



**ALICE RAQUEL CAMINHA**

**DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DAS  
RELAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DAS  
PRECIPITAÇÕES EM MINAS GERAIS**

**LAVRAS – MG**

**2019**

**ALICE RAQUEL CAMINHA**

**DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DAS  
RELAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DAS  
PRECIPITAÇÕES EM MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título  
de Bacharel.

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2019**

**ALICE RAQUEL CAMINHA**

**DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DAS  
RELAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DAS  
PRECIPITAÇÕES EM MINAS GERAIS**

**PERFORMANCE OF METHODS FOR DETERMINING THE  
INTENSITY-DURATION-FREQUENCY RATIOS OF  
PRECIPITATION IN MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título  
de Bacharel.

APROVADA em 2 de dezembro de 2019.

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira - UFLA  
Prof. Dr. Gilberto Coelho - UFLA  
Doutoranda Jaíza Ribeiro Mota e Silva – UFLA

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2019**

*A Deus, que, com sua infinita misericórdia, me  
abençoou e tem abençoado todos os dias da  
minha vida.*

*A meu pai Alexandre e minha mãe Telma, por  
serem minha maior riqueza.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por todo o amor concedido e por ter me dado força para vencer essa etapa tão sonhada.

A meu professor tão querido, Luiz Fernando Coutinho de Oliveira por todos os ensinamentos e pela amizade tão preciosa.

À minha professora, Camila Silva Franco, por ser meu exemplo e por todas as vezes que me ajudou em momentos difíceis.

Aos meus tios, Júlio e Fernanda, por todo o amor que me deram e pelo apoio durante toda a vida. Nunca me esquecerei do que fizeram por mim.

À minha avó Nadir, ao meu irmão Alexandre e meus tios Marilaine e Valdinei, por me ajudarem em todos os momentos que precisava.

Às minhas amigas Ana Carolina, Beatriz, Marline e Isabela por todas as fases difíceis que permaneceram comigo, pela amizade tão importante e pelos momentos inesquecíveis.

Ao meu amado Brejão, por ter sido minha casa e o meu abrigo durante todos esses anos. Em especial, ao apartamento 112 Bloco 1.

Ao meu companheiro, Guilherme, por ser um dos motivos pelos quais eu sorri tantas vezes depois de chorar.

Aos meus amigos do Consórcio Regional de Saneamento Básico – CONSANE, Ivan Massimo, Daniela Pedroso, Jaíza Mota e Iara Menicucci, pelos ensinamentos práticos, conhecimentos transmitidos sobre o mercado de trabalho e por todo o acolhimento que recebi.

## RESUMO

As chuvas intensas, ou extremas, são eventos naturais, em geral caracterizados por forte precipitação contínua em um curto espaço de tempo. A precipitação pode ser caracterizada por três grandezas, ou seja, a sua intensidade, duração e frequência. A relação entre essas grandezas pode ser expressa por modelos matemáticos denominados relação intensidade, duração e frequência (IDF). O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho das relações IDF geradas pelo método de Gumbel, empregando a técnica da desagregação das informações coletadas em pluviômetros e a proposta por Bell com parâmetros ajustados por Righetto (1998) e Mello et al. (2003) comparando-as com as relações IDF ajustadas por Pinto (1995) a partir de registros pluviográficos, para 28 estações pluviométricas no estado de Minas Gerais.. Os registros pluviométricos utilizados para estabelecer as relações IDF a partir dos métodos de Gumbel e Bell foram obtidos no sistema de informação HIDROWEB, disponível no site da Agência Nacional de Águas – ANA. Para a comparação entre os valores estimados das intensidades de precipitação hidrológico (pelas relações IDF ajustadas neste trabalho e os obtidos através das relações IDF ajustadas por Pinto (1995), empregou-se o teste F de variância dos valores das intensidades de precipitação estimados pelos modelos avaliados. As intensidades estimadas pelas relações IDF geradas pelo método de Gumbel apresentaram bom desempenho quando comparadas com as propostas por Pinto (1995), para os períodos de retorno de 5 e 10 anos e tempo de duração de até 60 minutos. As intensidades estimadas pelo método de Bell, utilizando parâmetros ajustados por Righetto (1998) apresentaram bom desempenho quando comparadas com as propostas por Pinto (1995) para os períodos de retorno de 5 e 10 anos e tempos de duração de 480 e 360 minutos, respectivamente. As pelo método de Bell a partir dos parâmetros propostos por Mello et al. (2003) apresentaram bom desempenho para períodos de retorno de 5 e 10 anos. Para os demais períodos de retorno estudados, não apresentaram bom desempenho.

**Palavras-chave:** Relação intensidade-duração-frequência; Distribuição de Gumbel; Método de Bell.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	8
2. OBJETIVOS.....	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	9
3.1 Bacia hidrográfica e ciclo hidrológico .....	9
3.2 Inundações.....	10
3.3 Aspectos hidrológicos relacionados à drenagem urbana.....	12
3.3.1 Precipitações pluviais .....	12
3.3.3 Chuvas intensas.....	14
3.3.4 Métodos de determinação da relação IDF .....	16
3.4 Distribuições de probabilidade empregadas em estudos de chuvas intensas .....	16
4. METODOLOGIA .....	18
4.1 Área de estudo.....	18
4.2 Equações IDF estabelecidas com o auxílio de pluviógrafos .....	18
$I = 1248,576T^{0,227t} + 12,2680,814$ .....	19
4.3 Registros Pluviométricos.....	21
4.4 Métodos de determinação de chuvas intensas .....	21
4.5 Análise estatística.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	27
6. CONCLUSÕES.....	45

## 1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial é a principal entrada de água no ciclo hidrológico, sendo fundamental para a compreensão da dinâmica do meio físico-hídrico. Para os estudos referentes ao planejamento urbano, ambiental e manejo da agricultura se faz necessário o entendimento do comportamento das precipitações (MELLO e SILVA, 2009).

As chuvas intensas aumentam o risco de ocorrência de erosão no solo, desmoronamentos, assoreamento de rios, perdas agrícolas, proliferação de doenças de veiculação hídrica e, em muitos casos, perdas de vidas humanas (ARAÚJO et al., 2007).

O dimensionamento de obras hidráulicas urbanas e rurais exige o conhecimento prévio da precipitação esperada, a fim de que a estrutura seja capaz de resistir a eventos extremos. São exemplos de obras hidráulicas: construção de drenos, galerias de águas pluviais, calhas, canalização de córregos, entre outros. Tratando-se de obras rurais, o estudo do comportamento da precipitação, a fim de definir a chuva de projeto, é imprescindível para o planejamento terraceamento agrícola, para a implantação de barragens, para atenuação cheias e drenagem em estradas (MESQUITA et al., 2009).

A precipitação é caracterizada por três grandezas: intensidade, duração e frequência. A relação dessas grandezas pode ser expressa por modelos matemáticos denominados relação intensidade, duração e frequência (IDF), também conhecida como equação de chuvas intensas (PENNER, 2018). O monitoramento de precipitações por meio de rede de pluviógrafos, durante período de tempo suficientemente longo e representativo permite o estabelecimento das equações IDF. Porém, a escassez de dados pluviográficos, baixa densidade da rede de pluviógrafos e pequeno período de observações disponível são fatores que dificultam a determinação dessas equações para várias localidades (OLIVEIRA et al., 2008).

A literatura apresenta diferentes métodos para a geração de equações IDF em localidades desprovidas ou com baixa densidade de rede de pluviógrafos. Dentre esses métodos, encontra-se o de Gumbel (CETESB, 1986) e o de Bell (RIGHETTO, 1998).

## **2. OBJETIVOS**

Avaliar o desempenho das relações IDF geradas pela distribuição de Gumbel, empregando a técnica da desagregação das informações coletadas em pluviômetros e a proposta por Bell com parâmetros ajustados por Righetto (1998) e Mello et al. (2003) comparando-as com as relações IDF ajustadas por Pinto (1995) a partir de registros pluviográficos, para 28 estações pluviométricas no estado de Minas Gerais.

## **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 Bacia hidrográfica e ciclo hidrológico**

A bacia hidrográfica é a área definida topograficamente, drenada por um curso d'água principal e um sistema integrado de cursos d'água, cuja vazão efluente segue para uma simples saída denominada exutório (VIESSMAN et al., 1972). Barella (2001) define a bacia hidrográfica como o conjunto de superfícies drenadas por um rio e seus afluentes, formadas nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas ou escoam superficialmente para os rios ou infiltram no solo.

Lima e Zakia (2000) acrescentaram uma abordagem sistêmica ao conceito geomorfológico da bacia hidrográfica, de acordo com os autores, as bacias hidrográficas constituem sistemas abertos que recebem a energia dos agentes climáticos e perdem a energia pelo deflúvio, sendo essas energias descritas em termos de variáveis independentes que oscilam em torno de um padrão, conferindo um equilíbrio dinâmico ao sistema.

Caracterizar morfometricamente uma bacia hidrográfica é um dos proponentes mais comuns a serem executados em estudos hidrológicos, tendo como objetivo elucidar as várias questões acerca do entendimento da dinâmica ambiental (TEODORO, 2007). Também é importante conhecer os fatores relacionados com a ocupação urbana ou rural na área da bacia hidrográfica. Dentre eles estão as características físico-morfométricas, a geologia e classes de solo, o uso e ocupação do solo, a erodibilidade dos solos e a presença de áreas impermeáveis, fatores esses que estão diretamente relacionados com a ocorrência de cheias e inundações (LOU, 2010).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, aponta os princípios e instrumentos para a gestão de recursos hídricos de

forma a definir bacias hidrográficas como a principal unidade de planejamento. Sendo assim, é de grande importância para gestores e pesquisadores a correta compreensão do conceito de bacia hidrográfica e suas subdivisões (TEODORO, 2007).

Para gerenciar os recursos hídricos de maneira efetiva, o princípio fundamental é o conhecimento do ciclo hidrológico. Tucci (1993) define o ciclo hidrológico como sendo o movimento da água entre os continentes, os oceanos e a atmosfera, com a mudança de estado físico da água, cujo motor é a energia solar. Segundo Speidel et al. (1988), os componentes do ciclo hidrológico são: precipitação pluvial, interceptação, que é a retenção de água da chuva antes que esta atinja o solo, evapotranspiração pelas plantas, infiltração da água no solo, escoamento superficial direto e escoamento superficial de base.

O aquecimento da superfície do solo promove a evapotranspiração, ocasionando acúmulo de vapor na atmosfera e formando as nuvens. A precipitação pluvial, ao atingir a superfície terrestre, segue diferentes caminhos. Uma parte pode infiltrar no solo recarregando o aquífero e outra parte pode gerar escoamento. O escoamento é dividido em escoamento superficial, escoamento sub-superficial ou hipodérmico e escoamento subterrâneo, sendo diferenciados pela profundidade e localização dor onde a água esco (SWAROWSKY et al., 2012).

### **3.2 Inundações**

O processo de urbanização desordenado e falho na previsão da população total promove efeitos que impactam os sistemas de abastecimento de água, de efluentes e de drenagem pluvial (PARKINSON et al., 2003).

As enchentes consistem na elevação do nível d'água de um curso d'água além de sua capacidade de escoamento em períodos de alta precipitação em forma de chuva, que pode ou não causar uma inundação. A inundação é caracterizada pelo excesso do volume de água que não consegue ser drenado pelo canal principal (leito menor), inundando as áreas ribeirinhas (leito maior) (ECKHARDT, 2008). Portanto, as cheias representam o aumento nos níveis normais das águas nas seções transversais dos cursos de água e as inundações ocorrem quando as águas dos corpos hídricos e galerias pluviais saem do seu leito de escoamento, devido ao mau planejamento e falta de capacidade de transporte desses sistemas, ocupando áreas de habitação.

Segundo Tucci (1995), as inundações nas áreas urbanas, são causadas pelo mau planejamento das cidades. A urbanização promove a impermeabilização das áreas superficiais e, dessa forma, parte da água que, anteriormente, seria infiltrada no solo, passa a escoar pelos condutos, aumentando a taxa de escoamento superficial direto.

Quando a precipitação ocorre de forma intensa e a capacidade de infiltração de água do solo é inferior à intensidade da precipitação, grande parte do volume de água acaba escoando para o sistema de drenagem. Esse excesso de volume que não consegue ser drenado produz inundações nas faixas marginais urbanizadas próximas aos cursos de água (TUCCI, 2004).

Esses picos de vazões causam vários impactos negativos, como perdas econômicas, produção de sedimentos, diminuição da qualidade da água drenada em função do transporte de poluentes, danos ao patrimônio público e privado, e, principalmente, perdas de vidas humanas (GENOVEZ, 2003; SANTOS, 2010; TUCCI et al., 1995).

Tucci (1995), o zoneamento das áreas de inundação e um sistema de alerta ligado à defesa civil, além de seguros, podem ser consideradas as principais medidas de controle não estruturais de inundação. Entende-se por medidas não estruturais de controle de inundações aquelas que não exigem modificações no curso d'água. Segundo O zoneamento, previsto no plano diretor das cidades, apresenta-se como um mapeamento das áreas de inundação e a delimitação é feita para cheias com período de retorno de 100 anos ou a maior cheia já registrada na região. Muitas vezes o zoneamento é feito em áreas já ocupadas; nestes casos o mesmo pode estabelecer um programa de transferência da população e/ou maneiras de convivência com os eventos mais frequentes.

Barbosa (2006) apresenta como medidas estruturais, aquelas que exigem intervenções físicas a serem desenvolvidas com a finalidade de reduzir o risco das inundações, podendo ser extensivas ou intensivas. As medidas intensivas agem diretamente no curso d'água e podem ser de três tipos: as que aceleram o escoamento (por exemplo, canalização de cursos d'água), as que retardam o escoamento (reservatórios e bacias de contenção) e as que desviam o escoamento, como canais de desvios.

A drenagem urbana engloba um conjunto de medidas de engenharia, com a finalidade de minimizar os riscos à população trazidos pelas inundações, como propagação de doenças de veiculação hídrica e desmoronamentos, além de diminuir os prejuízos causados por essas inundações, possibilitando o desenvolvimento sustentável (TUCCI, 2004).

Dimensionar sistemas de drenagem envolve a abrangência de diversas variáveis hidrológicas, como período de retorno, determinação da chuva de projeto, determinação do escoamento superficial, conforme as características da bacia e uso e ocupação do solo, determinação da vazão de projeto e, por fim, o dimensionamento das estruturas hidráulicas (FCTH, 1999). Neste contexto, as relações IDF são de fundamental importância, pois por meio dessas relações que se definem as chuvas e/ou as vazões de projeto, parâmetros básicos empregados no dimensionamento das estruturas hidráulicas.

### **3.3 Aspectos hidrológicos relacionados à drenagem urbana**

#### **3.3.1 Precipitações pluviais**

Segundo Amorim (2005), uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos das diversas regiões do Brasil é a precipitação. Essa importância se deve às consequências que estas podem trazer, quando ocorrem em grandes intensidades, para os setores produtivos da sociedade, tanto no âmbito econômico quanto social, causando enchentes e assoreamento de rios.

Oliveira e Silva Filho (2019) definem a precipitação pluvial como o processo que se inicia pela condensação da água que atinge a superfície terrestre, dando origem às nuvens, após os fenômenos as gotas, precipitam por ação do campo gravitacional. De acordo com Fritzsons (2011), a precipitação em forma de chuva, levando em consideração os seus atributos de quantidade e distribuição ao longo do ano, em conjunto com as variáveis térmicas e higrométricas modula, de forma sinérgica, a distribuição dos biomas na terra.

A precipitação pluvial constitui o componente mais importante do ciclo hidrológico, formando o unificador entre a água da atmosfera e a água do solo. As precipitações podem ocorrer mais comumente e forma de orvalho, geada, neve, granizo, chuvisco, neblina, garoa e chuva (OLIVEIRA; SILVA FILHO, 2019).

De acordo com Molion e Bernardo (2000), as precipitações pluviais relacionam-se com a convecção local, que é caracterizada por movimentos ascendentes de ar úmido, resultantes da ocorrência de pressões atmosféricas mais baixas perto da superfície terrestre devido ao aquecimento do ar em contato com essa superfície ou pela ação de fenômenos, como: sistemas frontais, frentes frias ou perturbações ondulatórias no campo dos ventos.

As precipitações ciclônicas são aquelas formadas pelo movimento das massas de ar de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão, cujas diferenças de pressão são causadas pelo aquecimento desigual da superfície terrestre. Podem ser classificadas como frontais e não frontais (OLIVEIRA; SILVA FILHO, 2019).

As precipitações orográficas são formadas pela ascensão mecânica de correntes de ar úmido horizontal sobre barreiras naturais, como montanhas, serras, etc. Quando a massa de ar úmido encontra a barreira, é forçada a ascender, promovendo a queda da temperatura seguida da condensação do vapor d'água (OLIVEIRA; SILVA FILHO, 2019).

As precipitações convectivas são muito comuns em regiões tropicais, onde o aquecimento desigual da superfície terrestre provoca a geração de camadas de ar com diferentes densidades, gerando uma estratificação térmica da atmosfera em equilíbrio instável. Quando o equilíbrio é quebrado, provoca a ascensão brusca e violenta do ar menos denso, capaz de atingir grandes altitudes. Essas precipitações apresentam grande intensidade e curta duração, sendo as que promovem grandes cheias e inundações, principalmente em pequenas bacias hidrográficas, como é o caso das bacias urbanas (OLIVEIRA; SILVA FILHO, 2019).

Entender as características pluviométricas das regiões de interesse é de extrema importância para o desenvolvimento de pesquisas hídricas, hidrogeológicas, para o setor agrícola e florestal, para o planejamento ambiental, para o estudo das mudanças climáticas, visto que faz referência à pluviometria regional no decorrer do tempo (FRITZSONS, 2011).

### **3.3.2 Monitoramento das precipitações**

A medida das precipitações pluviais é um processo simples, sendo baseado no recolhimento da quantidade de água precipitada, podendo ser feito por aparelhos totalizadores (pluviômetros) ou registradores contínuos (pluviógrafos), que fornecem um gráfico denominado pluviograma, nos quais são registradas continuamente as alturas da lâmina precipitada em função do tempo (MELLO; SILVA, 2013), ou ainda informações contínuas armazenadas em aquisitora de dados, que podem ser descarregadas em computadores portáteis ou enviadas à distância por telemetria (OLIVEIRA; SILVA FILHO, 2019).

O pluviômetro é o equipamento de medição mais utilizado no Brasil devido a simplicidade na instalação e baixo custo de operação (MELLO et al., 2013). A leitura da lâmina de água é realizada periodicamente (comumente leituras diárias) e deve ser instalado a uma altura de 1,5 m da superfície do solo, com uma distância mínima de construções e outros objetos de grande porte, considerando uma distância horizontal superior a duas vezes a altura do objeto.

Os pluviógrafos, segundo Tucci (2004), são aparelhos que permitem apropriações de intensidade de precipitações, visto que permitem a leitura, ao longo do tempo, das lâminas de água precipitadas. São aparelhos mais complexos que os pluviômetros, e, por isso, exigem maior custo operacional.

O volume de água precipitado e a distribuição temporal das chuvas garantem a precisão das medições pluviográficas. Essa precisão está relacionada com a área de captação da lâmina, visto que, quanto maior o volume recolhido, maior a precisão. A qualidade da medição depende do tipo de sistema de registro (TUCCI, 2004).

### 3.3.3 Chuvas intensas

Segundo Mello e Silva (2013), as chuvas intensas são caracterizadas pelos eventos cujas lâminas precipitadas ou sua intensidade superem um valor mínimo que é função do tempo de duração da chuva. A Tabela 1 apresenta valores de referência empregados na caracterização das chuvas de alta intensidade, para diferentes tempos de duração.

Tabela 1. Valores mínimos de intensidade de chuva que caracterizam um evento de precipitação como intenso, em função do seu tempo de duração.

Tempo de duração (min)	5	10	20	30	60	90	120	180	240
Intensidade média (mm h <sup>-1</sup> )	120	72	51	40	25	19	15	11	8,7

Fonte: Adaptado de Mello e Silva (2013).

Tucci (1995) comenta que as chuvas intensas são caracterizadas por relações de intensidade, duração e frequência de ocorrência (tempo de retorno), denominadas de relações IDF. A relação entre essas variáveis, as quais caracterizam uma chuva intensa com o tempo de resposta da bacia determina os valores dos picos de vazões do hidrograma gerado na seção de controle da bacia.

Uma importante ferramenta para a elaboração de projetos de obras hidráulicas é a relação IDF. De acordo com Mello et al. (2001) a caracterização de precipitações para estudos hidrológicos é realizada conhecendo-se a intensidade, o tempo de duração e a

frequência de ocorrência, permitindo, assim, definir a relação IDF que é expressa por modelos matemáticos.

Para a obtenção das relações IDF são necessárias as informações relativas aos dados coletados em pluviógrafos ou pluviômetros. O caráter local das relações IDF e a importância da utilização de séries longas e com alta precisão e confiabilidade de dados observados são necessários para o ajuste dos parâmetros dos modelos matemáticos empregados para expressar essas relações (SANTOS et al., 2009).

A determinação das relações IDF a partir de registros pluviográficos apresenta um desafio, frente à baixa densidade da rede de pluviógrafos e o intensivo trabalho na extração das informações, principalmente dos registros gráficos (SILVA et al., 2000; MARTINEZ JÚNIOR, 1999; COSTA e BRITO, 1999).

Os trabalhos sobre chuvas intensas no Brasil tiveram início com o estudo de Pfafstetter (1957). Após esse trabalho pioneiro, novos trabalhos foram publicados, como o de Denardin et al. (1980) para o Rio Grande do Sul. Fendrich (1998) para o Paraná, Martinez Junior e Magni (1999) para São Paulo e Pinto et al. (1996) para Minas Gerais. A partir dos anos 2000, foram publicados os estudos de Davis e Naghettini (2000) para o Rio de Janeiro, Oliveira et al. (2000, 2005) para Goiás e Distrito Federal; Nerilo et al. (2002) para Santa Catarina; Silva et al. (2003) para Tocantins; Santos et al. (2009) para Mato Grosso do Sul; Oliveira et al. (2011) para Mato Grosso; Fernandes et al. (2015) para o Rio de Janeiro, além do trabalho de Freitas et al. (2001) para os estados de Minas Gerais e estações limítrofes dos Estados da Bahia e Espírito Santo e Oliveira (2019) para todo o território nacional.

A região Nordeste contempla os trabalhos realizados por Silva et al. (2002) para a Bahia; Coutinho et al. (2010) e Silva et al. (2012) para Pernambuco; Aragão et al. (2013) para Sergipe, Fechine Sobrinho et al. (2011) para as estações de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha no Sul do Ceará e Campos et al. (2014) para o Estado do Piauí.

Devido aos desafios e limitações associadas aos registros pluviográficos, têm sido desenvolvidos diferentes métodos para determinação das relações intensidade-duração-frequência. Esses métodos permitem definir as relações a partir de séries históricas de precipitações máximas diárias anuais estabelecidas por pluviômetros.

### **3.3.4 Métodos de determinação da relação IDF**

Alguns métodos foram desenvolvidos para a determinação das equações IDF a partir de totais diários de precipitação, dentre os quais estão os métodos das Isozonas (TORRICO, 1974), de Bell (RIGHETTO, 1998), que associa a altura pluviométrica de uma chuva intensa para um determinado tempo de duração e período de retorno, à chuva intensa padrão, com duração de 60 minutos e período de retorno de 2 anos, e o método de Gumbel (CETESB, 1986), que ajusta a distribuição probabilística de Gumbel a partir da média aritmética e do desvio padrão de uma série anual de precipitações máximas diárias.

O método de Gumbel foi aplicado em vários estudos para as diferentes regiões do Brasil, como o trabalho de Oliveira et al. (2005) para os estados de Goiás e Distrito Federal, Reis et al. (2008) para a bacia hidrográfica de Itabapoana, por Rodrigues et al. (2008) para o estado do Ceará e por Campos et al. (2014) para o estado do Piauí. Além disso, foi aplicado, também, em diferentes países como Canadá (ALILA, 2000), Estados Unidos (SINGH; ZHANG, 2007) e Holanda (OVEREEM et al., 2008).

Alguns trabalhos podem ser citados como exemplos da aplicação do método de Bell no Brasil, como o de Coutinho et. al (2010) para o estado de Pernambuco, Back (2014) para a cidade de Florianópolis, Garcia et al. (2011) para o estado do Mato Grosso e Nali et al. (2007) para a bacia dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória, no Espírito Santo, Oliveira et. al (2008) para o estado de Goiás e Mello et al. (2003) para o estado de Minas Gerais.

Nali et al. (2007) determinaram e compararam as equações de chuvas intensas geradas por meio dos métodos de Gumbel e de Bell para bacias hidrográficas dos rios Jucu e Santa Maria, localizadas no Espírito Santo. Apesar de apresentarem formulações empíricas distintas, tais métodos produziram respostas semelhantes para todas as estações pluviométricas estudadas.

## **3.4 Distribuições de probabilidade empregadas em estudos de chuvas intensas**

No estudo das chuvas, há de se considerar vários fatores, tais como o clima, relevo local, temperatura, umidade e velocidade do vento, impossibilitando sua análise de modo

determinístico. Dessa forma, sua estimativa pode ser realizada de modo mais simples por processos estocásticos (RIGHETTO, 1998).

Para precipitações máximas diárias anuais pode-se aplicar os modelos de distribuição de probabilidade como o de Gumbel, Log-Normal, GEV, Fréchet, Weibull, Gama, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Vários autores têm utilizado a distribuição de Gumbel para a caracterização de precipitações máximas diárias anuais. Coutinho et al. (2013) utilizaram Gumbel para os municípios da mesorregião do estado de Pernambuco, com séries variando entre 16 e 32 anos, comprovando a aderência da distribuição de Gumbel com o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%.

Back e Pola (2016) ajustaram a distribuição de Gumbel na estimativa de chuvas máximas anuais com duração de 5 até 1440 minutos. A distribuição se mostrou adequada e as equações de chuvas intensas ajustadas forneceram estimativas de valores muito próximos dos observados.

Franco et al. (2014) estudaram a precisão dos ajustes de distribuições de probabilidade de Gumbel, Gama e GEV, utilizando os métodos da Máxima Verossimilhança e Momentos L para a estimativa dos parâmetros em oito séries históricas de precipitação máxima diária anual na bacia hidrográfica do Rio Verde e concluíram, para a distribuição de Gumbel, o método dos momentos foi o mais adequado. Ferreira et al. (2005) também obtiveram um bom ajuste da distribuição de Gumbel para dados de precipitação máxima em 165 municípios do estado de São Paulo. Thebaldi (2012) ao avaliar a precipitação máxima diária anual do município de Uberaba, MG, observou que o modelo de Gumbel para máximo representou melhor os dados para esta localidade.

Oliveira et al. (2017) estudaram 2042 estações na região Nordeste e verificaram, pelo teste Qui-quadrado, que as frequências teóricas determinadas pela distribuição de Gumbel aderiram-se às observadas, sendo os ajustes das relações IDF classificados como ótimo para todas as estações. Eltz et al. (1992) afirmam que a análise de frequência é uma técnica estatística importante no estudo de chuvas, devido à grande variabilidade temporal e espacial da precipitação pluvial, que não pode ser prevista com bases puramente determinísticas.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 Área de estudo**

O estado de Minas Gerais, segundo Mello et al. (2003), apresenta, em suas regiões, chuvas distribuídas de forma irregular, com cerca de 90% do total precipitado e das chuvas intensas concentrados nos meses de outubro a março. A região Norte do estado é caracterizada por um relevo com presença de cadeias montanhosas e vegetação típica de Cerrado e Caatinga, apresentando clima tendendo ao semi-árido (déficit hídrico superior a 3 meses do ano). Segundo Sá Júnior e Carvalho (2012), o clima é classificado como Aw e, geograficamente, está localizada em latitudes inferiores a 18°S.

A região Sul possui relevos montanhosos com influência de cadeias montanhosas altas, altitudes médias elevadas, raramente inferiores a 800 m e cobertura vegetal entre mata Atlântica e Cerrado. Detém as menores temperaturas médias do estado, com frequente formação de geada nos meses de Maio a Julho e déficit hídrico de Julho a Setembro. Segundo Sá Júnior e Carvalho (2012), a classificação climática é Cwb, localizando-se em latitudes superiores a 21°S e longitudes entre 43 e 46°W.

Na região Central, o relevo é movimentado, com altitudes acima de 500 m e vegetação tendendo a Cerrado. Segundo Sá Júnior e Carvalho (2012), a classificação climática é Cwa, com transição para Aw, localizando-se aproximadamente entre as coordenadas geográficas 18 e 21°S e 43 e 46°W.

A região do Triângulo Mineiro apresenta relevo típico de chapada, com cobertura vegetal típica de Cerrado e altitudes elevadas. Possui período de déficit hídrico nos meses de inverno e, Segundo Sá Júnior e Carvalho (2012), classificação climática entre Cwa e Aw, localizando-se entre as coordenadas geográficas 18 e 20°S e 46 e 50°W.

Na região Leste, o relevo é movimentado e as altitudes não ultrapassam 700 m, com cobertura vegetal próxima à mata Atlântica. Segundo Sá Júnior e Carvalho (2012), a classificação climática é entre Cwa e Aw, e está localizada entre as coordenadas geográficas 18 e 21°S e 41 e 43°W.

### **4.2 Equações IDF estabelecidas com o auxílio de pluviógrafos**

As relações IDF geradas a partir de registros pluviográficos disponíveis para o estado de Minas Gerais, foram estabelecidas por Pinto (1995) para o período compreendido 1983 a 1993, as quais foram empregadas neste estudo como base

comparativa. As referidas relações, juntamente com nome e localização das estações pluviográficas estão reunidas na Tabela 2. Essas relações constituíram a referência para a análise das respostas oferecidas pelas equações IDF conformadas pelos métodos empregados nesse estudo.

Tabela 2 - Relações IDF para algumas localidades do estado de Minas Gerais.

Nome da Estação	Região do Estado	Relações IDF
Aimorés	Leste	$I = \frac{1248,576T^{0,227}}{(t + 12,268)^{0,814}}$
Araxá	Triângulo Mineiro	$I = \frac{2998,66T^{0,163}}{(t + 32,009)^{0,931}}$
Arinos	Norte	$I = \frac{1909,102T^{0,188}}{(t + 20,499)^{0,895}}$
BambuÍ	Central	$I = \frac{1343,837T^{0,251}}{(t + 25,499)^{0,788}}$
Barbacena	Sul	$I = \frac{2023,567T^{0,281}}{(t + 20,981)^{0,957}}$
Belo Horizonte	Central	$I = \frac{1175,295T^{0,255}}{(t + 13,381)^{0,806}}$
Capinópolis	Triângulo Mineiro	$I = \frac{1049,375T^{0,274}}{(t + 13,968)^{0,784}}$
Caratinga	Leste	$I = \frac{3600,751T^{0,235}}{(t + 23,083)^{1,036}}$
Caxambu	Sul	$I = \frac{2346,221T^{0,298}}{(t + 25,567)^{0,987}}$
Diamantina	Norte	$I = \frac{613,113T^{0,234}}{(t + 14,307)^{0,665}}$
Espínosa	Norte	$I = \frac{1480,084T^{0,273}}{(t + 23,845)^{0,892}}$
Formoso	Norte	$I = \frac{4499,996T^{0,259}}{(t + 33,443)^{1,028}}$
Governador Valadares	Leste	$I = \frac{3195,594T^{0,292}}{(t + 43,520)^{0,913}}$

Januária	Norte	$I = \frac{653,774T^{0,209}}{(t + 10,513)^{0,676}}$
João Pinheiro	Norte	$I = \frac{1508,326T^{0,284}}{(t + 21,129)^{0,820}}$
Lavras	Sul	$I = \frac{3500,000T^{0,235}}{(t + 40,083)^{0,958}}$
Machado	Sul	$I = \frac{3498,787T^{0,238}}{(t + 31,951)^{1,024}}$
Montes Claros	Norte	$I = \frac{3500,014T^{0,248}}{(t + 34,995)^{0,993}}$
Patos de Minas	Triângulo Mineiro	$I = \frac{4316,449T^{0,250}}{(t + 41,890)^{1,014}}$
Paracatu	Norte	$I = \frac{2116,670T^{0,215}}{(t + 25,346)^{0,874}}$
Pirapora	Norte	$I = \frac{3346,946T^{0,208}}{(t + 38,457)^{0,949}}$
Salinas	Norte	$I = \frac{6998,425T^{0,273}}{(t + 42,653)^{1,116}}$
Sete Lagoas	Central	$I = \frac{2520,616T^{0,204}}{(t + 30,392)^{0,937}}$
Teófilo Otoni	Norte	$I = \frac{1683,42T^{0,261}}{(t + 22,166)^{0,858}}$
Uberaba	Triângulo Mineiro	$I = \frac{3000,000T^{0,206}}{(t + 37,459)^{0,904}}$
Uberlândia	Triângulo Mineiro	$I = \frac{1167,284T^{0,233}}{(t + 17,245)^{0,747}}$
Unai	Norte	$I = \frac{6000,000T^{0,313}}{(t + 41,248)^{1,053}}$
Viçosa	Leste	$I = \frac{1082,798T^{0,265}}{(t + 23,781)^{0,775}}$

Legenda: I = intensidade de precipitação (mm h<sup>-1</sup>), T = período de retorno (ano); t = tempo de duração da chuva (min).

Fonte: Pinto (1995).

### 4.3 Registros Pluviométricos

Os registros pluviométricos utilizados para estabelecer as relações IDF a partir dos métodos de Gumbel e Bell foram obtidos no sistema de informação hidrológico Hidroweb, disponível no site da Agência Nacional de Águas (ANA)<sup>1</sup>. Para tal, foram selecionadas as séries dos valores diários de precipitação, para as mesmas estações e anos de observações empregados por Pinto (1995).

Para as séries de dados extraídas do sistema Hidroweb, foram selecionadas o valor máximo observado para cada ano, dentro do período compreendido entre 1983 a 1993, obtendo assim para cada estação a série anual dos valores extremos com observação diária (chuva de 1 dia). Para cada série histórica dos valores extremos, foram determinadas as estatísticas descritivas: média, desvio padrão e variância

### 4.4 Métodos de determinação de chuvas intensas

De acordo com Oliveira e Silva (2019), no modelo matemático de Chow (1951), as equações que relacionam a intensidade, a duração e a frequência da precipitação, admitem a adequação das precipitações intensas à distribuição de Gumbel.

As equações foram determinadas de acordo com a expressão:

$$i_{(t,T)} = \bar{x}_{(i)t} + \sigma_{(i)t}K_{(n,T)} \quad (1)$$

em que:  $i_{(t,T)}$  = intensidade de precipitação média máxima da chuva de duração  $t$  e período de retorno  $T$ ;  $\bar{x}_{(i)t}$  e  $\sigma_{(i)t}$  = média e desvio padrão das intensidades médias das chuvas intensas correspondentes à duração  $t$ , respectivamente e  $K_{(n,T)}$  = fator de frequência para a distribuição de Gumbel, em função do número  $n$  de anos da série e o período de retorno.

O fator de frequência é obtido pela equação:

$$K_{(IT)} = \frac{(1-\bar{I})}{\sigma_y} = -\left(\frac{\bar{I}}{\sigma_y}\right) - \left(\frac{1}{\sigma_y}\right) \text{Ln} \left[ \text{Ln} \left( \frac{TR}{TR-1} \right) \right] \quad (2)$$

em que:  $K_{(I,TR)}$  = variável reduzida da distribuição de Gumbel;  $\bar{I}$  = média da variável reduzida da distribuição de Gumbel; e  $\sigma_y$  = desvio padrão da variável reduzida da distribuição de Gumbel.

---

<sup>1</sup> <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>

Levando-se em consideração a hipótese de que a média e o desvio padrão das intensidades de precipitação média máxima das chuvas variem de acordo com a duração, a distribuição de Gumbel pode ser escrita da seguinte forma (Oliveira et al, 2008; Santos et al., 2009; Oliveira et al, 2011):

$$I = \alpha - \beta \text{Ln} \left[ \text{Ln} \left( \frac{TR}{TR-1} \right) \right] \quad (3)$$

Em que:  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros da distribuição de Gumbel, obtidas pelo método dos momentos (Equações 4 e 5).

$$E(i) = \alpha + 0,577\beta \quad (4)$$

$$\text{Var}(i) = 1,645\beta^2 \quad (5)$$

Em que:  $E(i)$  = valor esperado, estimado pela média dos valores das intensidades das precipitações máximas anuais e,  $\text{Var}(i)$  = variância das intensidades das precipitações máximas anuais.

Para a verificação da adequação da distribuição de probabilidade de Gumbel (Cetesb, 1986), foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- Ordenação das precipitações máximas diárias;
- Obtenção da frequência dos totais precipitados empregando o método de Kimball, dado por  $F = m / N + 1$ , em que  $m$  = ordem do evento e  $N$  = número de anos que compõe a série histórica;
- Ajuste dos parâmetros da distribuição de probabilidades de Gumbel, empregando o método dos momentos;
- Determinação das frequências teóricas pelo emprego da distribuição de Gumbel; Verificação da adequação da distribuição de Gumbel pelo teste de Sminorv-Kolmogorov Para tal, foram formuladas as seguintes hipóteses:  $H_0$ : a distribuição de Gumbel se adequa à frequência das precipitações máximas, ou seja:  $|F_o - F_t|_{\text{máx}} < d_{(28;5\%)}$ ; e  $H_1$ : a distribuição de Gumbel não se adequa; em que:  $|F_o - F_t|_{\text{máx}}$  = máximo desvio absoluto entre as frequências observadas ( $F_o$ ) e teórica ( $F_t$ ) e  $d_{(10;5\%)}$  = desvio máximo permitido teste de Sminorv-Kolmogorov para as 28 estações pluviométricas e para o nível de significância de 5%.

Após a verificação da adequação da distribuição de Gumbel, foram determinadas as intensidades de precipitação para diferentes tempos de duração (5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 min) e períodos de retorno (5, 10, 25, 50 e 100 anos). Para tal, para se obter as séries das chuvas com durações diferentes da chuva de 1 dia, empregou-

se a técnica da desagregação das chuvas proposta pela Cetesb (1986), na qual a relação entre as chuvas de 1 dia e a de 24 horas é de 1,14. A partir da chuva de 24 horas, as precipitações com durações menores, foram obtidas empregando as relações apresentadas na Tabela 3. O emprego da técnica da desagregação das chuvas de 1 dia e da distribuição de Gumbel, permitiram a estimativa das intensidades das chuvas para os diferentes período de retorno e tempos de duração, as quais foram utilizadas no ajuste dos parâmetros das relações IDF (Equação 6), para as estações empregadas neste estudo.

$$I = \frac{K T^a}{(t+b)^c} \quad (6)$$

Em que, I - intensidade média máxima (mm h<sup>-1</sup>); T = período de retorno (ano); t = duração da chuva (minutos) e K, a, b e c = parâmetros de ajuste para cada localidade.

Tabela 3. Relação entre as alturas pluviométricas entre chuvas de mesma frequência com tempos de duração diferentes.

Relação entre as alturas pluviométricas	Coefficientes de desagregação
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
2 h/ 24 h	0,48
3 h / 24 h	0,54
6 h/ 24 h	0,72
8 h/ 24 h	0,78
10 h/ 24 h	0,82
12 h/ 24 h	0,85
24 h/ 1 dia	1,14

Fonte: Cetesb (1986).

No ajuste do modelo descrito pela Equação 6, foi utilizada a Programação Não Linear (PNL), aplicada, no presente trabalho, com o auxílio da ferramenta Solver,

disponível no software Microsoft Excel®. Para fins de aplicação da PNL, estabeleceu-se uma função objetivo que buscasse minimizar a soma dos quadrados dos desvios entre os valores das intensidades de precipitação observados e os estimados (Equação 7).

$$F(I, t, TR) = \sum_{i=1}^N \left( I_{obs} - \frac{RT^{\hat{a}}}{(t+b)^{\hat{c}}} \right)^2 \quad (7)$$

A fim de se garantir a determinação do ótimo global, foram testados diferentes valores iniciais para os parâmetros K, a, b e c. De uma iteração para outra, os valores iniciais dos referidos parâmetros foram aleatoriamente modificados. O processo de iteração, conduzido com o auxílio da PNL, foi repetido no mínimo 10 vezes, sendo utilizadas as médias das dez iterações de cada parâmetro. A qualidade dos ajustes foi avaliada pela análise de variância e pelo emprego do coeficiente de determinação ( $r^2$ ).

O método de Bell (RIGHETTO, 1998) consiste numa equação constituída por cinco parâmetros e estima a altura pluviométrica produzida por uma precipitação com duração  $t$  de 60 minutos e período de retorno de dois anos  $h_{(60,2)}$ . Sua principal característica é a sua regionalização, ou seja, pode-se ajustá-la baseada em dados de algumas estações e obter um modelo para a região (MELLO; SILVA, 2013). O modelo matemático que descreve o método de Bell é dado pela Equação 8.

$$h_{t,T} = (a_0 \ln T + a_1)(a_2 \cdot t^b - a_3)h_{60,2} \quad (8)$$

Em que,  $h_{t,T}$  = chuva intensa (mm) para uma determinada duração  $t$  e período de retorno  $T$ ,  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , e  $b$  = parâmetros regionais de ajuste do modelo e  $h_{(60,2)}$  = precipitação intensa com duração de 60 minutos e período de retorno de 2 anos.

Righetto (1998) ajustou os parâmetros do modelo para diferentes postos pluviográficos de todo o país, permitindo assim a obtenção da Equação 9.

$$h_{t,T} = (0,31 \ln T + 0,70) (0,38 t^{0,31} - 0,39) h_{60,2} \quad (9)$$

Mello et al. (2003) em seu trabalho, dividiram o estado de Minas Gerais em 5 regiões hidrologicamente homogêneas (Figura 1) e ajustaram os seguintes modelos de Bell:

$$\text{Norte de Minas: } h_{t,T} = (0,818 \ln T + 2,134)(0,38 t^{0,178} - 0,44)h_{60,2} \quad (10)$$

$$\text{Sul de Minas: } h_{t,T} = (1,75LnT + 3,821)(0,38 t^{0,116} - 0,422)h_{60,2} \quad (11)$$

$$\text{Centro: } h_{t,T} = (0,72LnT + 1,50)(0,38 t^{0,219} - 0,45)h_{60,2} \quad (12)$$

$$\text{Leste: } h_{t,T} = (2,88LnT + 4,61)(0,38 t^{0,098} - 0,41)h_{60,2} \quad (13)$$

$$\text{Triângulo Mineiro: } h_{t,T} = (0,70LnT + 1,873)(0,38 t^{0,198} - 0,445)h_{60,2} \quad (14)$$

Figura 1 - Mapa do estado de Minas Gerais dividido em regiões hidrologicamente homogêneas.



Fonte: Adaptado de Mello et al. (2003).

A respeito da aplicação do método de Bell, é relevante apontar que a precipitação máxima diária associada a um período de retorno de 2 anos e tempo de duração de 60 minutos ( $h_{60,2}$ ) foi estimada com o auxílio da distribuição probabilística de Gumbel.

#### 4.5 Análise estatística

A comparação dos valores estimados das intensidades de precipitação para diferentes tempos de duração e período de retorno pelas relações IDF ajustadas neste trabalho e pelos modelos de Bell com os parâmetros ajustados por Righetto (1998) e

Mello et al. (2003), com os obtidos empregando as relações IDF ajustadas por Pinto (1995), empregou-se o teste F empregando a variância dos valores das intensidades de precipitação estimados pelos modelos avaliados. O valor crítico de F depende dos graus de liberdade nas amostras objetos de comparação. Segundo Levine et al. (2005), a primeira amostra representa a que possui maior variância, e a segunda, menor variância (Equação 15).

$$F_{estat} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (15)$$

Em que,  $S_1^2$  = variância da amostra 1 e  $S_2^2$  = variância da amostra 2. Para o nível de significância  $\alpha = 5\%$ , assumido neste trabalho, a hipótese nula de igualdade entre as variâncias de populações é dada por:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad (16)$$

E a hipótese alternativa de que as variâncias para as duas populações não sejam iguais, por sua vez, é dada por:

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \quad (17)$$

A hipótese nula será rejeitada se a estatística do teste  $F_{est}$  calculada for maior do que o valor crítico da cauda superior,  $F_{\alpha/2}$ , a partir da distribuição F. Portanto, a regra de decisão é estabelecida por: rejeitar  $H_0$ , se  $F_{est} > F_{\alpha/2}$ ;

Para a utilização do teste F de variância verificou-se se cada uma das amostras estudadas eram distribuídas segundo uma distribuição normal, condição básica para emprego do teste, empregando-se, para tal, os testes de Doornik-Hansen, Shapiro-Wilk, Lilliefors e Jarque-Bera, implementados no aplicativo Gretl, para o nível de significância de 5%. Para tal, foram formuladas as hipóteses:  $H_0$ : as intensidades de precipitação estão normalmente distribuídos, ou seja,  $I \sim N(0, \sigma^2)$  e  $H_1$ : as intensidades de precipitação não seguem a distribuição normal. A normalidade dos dados foram verificadas pelos testes de Doornik-Hansen, Shapiro-Wilk, Lilliefors e Jarque-Bera, implementados no aplicativo Gretl.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 4, estão presentes a média, o desvio padrão e os parâmetros da distribuição probabilística de Gumbel para as intensidades das chuvas de 24h das 28 estações analisadas. Por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, no qual é formulada a hipótese  $H_0$ , é possível verificar a adequação da distribuição probabilística de Gumbel aos dados analisados. Para que a hipótese  $H_0$  seja aceita,  $SK_{\text{calculado}}$  deve ser menor que  $SK_{\text{tabelado}}$ , o que pode ser verificado pelos valores mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Média, desvio padrão, parâmetros da distribuição de Gumbel e estatísticas do teste de Kolmogorov-Smirnov para as intensidades da chuva de 24h das 28 estações estudadas.

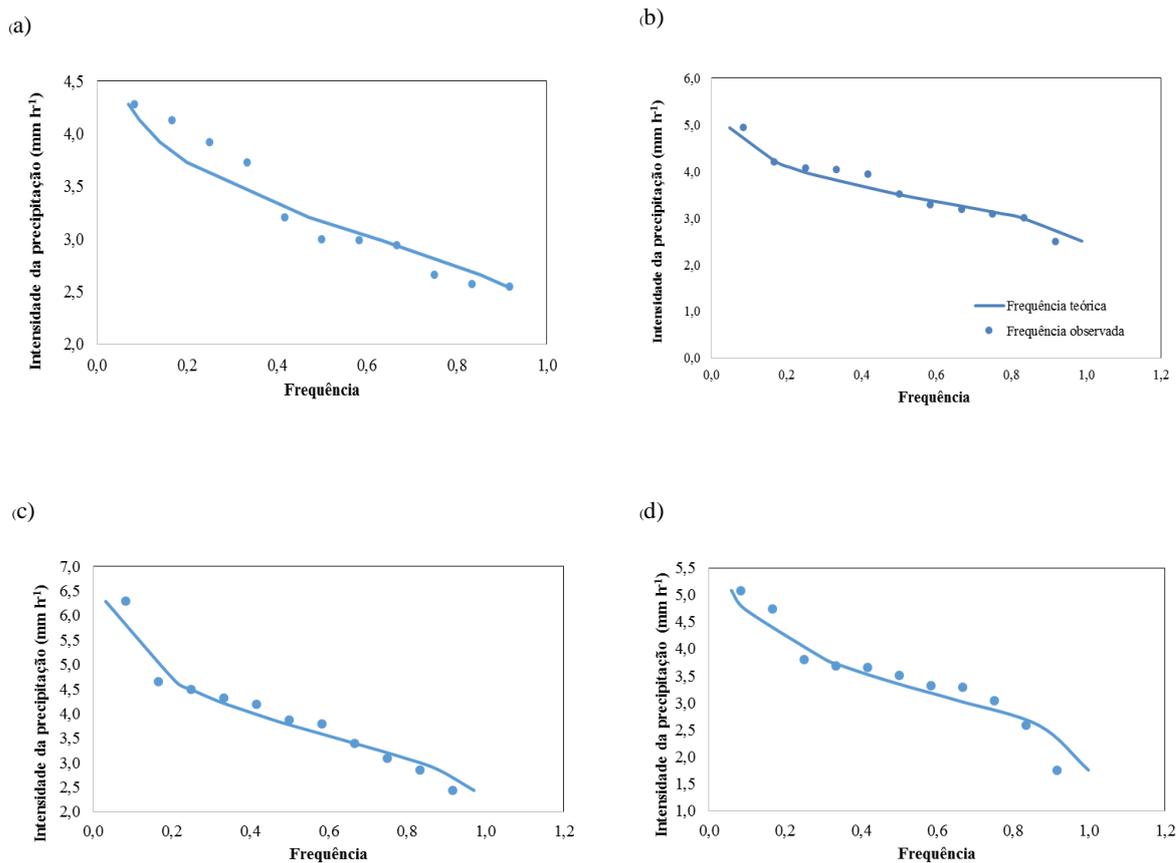
Região	Estação	Média	Desvio padrão	$\alpha$	$\beta$	$SK_{\text{calculado}}$	$SK_{\text{tabelado}}$
Norte	Arinos	3,272	0,636	2,996	0,496	0,133	0,391
	Diamantina	4,339	1,663	3,617	1,296	0,077	0,391
	Espinosa	3,202	0,847	2,834	0,661	0,111	0,391
	Formoso	4,073	0,888	3,687	0,692	0,132	0,391
	Januária	3,781	1,128	3,291	0,879	0,229	0,391
	João Pinheiro	3,528	0,997	3,095	0,778	0,107	0,391
	Montes Claros	3,027	0,884	2,643	0,689	0,115	0,391
	Paracatu	4,303	0,887	3,918	0,692	0,149	0,391
	Pirapora	4,085	1,001	3,650	0,780	0,144	0,391
	Salinas	3,196	1,079	2,727	0,841	0,102	0,391
	Teófilo Otoni	3,219	1,410	2,607	1,099	0,107	0,391
Unai	4,135	1,098	3,658	0,856	0,159	0,391	
Sul	Barbacena	3,621	0,691	3,321	0,539	0,154	0,391
	Caxambu	3,286	0,938	2,879	0,731	0,188	0,391
	Lavras	4,333	1,687	3,600	1,315	0,122	0,391
	Machado	3,456	1,174	2,946	0,916	0,059	0,391
Leste	Aimorés	3,946	1,050	3,490	0,819	0,091	0,391
	Caratinga	3,483	0,723	3,169	0,564	0,172	0,391
	Governador Valadares	4,417	1,973	3,560	1,538	0,101	0,391
	Viçosa	3,905	1,548	3,233	1,207	0,144	0,391
Triângulo Mineiro	Araxá	3,498	0,914	3,101	0,712	0,137	0,391
	Capinópolis	4,610	0,765	4,278	0,596	0,133	0,391
	Patos de Minas	4,419	1,204	3,896	0,939	0,182	0,391
	Uberaba	4,650	1,382	4,050	1,077	0,075	0,391
	Uberlândia	4,194	1,098	3,717	0,856	0,290	0,391
Centro	Bambuí	4,019	1,204	3,497	0,938	0,061	0,391

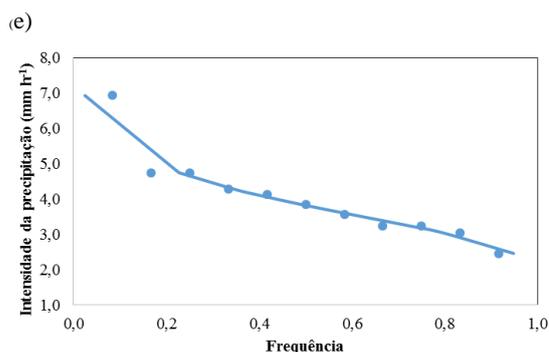
Belo Horizonte	4,535	1,201	4,013	0,936	0,094	0,391
Sete Lagoas	3,857	1,076	3,389	0,839	0,126	0,391

Fonte: Do autor (2019).

A Figura 2 apresenta as frequências teóricas e observadas versus a intensidade de precipitação da chuva de 24h para as cidades de Arinos, na região Norte, Barbacena, na região Sul, Aimorés, na região Leste, Araxá, na região do Triângulo Mineiro e Bambuí, na região Central. Nas referidas figuras é possível observar um bom ajuste dos dados observados e teóricos, confirmando a adequação da distribuição probabilística de Gumbel.

Figura 2. Frequência teórica e observada da intensidade de precipitação de 24h para a estação de Arinos (a), localizada na região Norte de Minas Gerais, Barbacena (b), localizada na região Sul de Minas Gerais, Aimorés (c), localizada na região Leste de Minas Gerais, Araxá (d), localizada na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais e Bambuí, localizada na região Central de Minas Gerais (e).





Fonte: Do autor (2019).

A Tabela 5 apresenta os parâmetros de ajuste da relação IDF obtidos pela ferramenta Solver. A partir da tabela, é possível observar um excelente ajuste da relação intensidade-duração-frequência, com todos os coeficientes de correlação ( $r^2$ ) acima de 0,998. A Figura 7 mostra o excelente ajuste entre a intensidade de precipitação observada e a intensidade de precipitação estimada para as estações de Arinos, localizada na região Norte de Minas Gerais, Barbacena, localizada na região Sul de Minas Gerais, Aimorés, localizada na região Leste de Minas Gerais, Araxá, localizada na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais e Bambuí, localizada na região Central de Minas Gerais.

Tabela 5. Parâmetros de ajuste da relação IDF para as 28 estações analisadas.

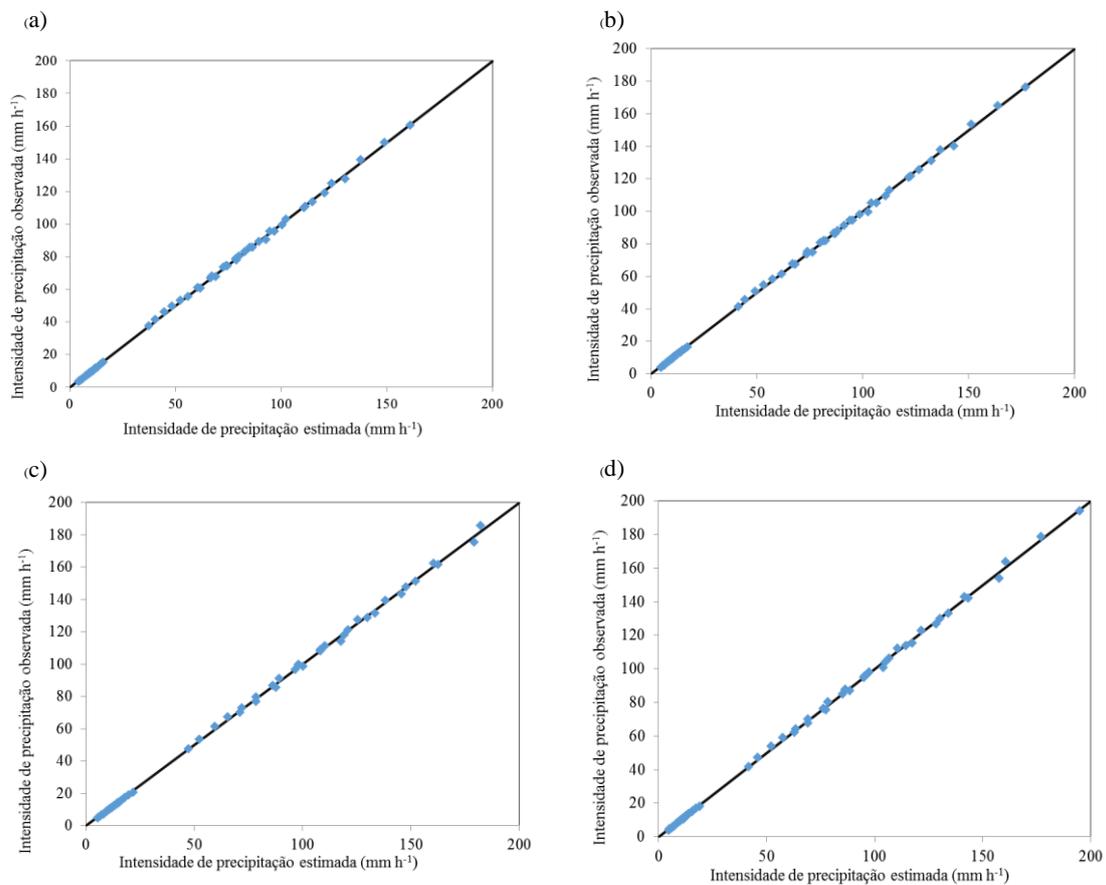
Região	Estação	K	a	b	c	$r^2$
Norte	Arinos	665,7767	0,1134	9,7128	0,7225	0,9996*
	Diamantina	915,2727	0,1759	9,7393	0,7232	0,9991*
	Espinosa	659,7670	0,1401	9,7551	0,7234	0,9994*
	Formoso	831,3109	0,1231	9,7325	0,7228	0,9995*
	Januária	780,9792	0,1514	9,7258	0,7229	0,9993*
	João Pinheiro	728,2848	0,1463	9,7483	0,7233	0,9994*
	Montes Claros	625,6665	0,1494	9,7459	0,7232	0,9994*
	Paracatu	874,2528	0,1182	9,6949	0,7219	0,9996*
	Pirapora	841,9882	0,1331	9,7842	0,7242	0,9995*
	Salinas	672,8783	0,1632	9,8124	0,7251	0,9993*
Sul	Teófilo Otoni	692,5636	0,1892	9,7827	0,7242	0,9989*
	Unaí	849,1892	0,1406	9,7342	0,7227	0,9995*
	Barbacena	739,6669	0,1119	9,7480	0,7234	0,9996*
	Caxambu	679,2711	0,1472	9,7529	0,7235	0,9994*
Leste	Lavras	975,7847	0,1776	10,2420	0,7348	0,9991*
	Machado	724,1314	0,1639	9,7752	0,7240	0,9993*
	Aimorés	804,1802	0,1391	9,7376	0,7226	0,9995*

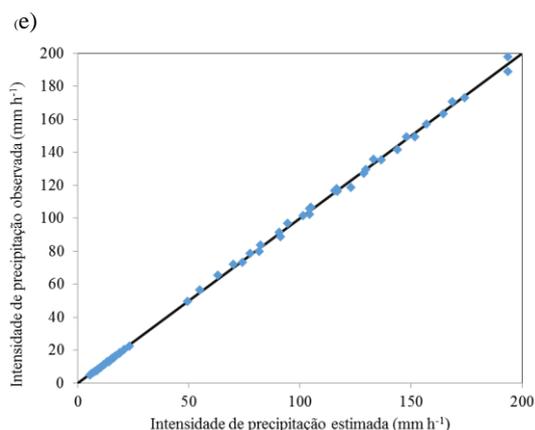
	Caratinga	712,2680	0,1188	9,7500	0,7234	0,9996*
	Governador Valadares	946,7398	0,1912	9,7301	0,7228	0,9989*
	Viçosa	828,6043	0,1792	9,7610	0,7236	0,9991*
Triângulo Mineiro	Araxá	718,8450	0,1390	9,7423	0,7230	0,9995*
	Capinópolis	944,7637	0,1008	9,7832	0,7241	0,9997*
	Patos de Minas	914,2143	0,1428	9,7786	0,7241	0,9995*
	Uberaba	964,9728	0,1510	9,7674	0,7238	0,9994*
	Uberlândia	862,9791	0,1392	9,7485	0,7233	0,9995*
Centro	BambuÍ	834,6286	0,1517	9,7729	0,7239	0,9994*
	Belo Horizonte	932,6366	0,1402	9,7374	0,7231	0,9995*
	Sete Lagoas	799,0404	0,1450	9,7836	0,7242	0,9994*

\*Significativo no teste F de variância.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 7. Intensidade de precipitação estimada pela distribuição de Gumbel ( $\text{mm h}^{-1}$ ) e estimada pelas relações IDF ajustadas ( $\text{mm h}^{-1}$ ) para a estação de Arinos (a), localizada na região Norte de Minas Gerais, Barbacena (b), localizada na região Sul de Minas Gerais, Aimorés (c), localizada na região Leste de Minas Gerais, Araxá (d), localizada na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais e Bambuí, localizada na região Central de Minas Gerais (e).





Fonte: Do autor (2019).

Para a verificação das equivalências estatísticas entre as amostras formadas pelas intensidades de precipitação estimadas pelos diferentes métodos e as estimadas a partir das relações IDF apresentadas por Pinto (1995), foi empregado o teste F de variâncias. A análise estatística empregada para comparação das respostas de pares de equações IDF, conduzida com auxílio do teste, foi realizada para períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos e durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 min. A Tabela 6 apresenta as estatísticas de p-valor calculados a partir do software livre Gretl para a verificação da normalidade dos dados, condição básica para o emprego do teste. Para que a normalidade seja verificada, o valor de p deve ser maior que 0,05, para, pelo menos, um dos testes empregados em cada amostra.

Tabela 6. Estatísticas dos testes de normalidade para as amostras formadas pelas intensidades de precipitação estimadas para o período de retorno de 5 anos, de acordo com os diferentes métodos.

Tempo de duração (min)	Teste	Pinto (1995)	Gumbel (Solver)	Bell (Righetto, 1998)	Bell (Mello et al. 2003)
		p-valor	p-valor	p-valor	p-valor
5	Doornik-Hansen	0,272	0,562	0,137	0,077
	Shapiro-Wilk	0,248	0,456	0,089	0,025
	Lilliefors	0,490	0,690	0,350	0,070
	Jarque-Bera	0,448	0,553	0,350	0,233
10	Doornik-Hansen	0,675	0,561	0,137	0,889
	Shapiro-Wilk	0,513	0,460	0,089	0,583
	Lilliefors	0,020	0,690	0,350	0,800
	Jarque-Bera	0,676	0,553	0,350	0,737

15	Doornik-Hansen	0,516	0,560	0,137	0,818
	Shapiro-Wilk	0,714	0,461	0,089	0,471
	Lilliefors	0,380	0,690	0,350	0,310
	Jarque-Bera	0,692	0,553	0,350	0,655
20	Doornik-Hansen	0,374	0,560	0,137	0,646
	Shapiro-Wilk	0,730	0,462	0,089	0,467
	Lilliefors	0,840	0,690	0,350	0,630
	Jarque-Bera	0,580	0,553	0,350	0,579
25	Doornik-Hansen	0,336	0,560	0,137	0,529
	Shapiro-Wilk	0,591	0,462	0,089	0,423
	Lilliefors	0,600	0,690	0,350	0,320
	Jarque-Bera	0,509	0,553	0,350	0,532
30	Doornik-Hansen	0,337	0,561	0,137	0,453
	Shapiro-Wilk	0,466	0,462	0,089	0,391
	Lilliefors	0,600	0,690	0,350	0,200
	Jarque-Bera	0,479	0,553	0,350	0,502
60	Doornik-Hansen	0,415	0,563	0,137	0,291
	Shapiro-Wilk	0,532	0,459	0,089	0,233
	Lilliefors	0,580	0,690	0,350	0,090
	Jarque-Bera	0,512	0,554	0,350	0,435
360	Doornik-Hansen	0,970	0,578	0,137	0,186
	Shapiro-Wilk	0,658	0,482	0,089	0,144
	Lilliefors	0,780	0,670	0,350	0,230
	Jarque-Bera	0,790	0,559	0,350	0,382
480	Doornik-Hansen	0,878	0,582	0,137	0,180
	Shapiro-Wilk	0,585	0,492	0,089	0,137
	Lilliefors	1,000	0,660	0,350	0,220
	Jarque-Bera	0,695	0,560	0,350	0,379
600	Doornik-Hansen	0,751	0,585	0,137	0,180
	Shapiro-Wilk	0,458	0,500	0,089	0,137
	Lilliefors	1,000	0,660	0,350	0,220
	Jarque-Bera	0,626	0,561	0,350	0,379
720	Doornik-Hansen	0,645	0,588	0,137	0,174
	Shapiro-Wilk	0,436	0,505	0,089	0,129
	Lilliefors	0,890	0,660	0,380	0,250
	Jarque-Bera	0,579	0,562	0,350	0,375
1440	Doornik-Hansen	0,359	0,600	0,137	0,166
	Shapiro-Wilk	0,274	0,523	0,089	0,119
	Lilliefors	0,460	0,650	0,350	0,450
	Jarque-Bera	0,479	0,567	0,350	0,370

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 7. Estatísticas dos testes de normalidade para as amostras formadas pelas intensidades de precipitação estimadas para o período de retorno de 10 anos, de acordo com os diferentes métodos.

Tempo de duração (min)	Teste	Pinto (1995)	Gumbel (Solver)	Bell (Righetto, 1998)	Bell (Mello et al. 2003)
		p-valor	p-valor	p-valor	p-valor
5	Doornik-Hansen	0,109	0,605	0,137	0,077
	Shapiro-Wilk	0,113	0,548	0,089	0,025
	Lilliefors	0,080	0,740	0,350	0,070
	Jarque-Bera	0,348	0,604	0,350	0,233
10	Doornik-Hansen	0,284	0,601	0,137	0,889
	Shapiro-Wilk	0,162	0,549	0,089	0,583
	Lilliefors	0,070	0,730	0,350	0,800
	Jarque-Bera	0,390	0,602	0,350	0,737
15	Doornik-Hansen	0,183	0,600	0,137	0,818
	Shapiro-Wilk	0,228	0,549	0,089	0,471
	Lilliefors	0,250	0,730	0,350	0,310
	Jarque-Bera	0,211	0,602	0,350	0,655
20	Doornik-Hansen	0,121	0,600	0,137	0,646
	Shapiro-Wilk	0,187	0,549	0,089	0,467
	Lilliefors	0,310	0,730	0,350	0,630
	Jarque-Bera	0,111	0,602	0,350	0,579
25	Doornik-Hansen	0,100	0,600	0,137	0,529
	Shapiro-Wilk	0,143	0,550	0,089	0,423
	Lilliefors	0,330	0,730	0,350	0,320
	Jarque-Bera	0,079	0,602	0,350	0,532
30	Doornik-Hansen	0,092	0,601	0,137	0,453
	Shapiro-Wilk	0,100	0,550	0,089	0,391
	Lilliefors	0,290	0,730	0,350	0,200
	Jarque-Bera	0,071	0,602	0,350	0,502
60	Doornik-Hansen	0,108	0,605	0,137	0,291
	Shapiro-Wilk	0,057	0,549	0,089	0,233
	Lilliefors	0,290	0,740	0,350	0,090
	Jarque-Bera	0,120	0,604	0,350	0,435
360	Doornik-Hansen	0,810	0,630	0,137	0,186
	Shapiro-Wilk	0,539	0,539	0,089	0,144
	Lilliefors	1,000	0,780	0,350	0,230
	Jarque-Bera	0,746	0,615	0,350	0,382
480	Doornik-Hansen	0,792	0,635	0,137	0,180
	Shapiro-Wilk	0,596	0,546	0,089	0,137

	Lilliefors	1,000	0,546	0,350	0,220
	Jarque-Bera	0,678	0,617	0,350	0,379
600	Doornik-Hansen	0,670	0,639	0,137	0,180
	Shapiro-Wilk	0,540	0,551	0,089	0,137
	Lilliefors	0,870	0,800	0,350	0,220
	Jarque-Bera	0,604	0,619	0,350	0,379
720	Doornik-Hansen	0,549	0,642	0,137	0,174
	Shapiro-Wilk	0,432	0,555	0,089	0,129
	Lilliefors	0,860	0,800	0,350	0,250
	Jarque-Bera	0,549	0,621	0,350	0,375
1440	Doornik-Hansen	0,249	0,654	0,137	0,166
	Shapiro-Wilk	0,201	0,585	0,089	0,119
	Lilliefors	0,510	0,820	0,350	0,450
	Jarque-Bera	0,428	0,627	0,350	0,370

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 8. Estatísticas dos testes de normalidade para as amostras formadas pelas intensidades de precipitação estimadas para o período de retorno de 25 anos, de acordo com os diferentes métodos.

Tempo de duração (min)	Teste	Pinto (1995)	Gumbel (Solver)	Bell (Righetto, 1998)	Bell (Mello et al. 2003)
		p-valor	p-valor	p-valor	p-valor
5	Doornik-Hansen	0,132	0,461	0,137	0,077
	Shapiro-Wilk	0,083	0,409	0,089	0,025
	Lilliefors	0,080	0,440	0,350	0,070
	Jarque-Bera	0,337	0,543	0,350	0,233
10	Doornik-Hansen	0,134	0,457	0,137	0,889
	Shapiro-Wilk	0,047	0,407	0,089	0,583
	Lilliefors	0,090	0,440	0,350	0,800
	Jarque-Bera	0,171	0,540	0,350	0,737
15	Doornik-Hansen	0,066	0,456	0,137	0,818
	Shapiro-Wilk	0,038	0,406	0,089	0,471
	Lilliefors	0,110	0,440	0,350	0,310
	Jarque-Bera	0,040	0,539	0,350	0,655
20	Doornik-Hansen	0,039	0,455	0,137	0,646
	Shapiro-Wilk	0,030	0,405	0,089	0,467
	Lilliefors	0,420	0,440	0,350	0,630
	Jarque-Bera	0,013	0,539	0,350	0,579
25	Doornik-Hansen	0,029	0,456	0,137	0,529
	Shapiro-Wilk	0,017	0,405	0,089	0,423

	Lilliefors	0,140	0,440	0,350	0,320
	Jarque-Bera	0,007	0,539	0,350	0,532
30	Doornik-Hansen	0,024	0,456	0,137	0,453
	Shapiro-Wilk	0,012	0,456	0,089	0,391
	Lilliefors	0,050	0,440	0,350	0,200
	Jarque-Bera	0,005	0,540	0,350	0,502
60	Doornik-Hansen	0,021	0,460	0,137	0,291
	Shapiro-Wilk	0,008	0,408	0,089	0,233
	Lilliefors	0,360	0,440	0,350	0,090
	Jarque-Bera	0,010	0,542	0,350	0,435
360	Doornik-Hansen	0,479	0,481	0,137	0,186
	Shapiro-Wilk	0,339	0,413	0,089	0,144
	Lilliefors	0,790	0,440	0,350	0,230
	Jarque-Bera	0,559	0,556	0,350	0,382
480	Doornik-Hansen	0,574	0,484	0,137	0,180
	Shapiro-Wilk	0,574	0,422	0,089	0,137
	Lilliefors	0,840	0,440	0,350	0,220
	Jarque-Bera	0,604	0,559	0,350	0,379
600	Doornik-Hansen	0,532	0,487	0,137	0,180
	Shapiro-Wilk	0,553	0,429	0,089	0,137
	Lilliefors	0,890	0,440	0,350	0,220
	Jarque-Bera	0,567	0,561	0,350	0,379
720	Doornik-Hansen	0,439	0,489	0,137	0,174
	Shapiro-Wilk	0,466	0,435	0,089	0,129
	Lilliefors	0,770	0,440	0,350	0,250
	Jarque-Bera	0,518	0,562	0,350	0,375
1440	Doornik-Hansen	0,151	0,497	0,137	0,166
	Shapiro-Wilk	0,120	0,453	0,089	0,119
	Lilliefors	0,170	0,440	0,350	0,450
	Jarque-Bera	0,377	0,568	0,350	0,370

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 9. Estatísticas dos testes de normalidade para as amostras formadas pelas intensidades de precipitação estimadas para o período de retorno de 50 anos, de acordo com os diferentes métodos.

Tempo de duração (min)	Teste	Pinto (1995)	Gumbel (Solver)	Bell (Righetto, 1998)	Bell (Mello et al. 2003)
		p-valor	p-valor	p-valor	p-valor
5	Doornik-Hansen	0,196	0,338	0,137	0,077
	Shapiro-Wilk	0,111	0,307	0,089	0,025
	Lilliefors	0,130	0,310	0,350	0,070

	Jarque-Bera	0,342	0,441	0,350	0,233
10	Doornik-Hansen	0,107	0,335	0,137	0,889
	Shapiro-Wilk	0,071	0,304	0,089	0,583
	Lilliefors	0,380	0,300	0,350	0,800
	Jarque-Bera	0,105	0,439	0,350	0,737
15	Doornik-Hansen	0,048	0,334	0,137	0,818
	Shapiro-Wilk	0,032	0,302	0,089	0,471
	Lilliefors	0,160	0,300	0,350	0,310
	Jarque-Bera	0,019	0,438	0,350	0,655
20	Doornik-Hansen	0,028	0,334	0,137	0,646
	Shapiro-Wilk	0,012	0,302	0,089	0,467
	Lilliefors	0,100	0,300	0,350	0,630
	Jarque-Bera	0,005	0,438	0,350	0,579
25	Doornik-Hansen	0,019	0,334	0,137	0,529
	Shapiro-Wilk	0,008	0,302	0,089	0,423
	Lilliefors	0,060	0,300	0,350	0,320
	Jarque-Bera	0,002	0,438	0,350	0,532
30	Doornik-Hansen	0,015	0,334	0,137	0,453
	Shapiro-Wilk	0,007	0,302	0,089	0,391
	Lilliefors	0,070	0,300	0,350	0,200
	Jarque-Bera	0,001	0,438	0,350	0,502
60	Doornik-Hansen	0,010	0,337	0,137	0,291
	Shapiro-Wilk	0,005	0,305	0,089	0,233
	Lilliefors	0,050	0,300	0,350	0,090
	Jarque-Bera	0,002	0,440	0,350	0,435
360	Doornik-Hansen	0,291	0,556	0,137	0,186
	Shapiro-Wilk	0,216	0,313	0,089	0,144
	Lilliefors	0,660	0,340	0,350	0,230
	Jarque-Bera	0,382	0,451	0,350	0,382
480	Doornik-Hansen	0,409	0,354	0,137	0,180
	Shapiro-Wilk	0,339	0,317	0,089	0,137
	Lilliefors	0,720	0,350	0,350	0,220
	Jarque-Bera	0,508	0,453	0,350	0,379
600	Doornik-Hansen	0,426	0,356	0,137	0,180
	Shapiro-Wilk	0,424	0,323	0,089	0,137
	Lilliefors	0,530	0,360	0,350	0,220
	Jarque-Bera	0,525	0,454	0,350	0,379
720	Doornik-Hansen	0,376	0,358	0,137	0,174
	Shapiro-Wilk	0,411	0,328	0,089	0,129
	Lilliefors	0,680	0,360	0,350	0,250
	Jarque-Bera	0,498	0,455	0,350	0,375
1440	Doornik-Hansen	0,114	0,362	0,137	0,166
	Shapiro-Wilk	0,088	0,345	0,089	0,119

Lilliefors	0,210	0,380	0,350	0,450
Jarque-Bera	0,356	0,459	0,350	0,370

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 10. Estatísticas dos testes de normalidade para as amostras formadas pelas intensidades de precipitação estimadas para o período de retorno de 100 anos, de acordo com os diferentes métodos.

Tempo de duração (min)	Teste	Pinto (1995)	Gumbel (Solver)	Bell (Righetto, 1998)	Bell (Mello et al. 2003)
		p-valor	p-valor	p-valor	p-valor
5	Doornik-Hansen	0,233	0,245	0,137	0,077
	Shapiro-Wilk	0,146	0,257	0,089	0,025
	Lilliefors	0,040	0,370	0,350	0,070
	Jarque-Bera	0,328	0,340	0,350	0,233
10	Doornik-Hansen	0,094	0,243	0,137	0,889
	Shapiro-Wilk	0,101	0,255	0,089	0,583
	Lilliefors	0,260	0,370	0,350	0,800
	Jarque-Bera	0,075	0,338	0,350	0,737
15	Doornik-Hansen	0,043	0,334	0,137	0,818
	Shapiro-Wilk	0,047	0,302	0,089	0,471
	Lilliefors	0,480	0,300	0,350	0,310
	Jarque-Bera	0,012	0,438	0,350	0,655
20	Doornik-Hansen	0,025	0,242	0,137	0,646
	Shapiro-Wilk	0,020	0,253	0,089	0,467
	Lilliefors	0,090	0,370	0,350	0,630
	Jarque-Bera	0,003	0,337	0,350	0,579
25	Doornik-Hansen	0,018	0,242	0,137	0,529
	Shapiro-Wilk	0,010	0,254	0,089	0,423
	Lilliefors	0,060	0,370	0,350	0,320
	Jarque-Bera	0,001	0,337	0,350	0,532
30	Doornik-Hansen	0,014	0,242	0,137	0,453
	Shapiro-Wilk	0,007	0,254	0,089	0,391
	Lilliefors	0,080	0,370	0,350	0,200
	Jarque-Bera	0,001	0,337	0,350	0,502
60	Doornik-Hansen	0,008	0,244	0,137	0,291
	Shapiro-Wilk	0,004	0,257	0,089	0,233
	Lilliefors	0,050	0,370	0,350	0,090
	Jarque-Bera	0,001	0,339	0,350	0,435
360	Doornik-Hansen	0,178	0,255	0,137	0,186
	Shapiro-Wilk	0,151	0,266	0,089	0,144

	Lilliefors	0,630	0,390	0,350	0,230
	Jarque-Bera	0,237	0,346	0,350	0,382
480	Doornik-Hansen	0,284	0,257	0,137	0,180
	Shapiro-Wilk	0,295	0,268	0,089	0,137
	Lilliefors	0,790	0,390	0,350	0,220
	Jarque-Bera	0,395	0,347	0,350	0,379
	Doornik-Hansen	0,334	0,258	0,137	0,180
600	Shapiro-Wilk	0,312	0,273	0,089	0,137
	Lilliefors	0,620	0,390	0,350	0,220
	Jarque-Bera	0,464	0,347	0,350	0,379
	Doornik-Hansen	0,324	0,259	0,137	0,174
720	Shapiro-Wilk	0,321	0,277	0,089	0,129
	Lilliefors	0,420	0,390	0,350	0,250
	Jarque-Bera	0,471	0,348	0,350	0,375
	Doornik-Hansen	0,101	0,262	0,137	0,166
1440	Shapiro-Wilk	0,086	0,293	0,089	0,119
	Lilliefors	0,200	0,390	0,350	0,450
	Jarque-Bera	0,348	0,349	0,350	0,370
	Doornik-Hansen	0,101	0,262	0,137	0,166

Fonte: Do autor (2019).

Nas Tabelas de 11 a 15 estão sumarizados os resultados decorrentes da aplicação do Teste F de variância para comparação pareada das respostas produzidas pelas equações propostas por Pinto et al (1995) e equações estabelecidas a partir dos métodos de Gumbel e Bell para o estado de Minas Gerais.

A partir da Tabela 11, é possível observar que, para o período de retorno de 5 anos, as equivalências entre as intensidades pluviométricas estimadas a partir das equações definidas pelo distribuição de Gumbel e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) foram observadas para tempos de duração de até 60 minutos. As estimadas pelo método de Bell utilizando os coeficientes propostos por Righetto (1998) e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) foram observadas para tempos de duração de até 480 minutos. As estimadas pelo método de Bell utilizando os coeficientes proposto por Mello et al. (2003) e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) apresentaram equivalência estatística para tempos de duração até 600 minutos, com exceção as intensidades estimadas para tempo de duração de 480 minutos.

Tabela 11. Resultado da aplicação do teste F de variância para intensidades pluviométricas associadas ao período de retorno de 5 anos para Minas Gerais.

Duração (min)	Métodos Pareados	F <sub>estat</sub>	F <sub>crítico</sub>	
5	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,39	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,06	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,08	2,16	Aceita Ho
10	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,40	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,09	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,53	2,16	Aceita Ho
15	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,29	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,00	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,30	2,16	Aceita Ho
20	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,15	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,12	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,13	2,16	Aceita Ho
25	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,04	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,24	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,00	2,16	Aceita Ho
30	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,06	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,35	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,10	2,16	Aceita Ho
60	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,63	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,74	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,53	2,16	Aceita Ho
360	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,20	2,16	Rejeita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,00	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,15	2,16	Aceita Ho
480	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,41	2,16	Rejeita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,09	2,16	Aceita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,34	2,16	Rejeita Ho
600	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,60	2,16	Rejeita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,18	2,16	Rejeita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,84	2,16	Aceita Ho
720	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,77	2,16	Rejeita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,27	2,16	Rejeita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,70	2,16	Rejeita Ho
1440	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,59	2,16	Rejeita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,65	2,16	Rejeita Ho
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,54	2,16	Rejeita Ho

Fonte: Do autor (2019).

A Tabela 12 mostra que, para o período de retorno de 10 anos, as equivalências entre as intensidades pluviométricas estimadas a partir das equações definidas pelo distribuição de Gumbel e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF

estabelecidas por Pinto (1995) foram observadas para tempos de duração de até 60 minutos. As estimadas pelo método de Bell utilizando os coeficientes propostos por Righetto (1998) e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) foram observadas para tempos de duração de até 480 minutos. As estimadas pelo método de Bell utilizando os coeficientes proposto por Mello et al. (2003) e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) apresentaram equivalência estatística para tempos de duração até 60 minutos, com exceção as intensidades estimadas para tempo de duração de 480 minutos.

Tabela 12. Resultado da aplicação do teste F de variância para intensidades pluviométricas associadas ao período de retorno de 10 anos para Minas Gerais.

Duração (min)	Métodos Pareados	F <sub>estat</sub>	F <sub>crítico</sub>	
5	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,16	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,10	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,77	2,16	Aceita H0
10	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,13	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,11	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,25	2,16	Aceita H0
15	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,03	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,23	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,06	2,16	Aceita H0
20	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,08	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,37	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,09	2,16	Aceita H0
25	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,20	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,50	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,22	2,16	Aceita H0
30	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,30	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,62	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,33	2,16	Aceita H0
60	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,73	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,01	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,76	2,16	Aceita H0
360	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,38	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,12	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,29	2,16	Rejeita H0
480	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,57	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,18	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,46	2,16	Rejeita H0

600	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,75	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,25	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,92	2,16	Aceita H0
720	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,92	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,33	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,80	2,16	Rejeita H0
1440	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,73	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,68	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,61	2,16	Rejeita H0

Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 13, verifica-se que, para o período de retorno de 25 anos, as equivalências entre as intensidades pluviométricas estimadas a partir das equações definidas pelo distribuição de Gumbel e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) foram observadas para tempos de duração de até 10 minutos. As estimadas pelo método de Bell utilizando os coeficientes propostos por Righetto (1998) e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) foram observadas para tempos de duração de até 20 minutos. As estimadas pelo método de Bell utilizando os coeficientes proposto por Mello et al. (2003) e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) apresentaram equivalência estatística para tempos de duração até 30 minutos

Tabela 13. Resultado da aplicação do teste F de variância para intensidades pluviométricas associadas ao período de retorno de 25 anos para Minas Gerais.

Duração (min)	Métodos Pareados	F <sub>estat</sub>	F <sub>crítico</sub>	
5	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,14	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,55	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,24	2,16	Aceita H0
10	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,74	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,63	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,19	2,16	Aceita H0
15	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,40	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	1,83	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,42	2,16	Aceita H0
20	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,14	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,03	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,62	2,16	Aceita H0
25	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,93	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,20	2,16	Rejeita H0

	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,80	2,16	Aceita H0
30	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	4,77	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,35	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,95	2,16	Aceita H0
60	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,24	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,78	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,45	2,16	Rejeita H0
360	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,70	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,56	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,79	2,16	Rejeita H0
480	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,85	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,57	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,93	2,16	Rejeita H0
600	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,00	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,62	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,25	2,16	Rejeita H0
720	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,15	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,67	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,24	2,16	Rejeita H0
1440	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,89	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,98	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	4,05	2,16	Rejeita H0

De acordo com a Tabela 14, observa-se que, para o período de retorno de 50 anos, as equivalências entre as intensidades pluviométricas estimadas a partir das equações definidas pela distribuição de Gumbel e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) foram observadas para tempos de duração de até 25 minutos. As estimadas pelo método de Bell utilizando os coeficientes propostos por Righetto (1998) e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) foram observadas apenas para tempos de duração de 5 minutos. As estimadas pelo método de Bell utilizando os coeficientes proposto por Mello et al. (2003) e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) apresentaram equivalência estatística para tempos de duração até 15 minutos.

Tabela 14. Resultado da aplicação do teste F de variância para intensidades pluviométricas associadas ao período de retorno de 50 anos para Minas Gerais.

Duração (min)	Métodos Pareados	F <sub>estat</sub>	F <sub>crítico</sub>	
5	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,42	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,13	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,11	2,16	Aceita H0
10	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,57	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,31	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,68	2,16	Aceita H0
15	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,75	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,60	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,03	2,16	Aceita H0
20	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,94	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	2,8z	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,31	2,16	Rejeita H0
25	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,10	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,09	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,54	2,16	Rejeita H0
30	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,25	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,28	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,73	2,16	Rejeita H0
60	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,75	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,76	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,33	2,16	Rejeita H0
360	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,03	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,15	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,45	2,16	Rejeita H0
480	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,13	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,11	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,56	2,16	Rejeita H0
600	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,25	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,12	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,69	2,16	Rejeita H0
720	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,38	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,15	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,84	2,16	Rejeita H0
1440	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	4,04	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,40	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	4,64	2,16	Rejeita H0

Fonte: Do autor (2019).

Por meio da Tabela 15, verifica-se que, para o período de retorno de 10 anos, as equivalências entre as intensidades pluviométricas estimadas a partir das equações definidas pelo distribuição de Gumbel e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) foram observadas para tempos de duração de até 10 minutos. Não foram observadas equivalências entre as estimadas pelo método de Bell utilizando os coeficientes propostos por Righetto (1998) e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995). As estimadas pelo método de Bell utilizando os coeficientes proposto por Mello et al. (2003) e aquelas apropriadas com o auxílio das equações IDF estabelecidas por Pinto (1995) apresentaram equivalência estatística apenas para o tempo de duração 60 minutos.

Tabela 15. Resultado da aplicação do teste F de variância para intensidades pluviométricas associadas ao período de retorno de 100 anos para Minas Gerais.

Duração (min)	Métodos Pareados	F <sub>estat</sub>	F <sub>crítico</sub>	
5	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	1,78	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,02	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	1,58	2,16	Aceita H0
10	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,00	2,16	Aceita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,34	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,45	2,16	Rejeita H0
15	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,25	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,77	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	2,95	2,16	Rejeita H0
20	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,47	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	4,14	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,35	2,16	Rejeita H0
25	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,67	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	4,45	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,66	2,16	Rejeita H0
30	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	2,84	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	4,69	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,92	2,16	Rejeita H0
60	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,38	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	5,25	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	4,66	2,16	Rejeita H0
360	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,43	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	4,05	2,16	Rejeita H0

	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	4,46	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,49	2,16	Rejeita H0
480	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,93	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	4,52	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,57	2,16	Rejeita H0
600	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,88	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	3,36	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	3,66	2,16	Rejeita H0
720	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	3,88	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	4,74	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Gumbel (Solver)	4,23	2,16	Rejeita H0
1440	Pinto (1995) - Bell (Righetto, 1998)	4,04	2,16	Rejeita H0
	Pinto (1995) - Bell (Mello et al. 2003)	5,54	2,16	Rejeita H0

Fonte: Do autor (2019).

Como os dados analisados têm um intervalo de observação pequeno (1983-1993), a tendência das funções teóricas utilizadas é não distanciar tanto as intensidades observadas das estimadas. Quando aumenta-se o período de retorno, pode ser que num horizonte maior, como 50 e 100 anos, embora a distribuição de Gumbel tenha uma boa aderência aos dados, a tendência dessas funções é distanciar ainda mais, o que pode ocorrer quando se trabalha com períodos de retorno maiores.

Então, com períodos de retorno muito grandes, extrapola-se os anos da série história (1983-1993) utilizada nesse trabalho. Como foram usadas funções teóricas, em tese, a distribuição de Gumbel se adequa aos dados, mas nem sempre se aproxima do esperado. Além disso, as metodologias utilizadas podem apresentar imperfeições. Isso explica o mau desempenho das equivalências estatísticas e as rejeições da hipótese  $H_0$  para os períodos de retorno de 50 e 100 anos.

## 6. CONCLUSÕES

As intensidades estimadas pelas relações IDF geradas pelo método de Gumbel apresentaram bom desempenho quando comparadas com as propostas por Pinto (1995), para os períodos de retorno de 5 e 10 anos e tempo de duração de até 60 minutos. Para os demais períodos de retorno estudados, apresentaram bom desempenho apenas para tempos de duração de até 10 minutos, para os períodos de retorno de 25 e 100 anos e 25

minutos para 50 anos.

As intensidades estimadas pelo método de Bell, utilizando parâmetros ajustados por Righetto (1998) apresentaram bom desempenho quando comparadas com as propostas por Pinto (1995) para os períodos de retorno de 5 e 10 anos e tempos de duração de 480 e 360 minutos, respectivamente. Para os demais períodos de retorno estudados, não apresentaram bom desempenho, sendo as equivalências observadas apenas para tempo de duração de até 20 minutos para o período de retorno de 25 anos, de até 5 minutos para o período de retorno de 50 anos e não apresentaram equivalência em nenhum tempo de duração para o período de retorno de 100 anos. As intensidades estimadas pelo método de Bell a partir dos parâmetros propostos por Mello et al. (2003) apresentaram bom desempenho para períodos de retorno de 5 e 10 anos. Para os demais períodos de retorno estudados, não apresentaram bom desempenho.

## REFERÊNCIAS

ALILA, Y. Regional rainfall depth duration frequency equations for Canada. **Water Resources Research**, v. 36, n. 7, p. 1767-1778, 2000.

AMORIM, R.C.F. Espacialização de variáveis meteorológicas em áreas de relevo ondulado na bacia do Rio Doce. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

ANA - **Agência Nacional das Águas**. Disponível em: <<http://ana.gov.br>>. Acesso em: 02 Novembro de 2019.

ARAGÃO, R.; SANTANA, G.R.; COSTA, C.E.F.F.; CRUZ, M.A.S.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S. Chuvas intensas para o Estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.3, p.243-252, 2013.

ARAÚJO, Lincoln Eloi de et al. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Campina Grande, v. 23, n. 2, p.162-169, 2008.

Back, A. J.; Oliveira, J. L. R.; Henn, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes 41 durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.391–398, 2012.

BARBOSA, F. A. R. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

CAMPOS, A.R.; SANTOS, G.G.; SILVA, J.B.L.; IRENE FILHO, J.; LOURA, D.S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.45, n.3, p.488-498, 2014.

CAMPOS, A.R.; SANTOS, G.G.; SILVA, S.B.C.; FILHO, J. I.; LOURA, D. S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuva para o estado do Piauí. **Revista Ciência e Agronomia**, v. 45, n.3, p. 488-498, 2014.

CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.501-504, 2003.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana – Manual de projeto**. 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986, 464p.

COSTA, A.R.; BRITO, V.F. Equações de chuva intensa para Goiás e sul de Tocantins. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999. Belo Horizonte. **Anais [...]** Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999.

COUTINHO, A. P.; SILVA, F.B; SILVA, R.O; ANTONINO, A.C.D; MONTENEGRO, S.M.G.L. Determinação de equações de chuvas intensas para municípios das mesorregiões do estado de Pernambuco com dados pluviométricos. In SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, Fortaleza, 2010. **Anais [...]** Fortaleza, 2010. p. 1-20.

CRUCIANI, Décio E.; MACHADO, Ronalton E.; SENTELHAS, Paulo C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p.76-82, 2002.

DAVIS, E.G.; NAGHETTINI, M.C. **Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro**. 2. ed. Brasília: CPRM, 2000. 50p.

DENARDIN, J.E.; FREITAS, P.L.; WÜNSCHE, W.A.; WENDT, W. Características fundamentais da chuva no Brasil: I, Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, n.4, p.419-421, 1980.

De Sá Júnior, A, L. G., Da Silva, F. F., & de Carvalho Alves, M. (2012) Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, n. 1-2, p. 1–7, 27

Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 735-741, 2014.

ELTZ, F.L. *et al.* Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 265-269, 1992.

FCTH — Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. Prefeitura Municipal de São Paulo, Secretaria de Vias Públicas: São Paulo, 1999, 289p.

FECHINE SOBRINHO, V. **Aplicação do método das isozonas na obtenção das Equações IDF de chuvas intensas dos municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha e Crato, CE**. 2011. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, 2011.

FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. Curitiba: Champagnat, 1998. 99p.

FERREIRA, J. C.; DANIEL, L. A.; TOMAZELA, M. Parâmetros para equações mensais de estimativas de precipitação de intensidade máxima para o Estado de São Paulo - Fase I. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 6, 2005.

FRANCO, C. S.; MARQUES, R. F. P. V.; OLIVEIRA, A. S.; OLIVEIRA, L. F. C. FREITAS, A.J.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa, MG: Ed. UFV, 2001. 65p.

GARCIA, S. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; STOPA, W. H. Determinação de equações intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p. 575-581, 2011.

GENOVEZ, A. M.; **Vazões Máximas**. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacia Hidrográficas. Porto Alegre, 2003, 628p.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO.A.C. Chuvas intensas no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v .5, n. 3, p. 45-58, 2000.

LOU, F. R. **Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do rio Piabanha/RJ**. 2010. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MARTINEZ JUNIOR, F.; MAGNI, N.L.G. **Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE-CTH, 1999. 124p.

MELLO, Carlos Rogério de et al. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p.121-128, 2003.

MELLO, Carlos Rogério de; SILVA, Antônio Marciano da. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p.68-74, 2009.

MELLO, L. T. A. **Avaliação de metodologias para obtenção dos parâmetros do modelo de Green-Ampt modificado por Mein e Larson**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Viçosa: UFV, 2003.

MESQUITA, Wilson Oliveira; GRIEBELER, Nori Paulo; OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho de. Precipitações máximas diárias esperadas para as regiões central e sudeste de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, Go, v. 39, n. 2, p.73-81, 2009.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero; BERNARDO, Sergio de Oliveira. **Dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro**. Departamento de Meteorologia - UFAL, Maceió, 2000.

NERILO, N.; MEDEIROS, P.A.; CORDERO, A. **Chuvas intensas no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: UFSC/EDIFURB, 2002. 156p.

OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C. A., GRIEBELER, N. P. Estimativas de chuvas intensas para o estado de Goiás. **Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.28, n.1, p.22-33, jan./mar. 2008.

OLIVEIRA, L.F.C. VIOLA, M.R.; PEREIRA, S.; MORAIS, N.R. Modelos de predição de chuvas intensas para o Estado do Mato Grosso, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.6, n.3, p.274-290, 2011.

OLIVEIRA, L.F.C.; ANTONINI, J.C.A.; FIOREZE, A.P.; SILVA, M.A.S. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.620-625, 2008.

OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; BARBOSA, F.O.A.; ROMÃO, P.A.; CARVALHO, D.F. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.30, n.1, p.23-27, 2000.

OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; WEHR, T.R. BORGES, L.B.; SARMENTO, P.H. L.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, DF, v.35, n.1, p.13-18, 2005.

OVERREM, A.; BUIHAND, A.; HOLLEMAN, I.; Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. **Journal of Hidrology**, v. 348, p. 124-134, 2008.

PENNER, Giovanni Chaves; NASCIMENTO, Cleiber Roberto Pacífico do. Análise estatística da precipitação máxima diária para Franca - SP, com o propósito da curva IDF. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Franca, v. 20, n. 1, p.6-10, 2008.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Brasília, DF: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1957. 246p.

PINTO, F.A. **Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

PINTO, F.A.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F.; ALVES, A.R.; CECON, P.R. Estimativa de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais utilizando registros diários. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.2, p.8-21, 1996.

REIS, J. A. Tosta; GUIMARAES, M. A.; BARRETO NETO, A. A.; BRINGHENTI, J. R. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação de vazão dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Itabapoana. **Geociências**, v. 27, p. 509-516, 2008.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, T. S.; LOBATO, F. A. O. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para localidades de fortaleza e pentecoste. **Scientia Agraria**, v.9, n.4, p. 511-519, Curitiba, 2008.

SANTOS, G. G.; FIGUEIREDO, C. C.; OLIVEIRA, L. F. C. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p.899-905, 2009.

SANTOS, G.G.; FIGUEIREDO, C.C.; OLIVEIRA, L.F.C.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.899-905, 2009.

SANTOS, L. C. C. **Estimativas de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos**. 2010. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

SILVA, B.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, F.B.; ARAÚJO FILHO, P.F. Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, n.3, p.135-147, 2012.

SILVA, D.D.; FILHO, R.R.G.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F. Chuvas intensas no estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.362-367, 2000.

SILVA, D.D.; GOMES FILHO, R.R.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.362-367, 2002.

SILVA, D.D.; PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; GOMES FILHO, R.R.; LANA, A.M.Q.; BAENA, L.G.N. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins. **Engenharia na Agricultura**, v.11, n.4, p.1-8, 2003.

SINGH, V. P.; ZHANG, L. IDF curves using the Frank Archimedean copula. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 12, n. 6, p. 651-662, 2007.

THEBALDI, M. S. Análise estatística da precipitação máxima diária anual da cidade de Uberaba e vazão mínima diária anual do Rio Uberaba. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, n. 3, 2012.

TORRICO, J. J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon. 120p, 1974.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 3<sup>a</sup> ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. **Drenagem urbana**. Editora da Universidade UFRGS. Porto Alegre: ABRH, 1995.

VISSMAN JUNIOR, W.; HARBAUGH, T. E.; KNAPP, J. W. Introduction to hydrology. **New York, Intext Educational**, 1972, 612p.