

# ATUALIZAÇÃO DE CURVAS IDF E DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS: 50 ANOS DE MONITORAMENTO DE PRECIPITAÇÃO EM UMUARAMA - PR

UPDATE OF IDF CURVES AND THE HEAVY RAINFALL EQUATION: 50 YEARS OF PRECIPITATION MONITORING IN UMUARAMA - PR

OLINDO SAVI<sup>1\*</sup>, RODRIGO TARTARI<sup>1</sup>

1. Mestre em Engenharia Urbana, professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama; 2. Doutor em Física Ambiental, professor de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama.

\* Avenida Dr. Ângelo Moreira da Fonseca, 1800, Parque Danielle, Umuarama, Paraná, Brasil. CEP: 87506-370. [osavi@uem.br](mailto:osavi@uem.br)

Recebido em 17/12/2025. Aceito para publicação em 30/03/2026

## RESUMO

A água é essencial para a vida. O crescimento populacional e a expansão urbana intensificaram a impermeabilização do solo, reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial, exigindo sistemas de drenagem eficazes para prevenir inundações. Os dimensionamentos dependem de metodologias hidrológicas que avaliam as curvas de Intensidade, Duração e Frequência (IDF). Baseado em dados pluviométricos de 1978 a 2024 de estações meteorológicas em Umuarama (PR), foram sistematizados os valores de precipitação máxima, aplicando o modelo de Gumbel para estimar precipitações em tempos de retorno (2 a 100 anos). As chuvas foram desagregadas para durações inferiores a 24 h com coeficientes da CETESB, originando as curvas IDF. Uma equação geral de chuvas intensas foi ajustada por regressão linear, calibrando seus parâmetros, e foi comparada ao modelo de Fendrich<sup>1</sup>, revelando diferenças devido à série histórica ampliada com ocorrências de eventos extremos recentes. A precipitação média anual foi de 1641,3 mm, com um recorde diário de 183,8 mm em 1998, ano de forte El Niño. A equação apresentou fortíssima correlação e parâmetros k: 932,75; m: 0,178; b: 9,8; n: 0,741. O monitoramento contínuo é essencial para atualizar modelos, refletindo a variabilidade climática recente, orientando o planejamento de sistemas de drenagem e obras hidráulicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Chuvas intensas, Curvas IDF, Variabilidade climática, Hidrologia urbana, Eventos extremos, Série Histórica de Precipitação.

## ABSTRACT

Water is essential for life. Population growth and urban expansion have intensified soil sealing, reducing infiltration and increasing surface runoff, requiring effective drainage systems to prevent flooding. The dimensions depend on hydrological methodologies that evaluate the Intensity, Duration, and Frequency (IDF) curves. Based on rainfall data from 1978 to 2024 from weather stations in Umuarama (PR), maximum precipitation values were systematized, applying the Gumbel model to estimate precipitation in return periods (2 to 100 years). The rainfall was disaggregated for durations of less than 24 hours using CETESB coefficients, resulting in IDF curves. A general equation for intense rainfall was adjusted by linear regression, calibrating its parameters, and was compared to the Fendrich<sup>1</sup> model, revealing differences due to the expanded historical series with recent extreme events. The average annual precipitation was 1641.3 mm,

with a daily record of 183.8 mm in 1998, a year of strong El Niño. The equation showed a very strong correlation and parameters k: 932.75; m: 0.178; b: 9.8; n: 0.741. Continuous monitoring is essential to update models, reflecting recent climate variability, guiding the planning of drainage systems and hydraulic works.

**KEYWORDS:** Extreme rainfall, IDF curves, Climate variability, Urban hydrology, Extreme events, Historical precipitation series.

## 1. INTRODUÇÃO

A água sempre teve um papel crucial nas sociedades e é um dos elementos essenciais para a formação dos aglomerados urbanos. O crescimento populacional e o desenvolvimento urbano, com diversificadas formas de ocupação e adensamento dos espaços, geram impermeabilização da superfície do solo com telhados, ruas, calçadas, pátios entre outros. Os efeitos da impermeabilização sobre os aspectos hidrológicos geram efeitos significativos de aumentos do escoamento superficial em períodos chuvosos, redução na infiltração, necessitando da implantação de sistemas de drenagem eficientes com o propósito de evitar alagamentos e transtornos no cotidiano<sup>2</sup>.

Para elaboração de projetos de drenagem são utilizados modelos matemáticos que relacionam a intensidade das chuvas com a duração e a frequência. No Brasil, estas relações são estudadas desde a década de 1960, resultando em diversas publicações que apresentam equações de chuvas intensas, que permitem a previsão de precipitações máximas prováveis para dimensionamento de projetos de drenagem<sup>3</sup>.

A precipitação proveniente da atmosfera pode ocorrer na forma líquida ou sólida, e, a precipitação pluvial é a principal componente de entrada do ciclo hidrológico e as altas intensidades são caracterizadas como chuvas intensas<sup>4</sup>.

As grandezas da precipitação são a altura pluviométrica, que corresponde à altura da lâmina d'água precipitada em uma superfície, medida em

milímetros, o tempo de duração da chuva, medido no intervalo de tempo de início da precipitação até o seu final, normalmente expresso em horas ou minutos, a intensidade de precipitação, que é a razão entre a altura pluviométrica e a duração da chuva, geralmente expressa em  $\text{mm.h}^{-1}$  e que representa um determinado momento, e a frequência que corresponde ao número de ocorrências de uma determinada precipitação num determinado espaço de tempo<sup>5</sup>.

Nos estudos hidrológicos, o inverso da frequência representa matematicamente o período de retorno, que corresponde a um intervalo de tempo médio que uma determinada magnitude de precipitação possa ser igualada ou excedida<sup>6</sup>.

A medição da precipitação, ou seja, a quantidade de água que cai da atmosfera, pode ser realizada por meio de instrumentos específicos denominados pluviômetros Ville de Paris, instalados a 1,5 metros do solo, os quais fornecem a informação da quantidade de água precipitada entre duas medições consecutivas realizada diariamente, no mesmo horário, preferencialmente entre as 7 e 9 horas da manhã, que representa a medição de 24 horas e não diária<sup>7</sup>. O equipamento pluviógrafo é um instrumento que também realiza a medição de precipitação, com a diferença de registrar os volumes de água precipitada no decorrer do tempo, possibilitando a análise dos dados em curtos intervalos de tempo, e a construção de um gráfico com registros de 24 horas, denominado pluviograma<sup>8</sup>.

Os dados observados por estação meteorológica, que têm representatividade em uma área de até 100 km do entorno da estação<sup>9</sup>, no entanto, para aplicações locais ou de pequena escala deve se considerar distâncias de até 10 km. Porém, os dados devem ser usados diretamente até uma distância da estação meteorológica de cerca de 30 km<sup>10</sup>.

Os dados da observação sem tratamento estatístico são de difícil utilização prática, necessitando serem avaliados previamente, organizados e analisados para permitir a aplicação em obras de engenharia ou para descrição das características sazonais de uma região. O monitoramento é um processo criterioso e a constituição de séries de dados pode conter falhas ou erros grosseiros que precisam de verificação prévia. O processamento da série de dados visa facilitar o uso da informação, podendo através da sistematização metodológica construir equações que possibilitem a determinação de precipitações máximas de chuvas intensas<sup>3,6</sup>.

Publicações destacaram a importância de estudos no Estado do Paraná, com a determinação de equações de chuvas intensas nos locais de projeto, as denominadas Curvas IDF (Intensidade x Duração x Frequência)<sup>1,11</sup>. As equações são caracterizadas por três grandezas fundamentais que são a intensidade a duração e a frequência, sendo a frequência representada pelo tempo de retorno, que se refere a um intervalo médio de tempo em que determinado evento extremo pode ser igualado ou superado.

Para a região de Umuarama foi publicada a equação de chuva intensa (Equação 1)<sup>1,11</sup>, muito utilizada em

projetos de drenagem e obras hidráulicas no município de Umuarama. Esta equação foi desenvolvida a cerca de 27 anos, com base em dados pluviográficos observados até o ano de 1998, com alturas de precipitação analisadas superiores a 15 mm, em 24 horas, e duração analisada de 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos.

$$i = \frac{1.752,27 \times \text{Tr}^{0,148}}{(t+17)^{0,840}} \quad \text{Eq. 1}$$

onde: "i" é a intensidade de precipitação (mm/h), "Tr" o tempo de recorrência (anos) e "t" o tempo de concentração.

A aparente variação nos volumes das precipitações extremas que se observa pelos registros da atualidade, estimula o desenvolvimento de novos estudos, com séries ampliadas, como resposta a questionamentos que se refere a registro de eventos extremos diferentes dos identificados no passado, e se podem ter influência no padrão de precipitações extremas e modificar os parâmetros da equação de chuvas intensas, que é de relevância pública. A atualização é o aperfeiçoamento dos modelos, que são de fundamental importância para subsidiar a realização de projetos de engenharia, e que são dependentes de estudos hidrológicos atualizados. Busca-se avaliar neste trabalho o comportamento da precipitação a partir de 1978 com base no banco de dados ampliado até 2024, da estação meteorológica operada pelo IAPAR e SIMEPAR, na cidade de Umuarama-PR, não considerando as demais estações existentes no município.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da Área de Estudo

A cidade de Umuarama-PR está situada a sudeste do município, este localizado na região Noroeste do Estado do Paraná. A cidade está centrada em uma área cujo retângulo circunscrito vai do vértice 23°43'34" S e 53°15'21" O ao vértice 23°49'10" S e 53°21'18" O, conforme a Figura 1, onde também está apresentada a posição das estações meteorológicas utilizadas para monitoramento, e que se encontram dentro do perímetro urbano da cidade.

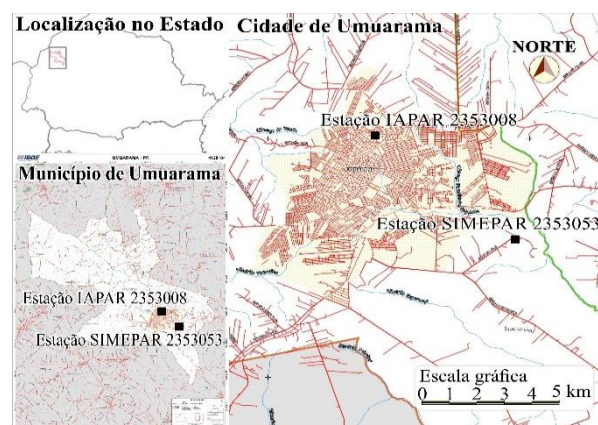


Figura 1. Localização do município e cidade de Umuarama e das Estações Meteorológicas. Fonte: IBGE (2025)<sup>12</sup>.

Segundo a classificação de Köppen, no município de

Umuarama predomina o clima CFa, subtropical úmido. Nos meses de verão acumulam entre 400 e 500 mm de precipitação, no outono entre 300 e 400 mm, no inverno entre 200 e 300 mm e na primavera entre 400 e 500 mm, com uma média anual de pluviosidade na região de aproximadamente 1600 mm.ano<sup>-1</sup>. A evapotranspiração anual é da ordem de 1100 mm.ano<sup>-1</sup>. Em relação à umidade, o município apresenta variação, tendo como período mais quente e úmido os meses de setembro a maio, com média anual de umidade relativa estimada entre 65 e 70%, podendo atingir mínima de 55% no mês de agosto. A temperatura média anual é de 22 a 23 °C, com mínima absoluta variando de 1 a 2 °C no inverno e máxima absoluta na ordem de 36 a 37 °C no verão. A diferença entre a Precipitação e a Evapotranspiração Potencial anual (P - ETP) varia de 400 a 500 mm.ano<sup>-1</sup>(13).

### Determinação da Equação de chuvas intensas

Para a obtenção da equação de chuva intensa, foram utilizados dados da série histórica do período de 1974 a 2018 da Estação Meteorológica Umuarama-IAPAR (Código 2353008) localizada dentro do perímetro urbano da cidade, nas coordenadas 23°45'2,38"S e 53°18'27,58"<sup>14;15</sup> e do período de 2019 a 2024, com os dados da Estação Meteorológica operada pelo SIMEPAR (Código 2353053)<sup>16</sup>, localizada nas coordenadas 23°47'22,99"S e 53°15'31,28"O<sup>14</sup>.

Embora a Estação Meteorológica Umuarama-IAPAR tenha operado desde novembro de 1971, nos anos de 1971 a 1973, os dados diários apresentados não estão completos, portanto, foram descartados da série histórica. O mesmo aconteceu com o de 2021, quando a estação do SIMEPAR ficou inoperante e sem registros de 30 de março a 4 de abril.

Para a análise comparativa da distribuição mensal dos dados pluviométricos de dois períodos distintos (1974 a 1988) e (1974 a 2024), foram utilizados gráficos do tipo *boxplot* que possibilita a identificação de cinco categorias estatísticas principais: mediana, quartis, valores máximos e mínimos, outliers e extremos. Os três quartis, denominados Q1, Q2 (mediana) e Q3, dividem o conjunto de dados em quatro partes aproximadamente iguais, cada uma contendo 25% dos dados. Dentro do intervalo não-outlier/extremos, os valores são considerados parte da distribuição normal. Outliers são definidos como valores que ultrapassam os limites convencionais estabelecidos por  $Q3+1,5 \times (Q3-Q1)$  para valores elevados e  $Q1-1,5 \times (Q3-Q1)$  para valores reduzidos, mas que não atingem a classificação de extremos. Valores extremos são aqueles que excedem  $Q3+3 \times (Q3-Q1)$  ou são inferiores a  $Q1-3 \times (Q3-Q1)$ . Já os valores máximos e mínimos correspondem aos maiores e menores valores da série que não são classificados como outliers. Os gráficos foram gerados utilizando o software Statistica<sup>17;18</sup>.

Para a formulação da equação de chuvas intensas foi adaptada a metodologia proposta por Fendrich<sup>1;11</sup>, detalhada com os seguintes passos: 1) Escolha da estação pluviométrica; 2) Análise dos pluviogramas da

série histórica; 3) Seleção das precipitações pluviais; 4) Análise estatística das intensidades de precipitações pluviais; 5) Ajuste dos dados à equação geral (Equação 2) e 6) Calibração do modelo para determinar os coeficientes k, m, b e n.

$$i = \frac{k \times Tr^m}{(t + b)^n} \quad \text{Eq. 2}$$

onde: "i" é a intensidade de precipitação (mm/h), "Tr" o tempo de recorrência (anos), "t" o tempo de concentração, "k", "m", "b" e "n" fatores obtidos por calibração.

Embora Fendrich<sup>1;11</sup> estabeleça o uso de informação registrada por pluviógrafos, utilizou-se de dados da estação pluviométrica de Umuarama-PR informados em observações de um dia medido as 9h:00 (nove horas). Os dados foram analisados para a determinação das chuvas de um dia<sup>19</sup> e que de forma geral consiste nos cálculos das precipitações diárias médias e máximas, observadas na série anual e desvios padrões da série. Para a determinação da precipitação máxima diária em função do tempo de recorrência foi utilizado o método de Gumbel<sup>19</sup>, e de acordo com as Equações 3 e 4<sup>20</sup>.

$$y = \bar{y} + \sigma \cdot K \quad \text{Eq. 3}$$

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot \{\gamma + \ln[\ln(T_R) - \ln(T_R - 1)]\} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: "y" é a precipitação diária em função do tempo de recorrência (TR); " $\bar{y}$ " é a média aritmética das médias máximas da série; " $\sigma$ " é o desvio padrão amostral; "K" é o fator de frequência, " $\gamma$ " é a constante de Euler (0,5772156649) e "TR" é o tempo de recorrência.

Para a determinação da precipitação de uma chuva de 24 horas em função da precipitação máxima diária, foram utilizados os fatores obtidos em estudos a partir de base em dados pluviométricos e pluviográficos de São Paulo, do Instituto Geofísico da Universidade de São Paulo, publicados em 1966<sup>21</sup>, onde se observou a relação de duração da chuva de 24 horas para diferentes períodos de retorno, conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Fatores de relação de precipitações entre durações de 24 horas e de um dia.

Relação entre durações	Período de retorno (anos)					
	5	10	25	50	75	100
24 h / 1 dia	1,13	1,13	1,14	1,15	1,14	1,15

Fonte: <sup>21</sup>.

O fator proposto pela CETESB<sup>21</sup> foi o do valor médio dos obtidos (Tabela 1), entendendo que a relação é quase constante e independente do período de retorno, assim estabelecendo o coeficiente como 1,14, que praticamente coincide com o adotado pelo U.S. Weather Bureau (1,13), que estabelece seu uso em áreas onde só se dispõe de dados de postos pluviométricos.

Para a determinação das precipitações de chuvas com durações menores do que 24 horas se utilizou o estudo clássico que propôs fatores de desagregação conforme a Tabela 2<sup>21</sup>.

**Tabela 2.** Fatores de desagregação para chuvas com durações inferiores a 24 horas

Relação entre as durações	Fator de desagregação (relação entre as alturas)
5 min / 30 min	0,34
10 min / 30 min	0,54
15 min / 30 min	0,70
20 min / 30 min	0,81
25 min / 30 min	0,91
30 min / 1 h	0,74
1 h / 24 h	0,42
6 h / 24 h	0,72
8 h / 24 h	0,78
10 h / 24 h	0,82
12 h / 24 h	0,85

Fonte:<sup>21</sup>.

Pesquisas outras propuseram coeficientes de desagregação alternativos ao da CETESB<sup>21</sup>, contudo ainda não foram realizados trabalhos que pudessem apresentar as magnitudes das diferenças e que atestassem e justificassem sua utilização<sup>22</sup>.

Uma vez definidos os coeficientes de desagregação as curvas IDF são produzidas para determinado tempo de referência, e com as precipitações máximas determinadas para períodos de 5 minutos a 24 horas, e com elas são determinados os coeficientes da equação de chuvas intensas, por meio da regressão linear, onde os valores de k, m, b e n (Equação 2) podem ser determinados pela calibração do modelo com o uso da logaritimização.

### Análise estatística da diferença entre amostras

Na análise de séries como as de precipitação pluviométrica, caracterizadas por elevada variabilidade, a comparação direta entre médias de duas séries (amostras) nem sempre é suficiente para uma avaliação adequada dos resultados. Nessas situações, torna-se necessária a aplicação de métodos estatísticos que considerem simultaneamente à dispersão dos dados e o tamanho das amostras.

Uma das abordagens mais adequadas para a comparação entre duas médias é o teste t de Welch, especialmente indicado quando as amostras apresentam variâncias não homogêneas e tamanhos distintos<sup>38</sup>. A estatística do teste é calculada conforme a Equação 5

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_A^2}{n_A} + \frac{\sigma_B^2}{n_B}}} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde: ' $\bar{x}_1$ ' e ' $\bar{x}_2$ ' representam as médias das amostras, ' $\sigma_A^2$ ' e ' $\sigma_B^2$ ' as variâncias das amostras e ' $n_A$ ' e ' $n_B$ ' seus respectivos tamanhos amostrais.

O valor calculado da estatística ' $t_{\text{calc}}$ ' deve ser comparado ao valor crítico ' $t_{\text{crit}}$ ', o qual depende diretamente do nível de significância adotado e do grau de liberdade ' $v$ '. Neste estudo, adotou-se um nível de significância de  $\alpha = 0,01$ . Para amostras com tamanhos diferentes, o grau de liberdade é determinado segundo a Equação 6<sup>39</sup>.

A partir do nível de significância e do grau de liberdade, o valor de ' $t_{\text{crit}}$ ' foi obtido por meio da função

INV.T.BC do software Microsoft Excel. Definida a hipótese nula [ $H_0$ ], estabelecida como a igualdade entre as médias das amostras, esta será aceita quando ' $t_{\text{calc}} > |t_{\text{crit}}|$ ', sendo rejeitada caso contrário.

$$v = \frac{\left(\frac{\sigma_A^2}{n_A} + \frac{\sigma_B^2}{n_B}\right)^2}{\frac{\left(\frac{\sigma_A^2}{n_A}\right)^2}{n_A - 1} + \frac{\left(\frac{\sigma_B^2}{n_B}\right)^2}{n_B - 1}} \quad \text{Eq. 6}$$

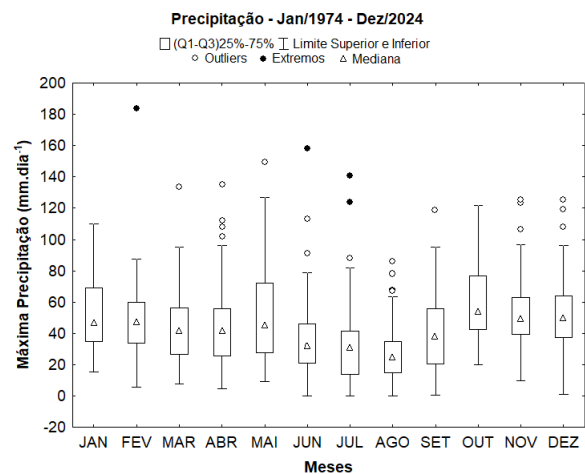
Onde: ' $v$ ' é o grau de liberdade, ' $\sigma_A^2$ ' e ' $\sigma_B^2$ ' as variâncias das amostras e ' $n_A$ ' e ' $n_B$ ' seus respectivos tamanhos amostrais.

## 3. RESULTADOS

### Precipitação sazonal em Umuarama

A sazonalidade da precipitação na região Noroeste do Paraná é resultante da atuação combinada de sistemas atmosféricos e fenômenos climáticos de escala regional e global, associada a massas de ar da faixa tropical continental (mTc) e marítima (mTa) do Oceano Atlântico<sup>23;24;25;26</sup>.

O ciclo anual de precipitação na região apresenta comportamento unimodal, com pico na estação chuvosa do verão, por influência do regime subtropical típico de monções. Esse regime tem início na primavera, quando parte do transporte de vapor oriundo do trópico direciona-se para o sul do Brasil e para outras regiões do sudeste da América do Sul, convergindo para a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sob influência do fluxo marítimo do Oceano Atlântico<sup>25</sup>.



**Figura 2.** Precipitação máxima acumulada mensal do período de janeiro de 1974 a 2024. **Fonte:** Dos autores.

Durante o verão, predominam as massas de ar tropical continental (mTc) e marítima (mTa), que, associadas ao intenso aquecimento superficial, fomentam a instabilidade atmosférica e o desenvolvimento de convecção profunda. Essa condição favorece a formação de complexos convectivos de mesoescala (CCMs) e, em conjunto com a atuação da ZCAS, contribui significativamente para os elevados volumes pluviométricos observados na região Noroeste e Norte do Paraná<sup>27;26</sup>. A ZCAS se caracteriza como

importante mecanismo de convergência de umidade, gerando uma extensa faixa de nebulosidade persistente que se estende da Amazônia ao Oceano Atlântico, atravessando o Brasil Central e o Estado do Paraná, provocando precipitações intensas e prolongadas predominantemente entre novembro e fevereiro<sup>25,28</sup>. Destaca-se o recorde de precipitação acumulada mensal de 513,1 mm registrado em janeiro de 2018, em associação a este sistema de grande escala descrito (Figura 2).

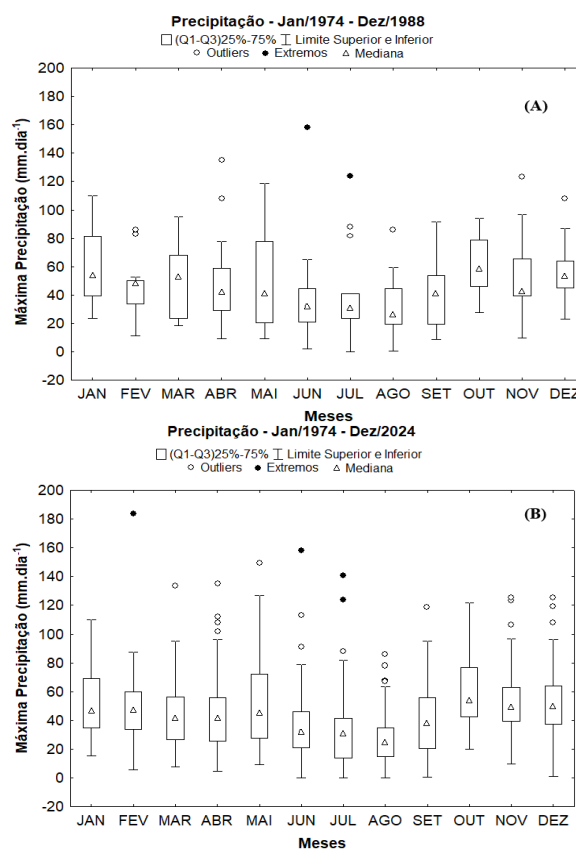
No inverno, o fluxo de umidade para o sul do Brasil, provém do Oceano Atlântico, com massas de ar entrando pelo oeste e desviando-se para o sudeste em função do deslocamento oeste da alta subtropical atlântica. Os meses como abril e maio, apesar de não serem os mais chuvosos em média, apresentaram totais mensais superiores a 100 mm em grande parte do tempo, com registros de volumes acumulados em torno de 493 mm.mês<sup>-1</sup>, evidenciando o potencial para eventos extremos ao longo da série histórica. Entre maio e setembro, a umidade se concentra em latitudes mais ao sul, acompanhando o aumento das ondas baroclínicas nos ventos de oeste, que favorecem o desenvolvimento frequente de ciclogêneses e a penetração de frentes frias no continente<sup>25,28</sup>. Essas frentes, principalmente associadas à massa Polar Atlântica (mPa), são responsáveis por interromper a seca sazonal do inverno, gerando precipitações frontais contínuas e, em situações de maior instabilidade, geram tempestades severas. Apesar de julho e agosto apresentarem as menores médias de precipitação (<100 mm/mês), são registrados eventos extremos, como os 434,7 mm acumulados em julho de 2015, ressaltando a relevância pontual dos sistemas extratropicais na variabilidade pluviométrica da região (Figura 2).

Nos períodos de transição (abril e outubro), o transporte de vapor d'água apresenta características intermediárias, com fluxos predominantemente associados a padrões típicos de julho, preferencialmente do Atlântico Sul. Durante esses meses de transição, os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) ocorrem com alta frequência, contribuindo significativamente para a precipitação acumulada. A intensidade e o desenvolvimento desses sistemas estão vinculados à mudança sazonal do jato subtropical de altos níveis, persistente na região durante o outono e a primavera. Esse jato interage com os de baixos níveis úmidos e quentes vindos do Norte, potencializando o acúmulo expressivo de chuvas, especialmente em outubro, caracterizado por elevados valores medianos e episódios extremos de precipitação.

A Figura 3(A) representa a precipitação máxima registrada diariamente, correspondente ao período de monitoramento de 15 anos (1974-1988), utilizado por Fendrich<sup>1,11</sup> para a determinação da equação de chuvas intensas. A Figura 3(B) refere-se ao período ampliado de 50 anos (1974-2024), empregado para a atualização da equação de intensidade, duração e frequência (IDF).

A análise da variabilidade mensal, por meio de *boxplots*, revela grande amplitude entre os quartis

inferiores (Q1) e superiores (Q3) em todos os meses, indicando que eventos de precipitação intensa não se restringem exclusivamente à estação chuvosa. Registros de precipitação diária superior a 100 mm ocorreram também em meses de transição, como abril e maio.



**Figura 3.** Precipitação acumulada mensal: (A) se refere ao período de janeiro de 1974 a 1988 e (B) ao período de 1974 a 2024. **Fonte:** Dos autores.

Ambos os gráficos (Figura 3 A e 3B) evidenciam o padrão sazonal típico da região, com maiores volumes pluviométricos médios concentrados nos meses de verão e transição, e menores durante o inverno. No entanto, o gráfico referente ao período mais longo (Figura 3B) apresenta medianas que, embora mantenham o padrão geral, demonstram maior dispersão em meses como fevereiro, março e maio. A Figura 3(B) exibe intervalos interquartis (Q1-Q3) geralmente maiores ou equivalentes em comparação à Figura 3(A), indicando aumento da amplitude e variabilidade na precipitação acumulada ao longo do intervalo temporal estendido até 2024 com exceção de novembro e abril que apresentou maior parte das ocorrências dentro do intervalo interquartil e o aparecimento de outliers acima do nível superior.

Observa-se aumento significativo na frequência e magnitude de outliers e eventos extremos na Figura 3(B) em relação a Figura 3(A), com os valores extremos registrados em quase todos os meses do ano.

A Figura 3(B) revela um aumento tanto na intensidade quanto na variabilidade da precipitação máxima diária ao longo do período analisado, sendo este comportamento evidenciado pela maior frequência de eventos extremos e de outliers detectados em

praticamente todos os meses, inclusive em meses tradicionalmente secos, julho e agosto, exceto em janeiro e outubro.

Embora o padrão sazonal de verão úmido e inverno seco se mantenha característico da região, se observa um crescimento na frequência e intensidade dos eventos extremos ao longo das cinco décadas analisadas, reforçando a necessidade de considerar a variabilidade interanual na gestão dos recursos hídricos e no planejamento de riscos hidrológicos e a necessidade da atualização de curvas IDF.

Na Figura 3(A), observa-se que até 1988, os eventos extremos estavam distribuídos e em todos os meses e apresentava ocorrência de intensidades de 80 mm.dia<sup>-1</sup>, dentro dos limites superiores, com registro em junho de 1982 de 158 mm em um único dia, e volume inferior em julho de 1978 quando foi observado um evento extremo de 124,2 mm.dia<sup>-1</sup>.

A Figura 3(B) mostra que praticamente todos os meses (com exceção de janeiro e outubro) apresentaram registros de precipitação acima dos limites superiores de ocorrência, sinalizando um crescimento relevante na frequência e intensidade dos extremos pluviométricos. Observa-se o valor extremo registrado em julho de 1978 de 124,2 mm.dia<sup>-1</sup> e recorrente no mesmo mês no ano de 2015, porém mais elevado na ordem de 140,9 mm.dia<sup>-1</sup>. O período do inverno é marcado pelas menores precipitações acumuladas, no entanto a atuação de frentes frias associadas à Massa Polar Atlântica, típicas do outono e inverno são responsáveis por interromper períodos secos associados a bloqueios atmosféricos, originando tempestades severas com ventos fortes, granizo e chuvas prolongadas<sup>24;26;29</sup>.

Durante o período quente (outubro a abril), predominam os sistemas convectivos organizados, em especial os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), que se deslocam de oeste para leste e são alimentados pelo Jato de Baixos Níveis (JBN), responsável pelo transporte de umidade da Amazônia e do Pantanal. Essas condições favorecem a ocorrência de tempestades severas, com descargas elétricas, granizo e ventos intensos, impactando negativamente as atividades cotidianas da população, a agricultura e a infraestrutura regional<sup>30;24</sup>. O maior volume diário observado em toda a série histórica foi de 183,8 mm, registrado no mês de fevereiro de 1998.

Na Tabela 3 são apresentados os dados pluviométricos anuais, e sua distribuição nos ciclos. A precipitação média mensal é de 136,8 mm, com valores máximos e mínimos mensais de 218,8 mm e 83,7 mm, indicando forte variabilidade climática de um ano para outro. O acumulado médio anual é de 1641,3 mm, apresentando grande variabilidade interanual, com desvio padrão dos totais anuais em torno de 295,7 mm, incluindo anos com volumes extraordinariamente superiores (+59,9% acima da média, 2625,3 mm) e inferiores (-61,0% abaixo da média, 1004,0 mm).

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados gráficos que demonstram o comportamento das precipitações máximas acumuladas anuais e diárias, observados no

período da série histórica de 1974 a 2024, resultantes do tratamento estatístico das precipitações diárias informadas da série do recorte temporal de 50 anos de observações, evidenciando tendências de alta variabilidade, ocorrência frequente de extremos pluviométricos.

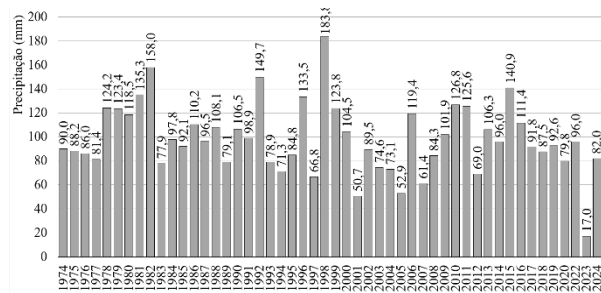
**Tabela 3.** Precipitações média mensal e total anual e média e máxima precipitação diária de Umuarama-PR

Ano	Valores Anuais		Valores Diários	
	Média	Total	Média	Máxima
1974	131,8	1582,1	48,3	90,0
1975	123,5	1482,4	39,7	88,2
1976	133,3	1599,9	51,3	86,0
1977	132,5	1589,5	46,0	81,4
1978	112,4	1348,9	61,5	124,2
1979	159,7	1916,6	60,4	123,4
1980	130,1	1561,0	46,8	118,5
1981	145,8	1749,8	56,8	135,3
1982	146,2	1754,8	46,3	158,0
1983	190,3	2283,0	45,4	77,9
1984	120,7	1448,3	42,3	97,8
1985	114,7	1376,9	48,9	92,1
1986	126,0	1511,9	43,2	110,2
1987	130,2	1562,8	48,0	96,5
1988	111,0	1332,3	37,9	108,1
1989	142,6	1711,0	47,9	79,1
1990	137,1	1644,7	49,0	106,5
1991	104,3	1251,6	38,3	98,9
1992	165,8	1990,1	56,4	149,7
1993	136,8	1642,0	44,5	78,9
1994	117,7	1412,9	43,9	71,3
1995	129,4	1552,8	46,1	84,8
1996	145,2	1742,6	48,3	133,5
1997	150,2	1801,8	38,8	66,8
1998	189,7	2276,1	68,5	183,8
1999	104,9	1259,1	39,6	123,8
2000	154,3	1852,0	51,2	104,5
2001	123,1	1477,2	36,2	50,7
2002	150,9	1810,6	41,3	89,5
2003	133,0	1595,7	42,8	74,6
2004	149,0	1787,5	50,2	73,1
2005	114,3	1371,5	33,7	52,9
2006	138,5	1661,7	45,5	119,4
2007	107,9	1294,3	34,1	61,4
2008	122,6	1471,3	44,6	84,3
2009	147,1	1765,6	47,6	101,9
2010	131,7	1579,9	45,4	126,8
2011	136,4	1637,3	52,3	125,6
2012	125,4	1505,3	42,8	69,0
2013	161,9	1942,6	46,7	106,3
2014	155,6	1867,1	51,7	96,0
2015	218,8	2625,3	54,7	140,9
2016	161,9	1943,3	56,7	111,4
2017	142,1	1704,8	44,6	91,8
2018	174,5	2093,9	50,3	87,5
2019	126,0	1511,4	46,8	92,6
2020	83,7	1004,0	37,0	79,8
2022	124,6	1494,6	43,9	96,0
2023	128,4	1540,6	10,6	17,0
2024	95,0	1140,4	36,7	82,0
Média	<b>136,8</b>	<b>1641,3</b>	<b>45,8</b>	<b>98,0</b>
Máxima	<b>218,8</b>	<b>2625,3</b>	<b>68,5</b>	<b>183,8</b>
Mínima	<b>83,7</b>	<b>1004,0</b>	<b>10,6</b>	<b>17,0</b>
Desvio Padrão	<b>24,6</b>	<b>295,7</b>	<b>8,7</b>	<b>29,3</b>

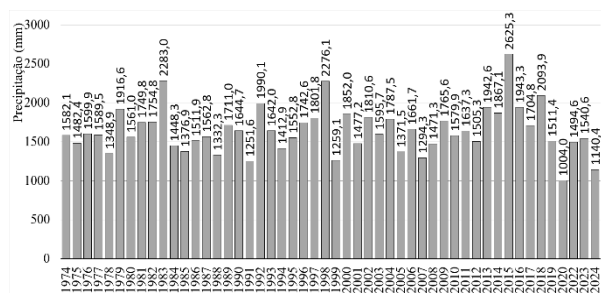
Fonte: IAT (2025)<sup>15</sup> e Braun (2025)<sup>16</sup>.

Nesses períodos, foram observados os maiores acumulados diários, com 158,0 mm em 12/06/1982, 149,7 mm em 01/05/1992, 183,8 mm em 26/02/1998 e 140,9 mm em 03/07/2015 (Figura 3). Esses resultados podem estar diretamente associados à influência do ENOS na distribuição e eventos extremos no Sul do

Brasil<sup>32;33;34</sup>. Os fenômenos El Niño e La Niña, associados à Oscilação Sul (ENOS), modulam a variabilidade pluviométrica da região, corroborando para os resultados dos maiores volumes anuais de precipitação registradas em 2015 (2625,3 mm), 1983 (2283 mm) e 1998 (2276,1 mm), anos que coincidem com fortes eventos do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), registrados nos anos de 1982/1983, 1991/1992, 1997/1998 e 2015/2016<sup>31</sup>.



**Figura 4.** Precipitações máximas diárias no ano. **Fonte:** IAT (2025)<sup>15</sup> e Braun (2025)<sup>16</sup>.



**Figura 5.** Precipitações acumuladas anuais. **Fonte:** IAT (2025)<sup>15</sup> e Braun (2025)<sup>16</sup>.

O El Niño, caracterizado pelo aquecimento das águas do Pacífico Equatorial, geralmente intensifica as chuvas na região Sul do Brasil, especialmente durante a primavera e o verão, ativando a atuação das frentes frias e da ZCAS. Em contrapartida, a La Niña, associada ao resfriamento dessas águas, tende a reduzir os volumes de precipitação, favorecendo períodos de estiagem sobretudo no inverno, e favorece a atuação de bloqueios atmosféricos<sup>33;35</sup>.

Em termos de precipitação diária, a média das máximas registradas foi 98,0 mm e com um desvio padrão amostral de 29,3 mm, indica a ocorrência de variabilidade interanual.

As alturas máximas de precipitação registradas em 24 horas foram de 183,8 mm em 1998 e a segunda maior precipitação registra foi de 158,0 mm em 1982 e que esta faixa de precipitação acima de 150 mm, correspondente a 4% dos eventos registrado em um dia. Na faixa de registro de 51 a 100 mm, foram identificados 58% das ocorrências, e na faixa de 101 a 150 mm foram identificados 36% de chuvas.

Os anos de 2020 (1004,0 mm) e 2024 (1140,4 mm) foram os mais secos no período analisado, com destaque para a chuva mais intensa no ano de 2023, de 17,0 mm, a mais baixa de toda a série histórica, correspondendo a 1% na faixa de precipitação de até 50 mm. A seca prolongada na Bacia do Paraná-La Plata, que inclui o Noroeste do Paraná, iniciou-se em 2019 e persistiu até

2022, com déficit pluviométrico acentuado no sudeste do Brasil e também em países vizinhos, caracterizando uma monção sul-americana tardia e enfraquecida, e que foi associado a anomalias negativas da temperatura da superfície do mar no Pacífico tropical, caracterizado pelo fenômeno La Niña<sup>36</sup>.

**Determinação das Curvas IDF**

Para a elaboração das curvas IDF foram definidos os períodos de recorrência de 2, 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos, e aplicando-se o modelo de Gumbel<sup>37</sup>, conforme Equações 3 e 4, foram determinadas as precipitações máximas diárias, Tabela 4.

A partir das precipitações máximas diárias, foram determinadas as precipitações pluviométricas para uma chuva de 24 horas, utilizando o fator de relação médio de 1,14<sup>21</sup>. Para as chuvas com durações menores do que 24 horas foram utilizados os fatores de desagregação<sup>21</sup>, conforme a Tabela 2, cujas precipitações máximas estão apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Precipitações máxima diárias para a cidade de Umuarama-PR em função do período de Recorrência (TR).

Tr	2	5	10	15	25	50	100
$i_{m\acute{a}x}$	93,18	119,06	136,20	145,87	157,86	173,92	189,87

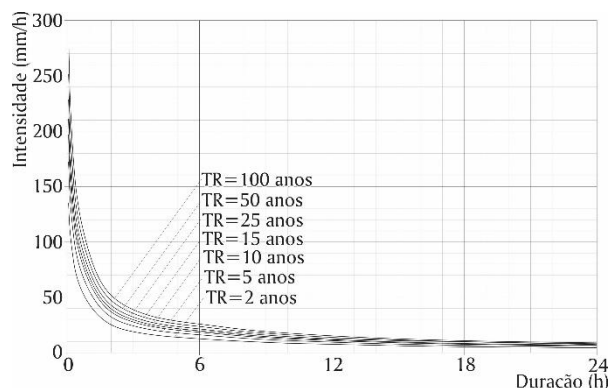
**Fonte:** Dos autores.

**Tabela 5.** Precipitação pluviométrica desagregada da cidade de Umuarama-PR em função da duração da chuva e dos tempos de recorrência.

Duração (min)	Precipitação pluviométrica (mm/h) em função do Tempo de Recorrência (Tr - anos)						
	2	5	10	15	25	50	100
5	134,76	172,08	196,92	210,84	228,24	251,40	274,44
10	106,98	136,68	156,36	167,46	181,20	199,68	217,98
15	92,44	118,12	135,12	144,72	156,60	172,56	188,36
20	80,22	102,51	117,27	125,58	135,90	149,73	163,47
25	72,10	92,14	105,38	112,87	122,16	134,59	146,93
30	66,02	84,36	96,52	103,36	111,86	123,24	134,54
60	44,61	57,01	65,21	69,84	75,58	83,27	90,91
120	25,50	32,58	37,27	39,91	43,19	47,59	51,95
180	19,12	24,43	27,95	29,93	32,39	35,69	38,96
360	12,75	16,29	18,63	19,96	21,60	23,79	25,98
480	10,36	13,23	15,14	16,21	17,55	19,33	21,10
600	8,71	11,13	12,73	13,64	14,76	16,26	17,75
720	7,52	9,61	11,00	11,78	12,75	14,04	15,33
1.440	4,43	5,66	6,47	6,93	7,50	8,26	9,02

**Fonte:** Dos autores.

Com base nas precipitações desagregadas da Tabela 5 foram obtidas as curvas IDF, cujos resultados estão representados no gráfico da Figura 6.



**Figura 6.** Curvas IDF para a cidade de Umuarama-PR. **Fonte:** Dos autores.

Os parâmetros do modelo da equação geral (Equação 2) foram determinados a partir das precipitações desagregadas, e com eles a formulação da equação de chuva intensa para a cidade de Umuarama-PR. Foram determinados utilizando a regressão linear em função linearizada por meio de logaritmos naturais<sup>1;11</sup>, e obtidos com o uso da ferramenta Regressão do Microsoft Excel®, a partir de diversas simulações para o tempo de base "t0", iniciando com 17 minutos e finalizando com 9,8 minutos, quando se obteve o melhor coeficiente de correlação (r), que foi de 0,999186613, indicando uma fortíssima correlação e consequentemente o menor erro padrão, 0,045852111, Tabela 6.

**Tabela 6.** Coeficientes e erro padrão obtidos na simulação para obtenção do tempo base.

t <sub>0</sub>	A	Coeficientes da equação			r	Erro padrão
		k = e <sup>a</sup>	m	-n		
17	7,227	1.376,09	0,178	-0,802	0,998516	0,06192
16	7,277	1.446,23	0,178	-0,810	0,998356	0,06517
15	7,125	1.242,49	0,178	-0,786	0,998800	0,05568
14	7,072	1.178,86	0,178	-0,778	0,998921	0,05280
13	7,019	1.117,25	0,178	-0,770	0,999023	0,05024
12	6,964	1.057,58	0,178	-0,761	0,999104	0,04811
11	6,908	999,77	0,178	-0,752	0,999160	0,04659
10	6,850	943,75	0,178	-0,743	0,999186	0,04588
9	6,791	889,42	0,178	-0,734	0,999174	0,04619
9,9	6,844	938,24	0,178	-0,742	0,999186	0,04586
9,8	6,838	932,75	0,178	-0,741	0,999187	0,04585

**Nota:** "a" é o coeficiente obtido pela regressão, "k", "m", "n" são coeficientes da curva de chuvas intensas e "r" o coeficiente de correlação obtido. **Fonte:** Dos autores.

A equação para chuvas intensas para a cidade de Umuarama-PR ficou definida com o coeficiente k igual a 932,75, valor atribuído para "m" de 0,178, tempo de base "b" de 9,8 minutos e valor atribuído para "n" de 0,741, resultando na expressão da equação 7.

$$i = \frac{932,75 \times Tr^{0,178}}{(t+9,8)^{0,741}} \quad \text{Eq. 7}$$

Quando comparada com a equação de chuvas intensas do município de Umuarama determinada por Fendrich<sup>1</sup> em 1989, equação 1, se observa as variações apresentadas na Tabela 8.

**Tabela 7.** Diferenças de precipitação (mm.h<sup>-1</sup>) e em % entre a curva de chuvas intensas<sup>1;11</sup> e a da Equação 6 e o respectivo percentual de variação.

t (min)	Tempo de recorrência (anos)						
	2	5	10	15	25	50	100
5	-1,44 -1,00%	2,93 1,77%	7,17 3,90%	10,09 5,17%	14,30 6,80%	21,08 9,05%	29,27 11,34%
10	-6,37 -5,23%	-3,60 -2,58%	-0,83 -0,54%	1,12 0,68%	3,97 2,24%	8,61 4,39%	14,31 6,58%
15	-7,90 -7,48%	-5,93 -4,90%	-3,89 -2,90%	-2,44 -1,71%	-0,30 -0,20%	3,23 1,90%	7,62 4,04%
20	-8,21 -8,78%	-6,68 -6,24%	-5,06 -4,26%	-3,90 -3,10%	-2,18 -1,60%	0,70 0,46%	4,31 2,58%
25	-8,03 -9,55%	-6,77 7,03%	-5,42 -5,08%	-4,43 -3,91%	-2,97 -2,43%	-0,51 -0,38%	2,58 1,72%
30	-7,65 -10,00%	-6,57 -7,50%	-5,38 -5,54%	-4,52 -4,39%	-3,24 -2,91%	-1,07 -0,87%	1,65 1,21%
60	-5,12 -10,13%	-4,42 -7,64%	-3,65 -5,69%	-3,10 -4,55%	-2,25 -3,06%	-0,84 -1,03%	0,94 1,04%
360	-0,11 -0,83%	0,30 1,97%	0,70 4,15%	0,96 5,35%	1,35 6,98%	1,98 9,24%	2,74 11,54%
480	0,17 1,61%	0,53 4,39%	0,88 6,57%	1,13 7,95%	1,47 9,59%	2,02 11,89%	2,68 14,24%

t (min)	Tempo de recorrência (anos)						
	2	5	10	15	25	50	100
600	0,31 3,52%	0,65 6,45%	0,97 8,69%	1,19 10,04%	1,50 11,74%	2,00 14,12%	2,58 16,43%
720	0,39 5,15%	0,71 8,18%	1,01 10,51%	1,20 11,75%	1,49 13,53%	1,94 15,90%	2,48 18,34%
1440	0,53 12,41%	0,75 15,34%	0,97 17,90%	1,10 19,10%	1,31 21,10%	1,62 23,55%	1,99 26,08%

**Fonte:** Dos autores.

**Tabela 8.** Série acumulada se precipitações totais de 1974 a 2025.

Ano	Precipitação Anual (mm)	Precipitação Acumulada (mm)
1974	1582,1	1582,1
1975	1482,4	3064,5
1976	1599,9	4664,4
1977	1589,5	6253,9
1978	1348,9	7602,8
1979	1916,6	9519,4
1980	1561,0	11080,4
1981	1749,8	12830,2
1982	1754,8	14585
1983	2283,0	16868
1984	1448,3	18316,3
1985	1376,9	19693,2
1986	1511,9	21205,1
1987	1562,8	22767,9
1988	1332,3	24100,2
1989	1711,0	25811,2
1990	1644,7	27455,9
1991	1251,6	28707,5
1992	1990,1	30697,6
1993	1642,0	32339,6
1994	1412,9	33752,5
1995	1552,8	35305,3
1996	1742,6	37047,9
1997	1801,8	38849,7
1998	2276,1	41125,8
1999	1259,1	42384,9
2000	1852,0	44236,9
2001	1477,2	45714,1
2002	1810,6	47524,7
2003	1595,7	49120,4
2004	1787,5	50907,9
2005	1371,5	52279,4
2006	1661,7	53941,1
2007	1294,3	55235,4
2008	1471,3	56706,7
2009	1765,6	58472,3
2010	1579,9	60052,2
2011	1637,3	61689,5
2012	1505,3	63194,8
2013	1942,6	65137,4
2014	1867,1	67004,5
2015	2625,3	69629,8
2016	1943,3	71573,1
2017	1704,8	73277,9
2018	2093,9	75371,8
2019	1511,4	76883,2
2020	1004,0	77887,2
2022	1494,6	79381,8
2023	1540,6	80922,4
2024	1140,4	82062,8

**Fonte:** Dos autores.

## 4. DISCUSSÃO

Os resultados mostram que a precipitação tem um crescimento, tanto em volume quanto em percentual, com o aumento do tempo de recorrência, o que se infere que seja devido ao evento extremo de precipitação observado no ano de 1998, que acumulou 183,8 mm.dia<sup>-1</sup>, e tenha influenciado o modelo, uma vez que na determinação do modelo em 1999 não havia sido

registrado evento desta magnitude.

Para avaliar o comportamento observado na Tabela 7, os dados de precipitação da série histórica do período de 50 anos, foram acumulados conforme apresentado na Tabela 8, e a partir da série acumulada foram obtidos os gráficos das séries de 1974 a 1988 e de 1974 a 2025, conforme a Figura 5.

O gráfico da Figura 7 mostra que as séries das precipitações acumuladas apresentam um comportamento praticamente linear, com coeficientes de determinação de 0,999 que corresponde a um coeficiente de correlação de Pearson também de 0,999, resultado em uma fortíssima aderência dos dados ao modelo. Observa-se um leve afastamento da curva para cima nos anos de 2015 a 2018 que registraram chuvas consecutivas acima da média e, para baixo da curva nos anos de 2019 a 2024 com chuvas registradas abaixo da média.

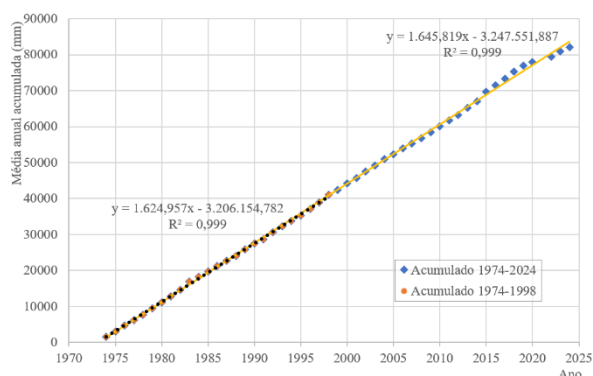
A série de 1974 a 1998 apresentou o modelo estatístico representado pela Equação 8.

$$y = 1624,957 \cdot x - 3206154,782 \quad \text{Eq. 8}$$

A série de 1974 a 2024 apresentou o modelo estatístico da Equação 9.

$$y = 1645,819 \cdot x - 3247551,887 \quad \text{Eq. 9}$$

onde: "y" representa a precipitação total acumulada e "x" o ano.



**Figura 7.** Gráfico com as precipitações totais acumuladas para as séries de 1974-2024 e 1974-2025, com as linhas de tendência, as equações das mesmas e o coeficiente de determinação. **Fonte:** Dos autores.

Com os modelos estatísticos foi feita a simulação dos valores para os anos de 1998 e 2024, conforme Tabela 9, que representam respectivamente a média de 25 e 50 anos, obtida pela razão entre o valor inferido e o tempo de 25 e 50 anos.

Com base nos valores, obteve-se as diferenças em mm entre as duas séries e a variação percentual.

**Tabela 9.** Variação observada com a mudança do modelo da série 1974-1988 para a série 1974-2024.

Série	Resultado dos modelos	
	1998	2024
1974-1998 (mm)	1620,4	1655,2
1974-2024 (mm)	1631,8	1671,7
Diferença (mm)	11,4	16,5
Variação	0,7%	1,0%

**Fonte:** IAT (2025)<sup>15</sup> e Braun (2025)<sup>16</sup>.

Quando se compara as variações percentuais entre as duas séries, para 25 anos (1998) e 50 anos (2024)

observa-se que a série de 50 anos indica valores maiores de precipitação, de 0,7% e 1,0%, respectivamente para 25 e 50 anos.

### Análise comparativa entre as médias das séries históricas

Ao analisar a série histórica correspondente ao período de 1974 a 1988, utilizado no desenvolvimento da equação de chuvas intensas proposta por Fendrich<sup>11</sup>, e compará-la com a série completa (1974 a 2024), observa-se, em termos descritivos uma redução de 7,4% na média das precipitações anuais totais em relação à série completa. Em contrapartida, verifica-se um aumento de 2,2% nas médias das precipitações máximas diárias anuais.

Entretanto, ao se proceder a análise estatística por meio do teste 't' de Welch, constata-se que os valores calculados da estatística do teste 't' ( $t_{\text{calc}}$ ) são, em ambas as comparações, precipitações máximas diárias anuais e precipitações médias anuais, inferiores aos valores críticos ( $t_{\text{crit}}$ ), conforme apresentado nas Tabelas 10 e 11.

**Tabela 10.** Análise comparativa das precipitações máximas diárias anuais das séries 1974-1988 e 1974-2024.

Descrição	Série 1974-1988	Série 1974-2024
Tamanho da amostra	15	50
Valores médios	105,84	99,99
Variâncias	506,62	857,95
t de Welch		1,099
Graus de liberdade (v)		29,7
$t_{\text{crit}}$		2,756

**Nota:** ' $t_{\text{crit}}$ ' para nível de significância  $\alpha = 0,01$ . **Fonte:** Elaborada pelos autores.

**Tabela 11.** Análise comparativa das precipitações médias anuais das séries 1974-1988 e 1974-2024.

Descrição	Série 1974-1988	Série 1974-2024
Tamanho da amostra	15	50
Valores médios	1606,68	1641,26
Variâncias	56325,75	85714,27
t de Welch		0,467
Graus de liberdade (v)		28,0
$t_{\text{crit}}$		2,763

**Nota:** ' $t_{\text{crit}}$ ' para nível de significância  $\alpha = 0,01$ . **Fonte:** Elaborada pelos autores.

Considerando os diferentes tamanhos amostrais e a não homogeneidade das variâncias, o teste 't' de Welch resultou em valores de ' $t_{\text{calc}}$ ' iguais a 1,099 para precipitações máximas diárias anuais e 0,467, para precipitações médias anuais. Esses valores são inferiores aos respectivos valores críticos ( $t_{\text{crit}} =$  de 2,756 e 2,763) para um nível de significância de 1%, não permitindo, portanto, a rejeição da hipótese nula de igualdade entre as médias das séries analisadas.

Com base na interpretação hidrológica, os resultados indicam que as séries 1974-1988 e 1974-2024 apresentam comportamento estatisticamente equivalente, tanto em relação aos volumes médios anuais de precipitação quanto às precipitações máximas diárias anuais, não sendo observadas diferenças estatisticamente significativas entre os períodos considerados.

## 5. CONCLUSÃO

O estudo utilizou uma abordagem hidrológica

clássica e consolidada para a atualização das equações de chuvas intensas (IDF) para a cidade de Umuarama-PR, com base em uma série histórica ampliada de dados pluviométricos (1978 a 2024) provenientes das estações meteorológicas do IAPAR e SIMEPAR, que apresentou uma precipitação média mensal de 136,8 mm, média anual de 1.641,3 mm e com desvio padrão de 295,7 mm, indicando grande variabilidade interanual.

A análise detalhada da série histórica de precipitação em Umuarama-PR evidencia a importância da atualização constante das equações IDF, especialmente diante das mudanças nos padrões climáticos que se observa e do aumento da frequência de eventos extremos, com recorde de precipitação acumulada diária de 183,8 mm em 1998, ano de forte influência do El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

O emprego de uma metodologia robusta, com ampliação da base de dados e aplicação de modelos estatísticos reconhecidos, permitiu a obtenção de uma equação de chuvas intensas representativa da realidade atual do município, considerando a identificação de vários eventos extremos com chuvas maiores que 100 mm em diversos anos, reforçando a necessidade de revisão periódica das curvas IDF, a qual foi ajustada para Umuarama com fortíssima correlação estatística ( $r = 0,999$ ), resultando nos seguintes parâmetros da equação geral:  $k = 932,75$ ;  $m = 0,178$ ;  $b = 9,8$ ;  $n = 0,741$ .

A comparação com a equação de 1989 demonstra que a incorporação de dados recentes e o monitoramento contínuo são essenciais para garantir o aperfeiçoamento do modelo frente à variabilidade climática sazonal e interanual, contribuindo com a aperfeiçoamento de modelos matemáticos garantindo a realização de projetos de dimensionamento de sistemas de drenagem e obras hidráulicas, com vistas a mitigação de riscos associados a alagamentos.

O estudo possibilitou aos professores e pesquisadores a ampliação de conhecimentos sobre o comportamento sazonal das chuvas, contribuiu para uma melhor avaliação dos fenômenos climáticos regionais e propiciou material para uso acadêmico com aproveitamento em disciplinas relacionadas com o tema.

Recomenda-se a manutenção do monitoramento pluviométrico e a reavaliação periódica das curvas IDF, visando sempre o aprimoramento dos modelos hidrológicos e a segurança das áreas urbanas e rurais frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela intensificação dos eventos extremos

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao SIMEPAR por disponibilizar dados das séries históricas de chuvas, sem os quais o trabalho não poderia ser realizado.

## 7. REFERÊNCIAS

[1] Fendrich R. Importância das equações de chuvas intensas na drenagem urbana. Belo Horizonte: ABRH - XIII Simpósio de Recursos, 1999. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/149/ABR H035.pdf&ved=2ahUKEwinysjh4LSLAXxr5UCHZM>

8BqIQFnoECBQQAaw&usq=AOvVaw2dU1etA7dPBKS AcHk4K1uq. Acesso em: 05 fev 2025.

[2] Mota S. Urbanização e meio ambiente. 4. ed. atual. e rev. Rio de Janeiro: ABES, 2011; 352 p. ISBN 85-7022-133-9.

[3] Tucci CEM, Porto RLL, Barros MT. Drenagem Urbana. 1°. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 1995.

[4] Mello, C R & Viola, MR. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. Viçosa: Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2013; 37(1). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/DrR5Fff8VNP7njWwvbPvmJv/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 07 fev 2025.

[5] Bertoni JC, Tucci CEM. Precipitação. In: Tucci, Carlos Eduardo M. (org) Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2013.

[6] Villel, SM, Mattos A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1975.

[7] Esteves CF. Protocolo 2: Orientações para o monitoramento das chuvas. São José dos Campos, SP: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação: Cemaden educação, versão 2. 2024. Disponível em: [www.educacao.cemaden.gov.br](http://www.educacao.cemaden.gov.br). Acesso em: 07 fev 2025.

[8] Back ÁJ. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. Campina Grande, PB: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2009; 13(2):170-175. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/SpKRVpswgwjwFGD9LRtvVtF/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 07 fev 2025.

[9] WMO - World Meteorological Organization. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, n 8, 2014 Edition. Geneva: Board World Meteorological Organization (WMO), 2017 (atualizado). Disponível em: <https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/365>. Acesso em: 08 fev 2025.

[10] Santos HFL, Costa PVM, Araujo MLL, Pires FOTSB, Regnier LO. Que fonte de dados meteorológicos utilizar no Brasil? Que incerteza esperar? Uma comparação entre diferentes abordagens e variadas fontes de dados. Fortaleza: VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020. Disponível em: <https://encurtador.com.br/7umFw>. Acesso em: 08 fev 2025.

[11] Fendrich R. Chuvas Intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná. Curitiba: Champagnat, 2° edição revisada e ampliada. 2003; 101p..

[12] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Umuarama - PR 4128104. Rio de Janeiro: [geoftp.ibge.gov.br](http://geoftp.ibge.gov.br), 2025. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/mapas\\_municipais/colecao\\_de\\_mapas\\_municipais/2020/PR/umuarama/4128104\\_MM.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_municipais/colecao_de_mapas_municipais/2020/PR/umuarama/4128104_MM.pdf). Acesso em 10 fev 2025.

[13] Nitsche PR, Caramori P, Ricce WS, Pinto LFD. Atlas climático do estado do Paraná. 1. ed. LONDRINA: Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, 2019; 1:210p.

[14] Gonçalves JE. Coordenadas corretas das estações. [Mensagem pessoal]. Destinatário: Rodrigo Tartari. Mensagem recebida em: [rtartari@uem.br](mailto:rtartari@uem.br), 17 jul 2025.

[15] IAT Instituto de Águas e Terras. Sistema de Informações Hidrológicas. Curitiba: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Infomacoes-Hidrologicas>. Acesso em: 17 fev 2025.

[16] Braun, Solicitação de dados pluviométricos para pesquisa institucional da UEM. Mensagem recebida por [faleconosco@simepar.br](mailto:faleconosco@simepar.br) em 12 fev 2025.

[17] Tukey JW. Exploratory Data Analysis. Reading, Mass.,

- Addison-Wesley. 1977; 688 pp.
- [18] Wilks DS. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2. ed. Amsterdam: Academic Press (Elsevier), 2006; 627 p.
- [19] Pinto NLS, Holtz ACT, Martins JA, Gomide FLS. *Hidrologia básica*, 18ª reimpressão. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2017 (Reimpressão).
- [20] Chow VT. *Frequency analysis of hydrologic data with special application to rainfall intensities*. Illinois: University of Illinois Engineering Experiment Station. Bulletin Séries. 1953; 414(50):31.
- [21] CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Drenagem urbana: manual de projeto*, 3 ed. São Paulo: CETESB. 1986.
- [22] Back ÁJ, Oliveira JLR, Henn A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. Campina Grande, PB, UAEA/UFGG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2012; 16(4):391-398. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/SmRcmccJSZnpGrvSbXqJwPt/>. Acesso em: 07 fev 2025.
- [23] Cavalcanti IFA, Ferreira NJ, Dias MAF, Justi MGA. (Orgs.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 1. edição, 2009. ISBN 9788586238925. 463pp.
- [24] Reboita MS, Gan MA, Rocha RP, Ambrizzi T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 2010; 25(2):185-204.
- [25] Grimm AM, Ferraz SET, Gomes J. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of Climate*. 1998; 11(11):2863-2880.
- [26] Nimer E. *Climatologia do Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p. ISBN 85-240-0282-4.
- [27] Ynoue RY, Reboita MS, Ambrizzi T, Silva GAM. *Meteorologia: Noções Básicas*. São Paulo: Oficina de Textos. 2017.
- [28] Grimm AM, Zilli MT. Interannual Variability And Seasonal Evolution Of Summer Monsoon Rainfall In South America. *Journal of Climate*. 2009; 22:2257-2275.
- [29] Borsato VA, Souza Filho EE. A participação dos sistemas atmosféricos atuantes na bacia do Rio Paraná no período 1980 a 2003. *Revista Brasileira de Climatologia*. 2009; 7:83-101.
- [30] Caldana NFS, Rudke AP, Da Silva I, Nitsche PR, Caramori PH. Gênese, Impacto e a Variabilidade das Precipitações de Granizo na Mesorregião Centro-Sul Paranaense. *Caderno de Geografia*. 2019; 29(56):61-80.
- [31] INPE- Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. *Ocorrência do El Niño*. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 1 ago. 2025.
- [32] Pereira HR, Reboita MS, Ambrizzi T. Características da atmosfera na primavera austral durante o El Niño de 2015/2016. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 2017; 32(2):293-310. DOI: 10.1590/0102-77863220011.
- [33] Cavalcanti IFA. *Episódios El Niño / Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil*. CPTEC/INPE, 2005. Disponível em: <http://marte3.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.29.21.15.15/doc/7215.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- [34] Sampaio G, Satyamurty P. *El Niño de 1997/98: Evolução e Impactos no Brasil*. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia. 1998.
- [35] Minaki C, Montanher OC. Influência do El Niño-Oscilação Sul na precipitação em Maringá-PR, no período de 1980 a 2016. *Caminhos de Geografia, Uberlândia*. 2019; 20(69):266-281.
- [36] Naumann G, *et al.* Extreme and long-term drought in the La Plata Basin: event evolution and impact assessment until September 2022, EUR 31381 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, ISBN 978-92-76-61614-6, doi:10.2760/62557, JRC132245.
- [37] Chow VT, Maidment DR, Mays LW. *Applied Hidrology*. Austin: McGraw-Hill International Editions: Civil Engineering Series. 1988.
- [38] Lu ZL, Yuan KH, Welch's t Test. NJ Siking. 2010. DOI: 10.13140/RG.2.1.3057.9607.
- [39] Montgomery DC, Runger GC. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 7 ed. Wiley. 2018.