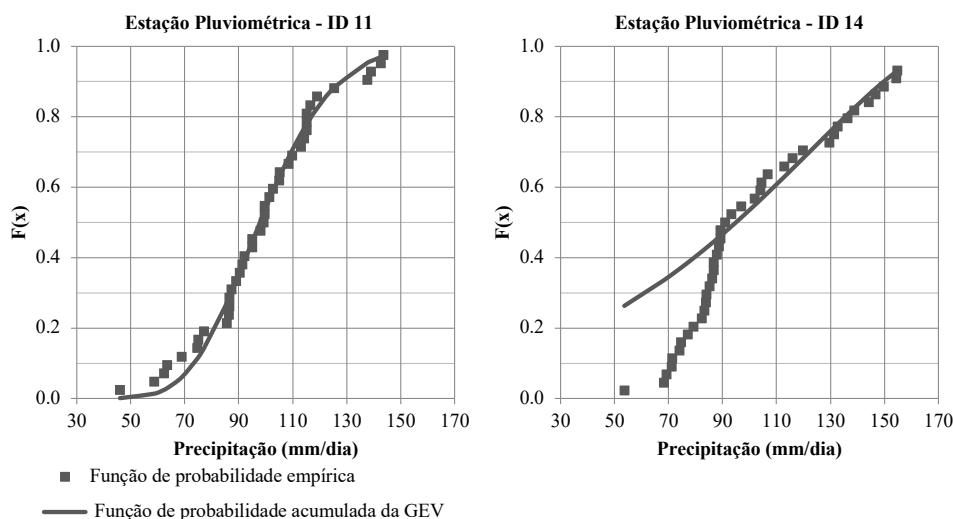


Figura 2 - Melhor (esquerda) e pior (direita) ajuste da distribuição GEV

Outra análise sobre a Tabela 1 está relacionada às ordens dos momentos-LH escolhidos para cada estação pluviométrica. Dentre as 56 séries de dados analisadas, 18 delas (32,14%) pertencem à ordem LH igual a 0, e, assim, os momentos-LH passam a ser iguais aos momentos-L. As 38 séries restantes (67,86%) se enquadram nas ordens 1, 2, 3 ou 4. Portanto, segundo Queiroz e Chaudhry (2006), quando a ordem aumenta, os momentos-LH refletem as características da parte superior da distribuição e dos valores máximos extremos dos dados.

Posteriormente, o parâmetro κ de cada estação foi observado na Tabela 1: dentre as 56 estações, 29 séries de dados (51,80%) alcançaram $\kappa < 0$; 23 (41,10%) alcançaram $\kappa > 0$; e 4 séries de dados atingiram a faixa $-0,03 < \kappa < 0,03$. Os valores mais baixo e mais alto para o parâmetro de forma (κ) foram, respectivamente, iguais a $-0,37$ (ID 42) e $0,65$ (ID 14). De acordo com Hosking et al. (1985), κ está geralmente na faixa de $-0,5 < \kappa < 0,5$. Desta forma, ao observar os valores apresentados na Tabela 1, apenas uma das estações (ID 14) ultrapassou os valores de referência, o que possivelmente poderia levar à rejeição do teste de adequação de

Wang (1998). A estação ID 14 não foi considerada nas próximas etapas do estudo.

Além disso, 24 séries de dados apresentaram um parâmetro de forma positivo ($\kappa > 0$), o que indica que a distribuição GEV possui um limite superior. Papalexiou e Koutsoyiannis (2013) recomendam, nesta situação, a utilização do parâmetro de forma igual a 0,114. Portanto, nos procedimentos a seguir o parâmetro de forma foi adotado igual a 0,114 quando $\kappa > 0,114$ na Tabela 1; caso contrário (se $\kappa < 0,114$), foi adotado o valor obtido na Tabela 1.

3.2 Desagregação de chuvas para duração de 5 minutos

A precipitação foi desagregada em 5 minutos de duração, obtendo-se a intensidade da chuva para os períodos de retorno definidos (1, 5 e 25 anos). A Fig. 3 mostra os valores de intensidade de chuva obtidos por meio da distribuição GEV, para cada estação pluviométrica, em comparação com a recomendação da NBR 10844/1989.

As estações pluviométricas da região Oeste do Estado do Paraná apresentam a intensidade

máxima de chuva com duração de 5 minutos e período de retorno de 1 ano na faixa de valores de 11,07 a 143,64 mm/h e média igual a 94,40 mm/h. Para o período de retorno de 5 anos, a precipitação de projeto variou de 146,80 a 227,61 mm/h, com média igual a 183,66 mm/h, enquanto para o período de retorno de 25 anos a precipitação de projeto variou entre 199,22 e 336,28 mm/h, com média de 247,42 mm/h. Em

relação aos quantis, a precipitação é alta para períodos de retorno de 5 e 25 anos; possivelmente, seria devido à ocorrência de chuvas convectivas, que ocorrem com maior frequência no verão na Região Sul do Brasil, segundo Machado et al. (2014).

Para o período de retorno de 1 ano, os valores são, em geral, significativamente inferiores aos valores sugeridos pela NBR 10844/1989.

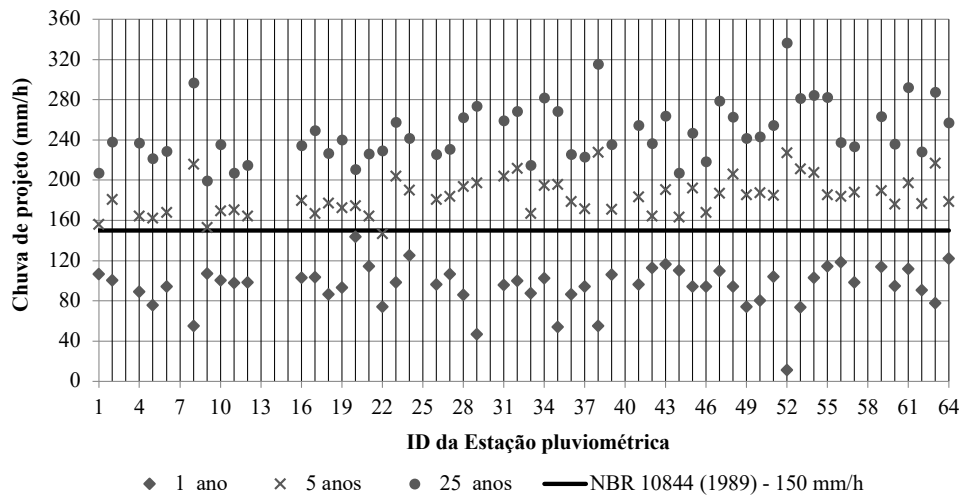


Figura 3 - Comparação entre valores de intensidade de chuva obtidos localmente utilizando a GEV, para os diversos tempos de retorno (1, 5 e 25 anos), e o valor indicado pela NBR 10844/1989.

Ressalta-se, ainda, a intensidade de chuva para o período de retorno de 1 ano da estação ID 20, que possui valor mais alto em comparação às demais estações, e mais baixo para o Tr de 25 anos. Esse fato se justifica: (i) pelos resultados apresentados na Tabela 1, na qual se observa que o parâmetro de escala da estação ID 20 é o menor dentre todas as estações estudadas, fazendo com que os quantis tenham valores mais baixos, visto que o parâmetro de escala está relacionado com a “variância” dos dados (como a estação apresentou “variância” baixa, a tendência é ter quantis mais próximos); (ii) pela localização da área de estudo, que influencia no parâmetro de forma (PAPALEXIOU; KOUTSOYIANNIS, 2013); (iii) e pelo fato de não se observar orografia na região Oeste do Paraná, restando

chuvas frontais e convectivas; contudo, chuvas extremas na região podem ocorrer praticamente em qualquer período do ano, sendo, então, difícil dissociar chuvas convectivas das frontais, apesar de as convectivas serem mais comuns.

Portanto, mesmo que a área de projeção horizontal seja maior que 100 m², o uso do valor normativo é recomendado por segurança. Porém, para períodos de retorno de 5 e 25 anos, os valores de intensidade de chuva devem ser utilizados nos projetos, uma vez que, conforme a Fig. 3, em quase todas as estações, a intensidade máxima de chuva é significativamente superior aos 150 mm/h, conforme indicado pela norma brasileira. Além disso, o uso

de valores locais permite o dimensionamento de áreas de projeção horizontal maiores que 100 m².

3.3 Mapas temáticos

Como a intensidade das chuvas para o período de retorno de 1 ano é inferior ao valor padrão (150 mm/h), o mapa temático não foi elaborado.

Para a construção dos semivariogramas experimentais, pelo menos 30 pares de pontos devem ser considerados no cálculo de cada semivariância de Morris (1991). Para ambas as amostras, o número mínimo de pares de pontos foi respeitado. Os modelos teóricos foram ajustados e a Tabela 2 apresenta as estimativas dos parâmetros para esses ajustes. Essa etapa foi realizada por meio dos modelos da família Gaussiana, esférica, exponencial e Matérn ($k = 1,0$, $k = 1,5$ e $k = 2,0$), a partir do método dos Mínimos Quadrados Ordinários (OLS).

Por meio da Tabela 2, o valor do alcance (a) indica que alguns modelos apresentaram alto raio de

dependência espacial. Porém, esses valores não devem ultrapassar a distância máxima da área de estudo (igual a 1,9819 grau decimal) e não devem ser usados, porque, apesar de serem matematicamente corretos, Dalposso et al. (2009) e Oliver e Webster (2014) afirmam que os valores não se enquadram na realidade, além de existirem outros modelos cujo alcance se enquadram na área de estudo. Os modelos que apresentaram alto raio de dependência espacial estão demarcados na Tabela 2 por um asterisco (*). Portanto, para os modelos gaussianos e esféricos para o período de retorno de 5 anos, e para os modelos esféricos e da família Matérn para o período de retorno de 25 anos, o comportamento do semivariograma teórico é mais próximo da realidade e, consequentemente, gera parâmetros mais confiáveis. Assim, nas etapas seguintes foram excluídos os modelos com variação acima de 1,9819 grau decimal. Em seguida, a validação cruzada foi usada para escolher o melhor ajuste, cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 - Modelos ajustados e parâmetros obtidos para dados de chuva de projeto.

Tr	Modelo	C ₀	C ₁	C ₀ + C ₁	a
5 anos	Gaussiano	192,81	264,17	456,98	1,2759
	Esférico	132,31	332,09	464,40	1,4906
	Exponencial*	121,18	622,49	743,67	4,6189
	Matérn (k = 1,0)*	164,69	408,98	573,66	2,4836
	Matérn (k = 1,5)*	177,21	356,45	533,66	2,0486
	Matérn (k = 2,0)*	191,47	383,35	574,82	2,2086
25 anos	Gaussiano*	562,56	922,54	1485,10	2,0849
	Esférico	410,51	827,47	1237,98	1,9414
	Exponencial*	352,95	1063,61	1416,56	3,4026
	Matérn (k = 1,0)	119,08	870,35	989,43	0,9890
	Matérn (k = 1,5)	95,37	846,38	941,76	0,8093
	Matérn (k = 2,0)	85,51	836,44	921,95	0,7359

C₀ - efeito pepita; C₁ - contribuição; C₀ + C₁ - patamar; a - alcance (graus decimais); *valores com alto raio de dependência espacial.

Tabela 3 - Modelos ajustados e parâmetros obtidos para confecção dos mapas temáticos.

T _r	Model	ME	S _{ME}	RE	S _{RE}	AE
5 anos	Gaussiano	-0,0157	16,21	-0,0004	1,07	640,96
	Esférico	-0,0155	16,98	-0,0003	1,16	671,55
25 anos	Esférico	0,1752	28,20	0,0037	1,16	1187,87
	Matérn (k=1,0)	0,8383	30,95	0,0242	1,67	1300,31
	Matérn (k=1,5)	0,9081	31,71	0,0286	1,87	1328,72
	Matérn (k=2,0)	0,9005	32,17	0,0299	2,00	1345,37

T_r - Período de retorno; ME - Erro médio; S_{ME} - Desvio Padrão dos erros médios; RE - Erro médio reduzido; S_{RE} - desvio padrão dos erros reduzidos; AE - Erro absoluto (mm/h).

Na Tabela 3, buscam-se o erro médio (ME) e o erro reduzido (RE) mais próximos de zero, bem como o menor desvio-padrão dos erros médios (SME), o desvio-padrão dos erros reduzidos (SRE) mais próximo de um e o menor erro absoluto (AE). Uma vez que o modelo gaussiano obteve o melhor resultado em três critérios para o período de retorno de 5 anos, e o modelo esférico obteve o melhor resultado considerando todos os critérios para o período de retorno de 25 anos, os parâmetros desses modelos foram utilizados para a elaboração dos mapas temáticos por meio da Krigagem Ordinária.

As Fig. 4 e 5 foram elaboradas considerando a Krigagem Ordinária como interpolador e utilizando parâmetros dos modelos Gaussiano e Esférico, respectivamente, conforme mostrado na Tabela 2. As Fig. 4 e 5 são os mapas temáticos da intensidade

de chuva de 5 minutos de duração, respectivamente para períodos de retorno de 5 e 25 anos. A Fig. 4 mostra a intensidade de chuva com duração máxima de 5 minutos para período de retorno de 5 anos, para a Região Oeste do Estado do Paraná. Na Fig. 4, os valores krigados mínimo e máximo são iguais a 159,88 e 195,76 mm/h, respectivamente. Na Fig. 5, que corresponde à intensidade de chuva com duração de 5 minutos para um período de retorno de 25 anos, os valores krigados mínimo e máximo são 220,03 e 273,73 mm/h, respectivamente. Além disso, a formação de bandas claramente definidas é observada nos dois mapas. Em ambas as situações, os valores mais baixos estão no topo do mapa, aumentando desta área para a parte inferior do mapa. No entanto, há uma diminuição da intensidade das chuvas na região sudoeste do mapa.

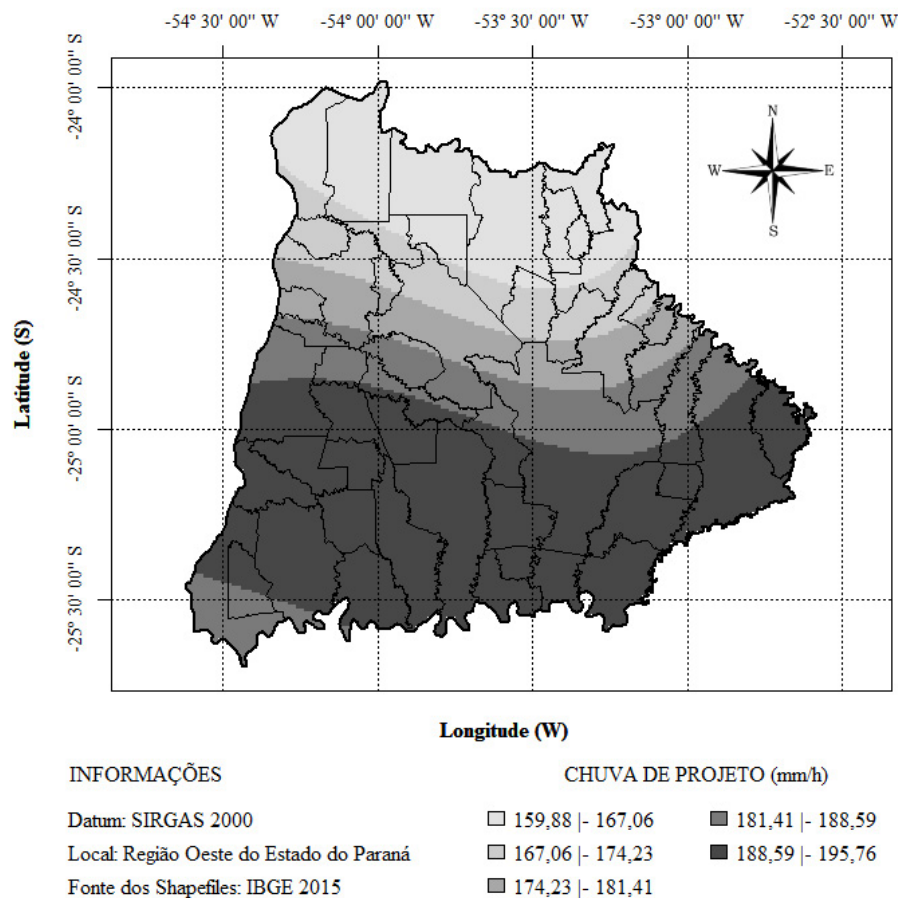


Figura 4 - Mapa temático para chuva de projeto, em mm/h, com período de retorno de 5 anos.

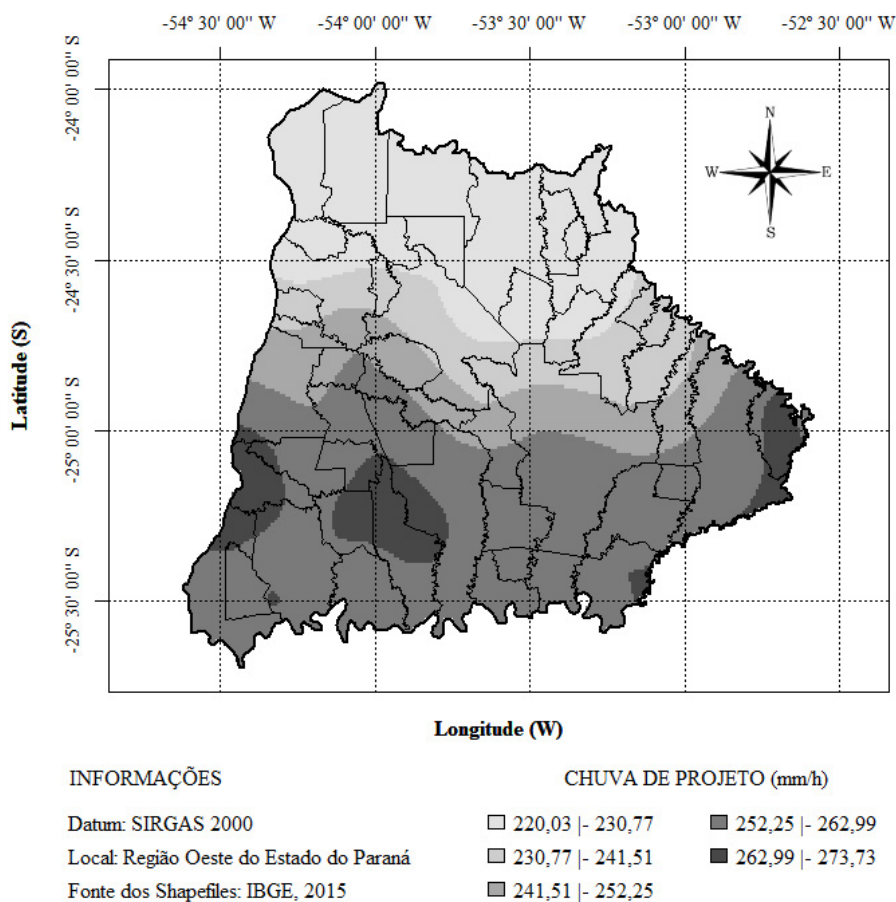


Figura 5 - Mapa temático para chuva de projeto, em mm/h, com período de retorno de 25 anos.

4 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi aplicada a distribuição GEV, utilizando momentos-LH como método estimador de parâmetros, para a análise da precipitação máxima de séries históricas da Região Oeste do Estado do Paraná. Dentre as estações pluviométricas analisadas, a estação ID 14 não se enquadrou na distribuição GEV, segundo teste de adequação de Wang (1998). Após estimativa dos quantis da distribuição GEV, fez-se a desagregação da chuva de 5 minutos de duração. Para o período de retorno de 1 ano, todos os valores permaneceram abaixo do valor genérico (150 mm/h) sugerido pela NBR 10844/1989. Para os demais períodos de retorno, a intensidade das chuvas ficou significativamente acima da norma em quase todas as estações.

No estudo geoestatístico, para realização da análise do variograma, foram utilizados quatro modelos teóricos (gaussiano, esférico, exponencial e família Matérn), cujos parâmetros foram definidos pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários. A validação cruzada foi utilizada como técnica para definir o melhor modelo, evidenciando que o gaussiano apresentou o melhor ajuste para o período de retorno de 5 anos, enquanto o esférico se ajustou melhor para o período de retorno de 25 anos. Assim, os mapas temáticos para cada período de retorno foram elaborados usando os respectivos modelos, e foram obtidos os intervalos das chuvas de projeto krigadas para os períodos de retorno de 5 anos (de 159,88 a 195,76 mm/h) e 25 anos (220,03 e 273,73 mm/h). Assim, para ambos os mapas

(Fig. 4 e 5), a precipitação projetada para instalações prediais de chuva é, em geral, superior ao valor genérico indicado pela NBR 10844/1989.

Ainda, além da fácil visualização da chuva de projeto a partir dos mapas temáticos, evidencia-se que os processos metodológicos expostos e aplicados nesta pesquisa não se limitam à área analisada e poderiam ser aplicados a outras regiões. No entanto, a falta de dados em certos locais pode ser considerada uma limitação da pesquisa, assim como a dependência dos métodos de medição da precipitação poderia inviabilizá-la.

Por fim, tem-se que a adequação da chuva de projeto pode otimizar o dimensionamento das instalações de águas da chuva das edificações, minimizando condições de sub ou superdimensionamento, visto que elementos com capacidade inferior à necessária, por exemplo, dificultam o escoamento da água das calhas, elevando suas lâminas de água, podendo ocasionar transbordamentos e, conseqüentemente, infiltrações. Além disso, o mau funcionamento dessas estruturas pode impactar o desempenho da rede de drenagem urbana de águas pluviais, de modo que as estruturas de drenagem passem a receber um volume de água significativamente diferente do previsto em projeto.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Steffen AP, Steffen PC e Pansera WA; **Metodologia:** Steffen AP, Steffen PC, Pansera WA, Dalposso GH; **Investigação:** Steffen AP, Dalposso GH; **Redação – Primeira versão:** Steffen AP, Steffen PC, Pansera WA, Dalposso GH e Gomes BM; **Redação – Revisão & Edição:** Steffen AP, Steffen PC e Pansera WA; **Supervisão:** Pansera WA, Dalposso GH e Gomes BM.

6 REFERÊNCIAS

ADHIKARY, S. K.; MUTTIL, N.; YILMAZ, A. G. Genetic programming-based ordinary kriging for spatial interpolation of rainfall. **Journal**

of Hydrologic Engineering, 21(2):1-14, 2016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001300](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001300).

IAT – INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Dados de chuva diária máxima anual**. Acesso em: 10/08/2017. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/>>

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844: **Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro – RJ, 1989.

BACK, A. J.; BONETTI, A. V. Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 19(4):260-267, 2014. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n4.p260-267>.

BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Duration-Frequency Relationships of Heavy Rainfall in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 36(3):1015-1022, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300031>.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14(8):871-880, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000800012>.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Drenagem Urbana: manual de projeto**. São Paulo: Cetesb, 1986.

DALPOSSO, G. H.; URIBE-OPAZO, M. A.; BORSSOI, J. A.; JOHANN, J. A.; MERCANTE, E. Previsão da produção de trigo utilizando métodos geoestatísticos. In: X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR, Argentina, setembro, 2009. **Anais...**

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas – RS. **Revista Engenharia Agrícola**, 28(2):245-255, 2008.

DIGGLE, P.; RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Model-based geostatistics**. New York: Springer, 2007.

DORNELES, V. R.; DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; MÉLLO, L. B.; RAMIREZ, M. A. A.; MANKE, E. B. Intensity-duration-frequency relationships of rainfall through the technique of disaggregation of daily rainfall. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19(7):506-510, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n7p506-510>.

EL-MAGD, N. A. T. A. TL-moments of the exponentiated generalized extreme value distribution. **Journal of Advanced Research**, 1(4):351-359, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2010.06.003>.

GOMES JÚNIOR, M. N.; BRAGA, P. H. A.; MENDIONDO, E. M.; REIS, L. F. R. Análises estatísticas, visuais e não paramétricas para a otimização do ajuste de curvas IDF e construção de ábacos de projeto de obras hidráulicas: estudo de caso em São Carlos – SP.

- Revista DAE**, 69(228):171-189, 2021. <https://doi.org/10.36659/dae.2021.013>.
- GUEDES, L. P. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A.; SOUZA, E. G. Anisotropia no estudo da variabilidade espacial de algumas variáveis químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(6):2217-2226, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600001>.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R.; WOOD, E. F. Estimation of the Generalized Extreme Value Distribution by the Method of Probability-Weighted Moments. **Technometrics**, 27(3):251-261, 1985. <https://doi.org/10.1080/00401706.1985.10488049>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas: base cartográfica de 2015**. Acesso em: 10/08/2017. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>>.
- JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 81(348): 158-171, 1955. <https://doi.org/10.1002/qj.49708134804>.
- LUCAS, T. P. B.; PLEC, D.; ABREU, M. L.; PARIZZI, M. G. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, 13(9): 7-21, 2013. <https://doi.org/10.5380/abclima.v13i0.31259>.
- MACHADO, L. A. T.; DIAS, M. A. F. S.; MORALES, C.; FISCH, G.; VILA, D.; ALBRECHT, R.; GOODMAN, S. J.; et al. The CHUVA project: How does convection vary across Brazil?. **American Meteorological Society**, 95 (9): 1365-80, 2014. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00084.1>.
- MARTINS, D.; GANDINI, M. L. T.; KRUK, N. S.; QUEIROZ, P. I. B. Disaggregation of daily rainfall data for the Caraguatubá city, in São Paulo State, Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 24(39):1-8, 2019. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180100>.
- MORRIS, M. D. On counting the number of data pairs for semivariogram estimation. **Mathematical Geology**, 23(7):929-943, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF02066733>.
- MURSHED, M. S.; SEO, Y. A.; PARK, J-S. LH-moment estimation of a four-parameter kappa distribution with hydrologic applications. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 28(2):253-262, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0746-6>.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.
- OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. **Catena**, 113:56-59, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.09.006>.
- SERRANO-NOTIVOLI, R.; DE LUIS, M.; BEGUERÍA, S. An R package for daily precipitation climate series reconstruction. **Environmental Modelling & Software**, 89, 190-195, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.11.005>.
- PANSERA, W. A.; GOMES, B. M. Modelagem estocástica usando a distribuição generalizada de valores extremos e momentos LH: uma abordagem via software livre R. **REMAT: Revista Eletrônica da Matemática**, 7(2):e3003, 2021. <https://doi.org/10.35819/remat2021v7i2id5106>.
- PAPALEXIOU, S. M.; KOUTSOYIANNIS, D. Battle of extreme value distributions: A global survey on extreme daily rainfall. **Water Resources Research**, 49(1):187-201, 2013. <https://doi.org/10.1029/2012WR012557>.
- PFASFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil: Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas em 98 Postos com Pluviógrafos**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1956.
- PFASFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil: Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas em 98 Postos com Pluviógrafos**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1982.
- QUEIROZ, M. M. F.; CHAUDHRY, F. H. Análise de eventos hidrológicos extremos, usando-se a distribuição GEV e momentos LH. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10(2):381-389, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200020>.
- RAO, A. R.; HAMED, K. H. **Flood Frequency Analysis**. Boca Raton: CRC Press, 2000.
- RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. **geoR: Analysis of Geostatistical Data**. 02 de maio. Acesso em: 01 de outubro de 2017. Disponível em: <<https://mran.microsoft.com/snapshot/2016-05-19/web/packages/geoR/index.html>>.
- SILVA, K. R.; PAIVA, Y. G.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de interpoladores para a espacialização de variáveis climáticas na bacia do rio Itapemirim-ES. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Brasil, abril, 2007. **Anais...**
- SZOLGAY, J.; PARAJKA, J.; KOHNOVÁ, S.; HLAVČOVÁ, K. Comparison of mapping approaches of design annual maximum daily precipitation. **Atmospheric Research**, 92: 289-307, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.01.009>.
- WANG, Q. J. LH moments for statistical analysis of extreme events. **Water Resources Research**, 33 (12): 2841-2848, 1997. <https://doi.org/10.1029/1997WR021345>.
- WANG, Q. J. Approximate goodness-of-fit tests of fitted generalized extreme value distributions using LH moments. **Water Resources Research**, 34 (12): 3497-3502, 1998. <https://doi.org/10.1029/1998WR023645>.