



**ITALOEMA PINHEIRO BELLO**

**REGIONALIZAÇÃO DE CHUVA INTENSA PARA O ESTADO  
DE MINAS GERAIS**

**LAVRAS-MG  
2018**

**ITALOEMA PINHEIRO BELLO**

**REGIONALIZAÇÃO DE CHUVA INTENSA PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Bello, Italoema Pinheiro.

Regionalização de chuva intensa para o estado de Minas  
Gerais: Relações IDF e Index-Flood / Italoema Pinheiro Bello. -  
2018.

71 p.

Orientador(a): Luiz Fernando Coutinho de Oliveira.

Coorientador(a): Marcelo Vieira Filho.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Hidrologia Estatística. 2. Regionalização de Chuvas. 3.  
Chuvas Intensas. I. de Oliveira, Luiz Fernando Coutinho. II. Vieira  
Filho, Marcelo.

**ITALOEMA PINHEIRO BELLO**

**REGIONALIZAÇÃO DE CHUVA INTENSA PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS**

**REGIONALIZATION OF INTENSE RAIN FOR THE STATE OF MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso Pós-Graduação Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 12 de dezembro de 2018.

Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

UFLA

Dr. Marcelo Vieira Filho

UFLA

Dr. Marcelo Ribeiro Viola

UFLA

Dr. Daniel Fonseca de Carvalho

UFRRJ

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2018**

## **AGRADECIMENTOS**

Após o fechamento de um ciclo resta apenas agradecer a todos que contribuíam para que o objetivo fosse alcançado com sucesso. Aos meus pais, Wester e Walquíria, agradeço por todo incentivo durante este tempo e reconheço o esforço que fizeram para que a educação fosse a minha maior herança. Se hoje me sinto realizada, tenho certeza que para vocês este sentimento é ainda maior. Ao meu irmão Higor, agradeço a cumplicidade e afeto que foram aumentando conforme a maturidade chegava até nós. Agradeço também ao meu amor Dante, que foi fundamental nas horas mais difíceis com suas palavras de carinho e incentivo, a amizade acima de tudo é o que nos torna um casal unido e feliz. Aos meus orientadores, Coutinho e Marcelo, agradeço a troca de conhecimento e experiências que pudemos partilhar durante o mestrado, além de toda dedicação e tempo despendidos para que o projeto fosse realizado com sucesso. Agradeço ainda à Estephane, Flávia, Lucas, Christiano e Maria Clara que me ajudaram no projeto de alguma forma.

A todos os familiares e amigos meu muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

O estudo de chuvas intensas é importante para conhecer suas características espaciais e temporais, além de ser elemento essencial nas etapas iniciais de dimensionamento de obras hidráulicas e projetos de drenagem. Um dos maiores problemas na hidrologia estatística é a disponibilidade de séries históricas de pluviogramas longas ou ausência de informações locais. Existem alternativas para driblar tais problemas que são as técnicas que regionalizam a chuva. Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido visando regionalizar as intensidades de precipitação média máxima diária para o estado de Minas Gerais, obter as regiões homogêneas com os respectivos “Index-Flood” para suprir eventuais falhas locais nos dados hidrológicos. Para tal, foram empregadas 494 estações pluviométricas pertencentes à rede da Agência Nacional das Águas. Inicialmente foi analisada a aderência da distribuição de Gumbel às precipitações observadas, cujos parâmetros foram ajustados pelos métodos dos Momentos (MOM), Máxima Verossimilhança (MVS) e Momentos-L(MML). Os testes de aderência utilizados para verificar o ajuste da distribuição às series históricas foram Qui-Quadrado, Anderson-Darling e Filliben. Os métodos MVS e MML foram os que resultaram em melhores ajustes. Adotou-se os parâmetros ajustados pelo MML aplicados à distribuição de Gumbel para se estimar as intensidades de precipitação para diferentes tempos de duração e período de retorno, as quais foram empregadas nos ajustes das relações intensidade-duração-frequência (IDF). Verificou-se por meio do  $r^2$  que o ajuste das relações IDF se mostrou bastante satisfatório, visto que os valores se apresentaram próximos a 1,0. Numa segunda etapa o estado de Minas Gerais foi separado em regiões hidrologicamente homogêneas para obter seus respectivos “Index-Flood” em função dos tempos de retorno e duração visando contribuir com a estimativa das chuvas de projeto. A separação das regiões homogêneas foi feita pela análise cluster com agrupamentos k-médias, gerando um total de três grupos no estado. Para cada grupo foram geradas as relações IDF regionais, que relacionadas aos valores de intensidade de precipitação para diversos tempos de duração resultaram no “Index-Flood”. Posteriormente, foram obtidas as equações regionais de variável dependente, que associadas ao “Index-Flood” e o valor de precipitação local, que possibilitam a obtenção da chuva de projeto local utilizada para os dimensionamentos hidráulicos. Os ajustes dessas equações foram avaliados pelo coeficiente de determinação, sendo que para todas equações os valores de  $r^2$  foram próximos de 1,0, indicando um bom ajuste. Com isso é possível concluir que a utilização das relações IDF locais e do “Index-Flood” é satisfatória e contribui para a estimativas das chuvas de projeto para localidades desprovidas de estações de medição de chuva.

**Palavras-chave:** Distribuição de Gumbel, Momentos-L, Relação IDF, Index-Flood.

## SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE .....	7
1 INTRODUÇÃO .....	9
REFERÊNCIAS .....	11
SEGUNDA PARTE .....	12
ARTIGO 1 - AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO GUMBEL E OBTENÇÃO DE RELAÇÕES IDF PARA MINAS GERAIS 13	
1 INTRODUÇÃO .....	16
2 METODOLOGIA .....	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
4 CONCLUSÕES .....	28
REFERÊNCIAS .....	29
ARTIGO 2 - OBTENÇÃO DO INDEX-FLOOD PARA REGIÕES HOMOGÊNEAS DE MINAS GERAIS .....	32
1 INTRODUÇÃO .....	35
2 METODOLOGIA .....	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
4 CONCLUSÕES .....	47
REFERÊNCIAS .....	48
APÊNDICE A - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações.....	51

## **PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO

As alterações no ciclo hidrológico vêm sendo cada vez mais vistas no Brasil. Várias localidades vêm enfrentando problemas com episódios atípicos, seja de longos períodos de estiagem ou de frequentes inundações. Tais problemas, tornam a gestão dos recursos hídricos um assunto recorrente e complexo devido às dificuldades encontradas no estudo de variabilidade espacial e temporal dos dados hidrológicos.

Conhecer o comportamento hidrológico de uma região permite que sejam mitigados os impactos causados pelos eventos extremos já que as informações são utilizadas para a adequada gestão dos recursos hídricos, em projetos de engenharia e gerenciamento de desastres (SOUZA et al., 2012). Desta forma, há uma importante demanda por confiabilidade espacial e temporal dos dados pluviométricos (PAIXÃO et al., 2015).

Para um melhor desempenho dos estudos hidrológicos monitoram-se dados de vazões e precipitações, no entanto a densidade da rede hidrográfica e os registros hidrológicos podem ser curtos, insuficientes ou indisponíveis (FARSADNIA et al., 2015; PAIXÃO et al., 2015) já que o Brasil possui grande extensão territorial.

Visando driblar a problemática da carência ou ausência de informações hidrológicas, são adotadas técnicas de regionalização já que a análise de frequência local nem sempre é exata ou até mesmo possível. A análise de frequência regional (AFR) permite a estimativa dos eventos hidrológicos extremos em locais onde pouco ou nenhuma informação está disponível (GONÇALVES et al., 2017; WAZNEH, CHEBANA e OUARDA, 2015; REQUENA, CHEBANA e MEDIERO, 2016).

Na AFR são estimados quantis hidrológicos, por meio da transferência de informações entre diferentes locais, buscando explorar ao máximo os dados disponíveis numa determinada área geográfica considerada hidrologicamente homogênea (FARSADNIA et al., 2015; HAILEGEORGIS e ALFREDSSEN, 2017). As regiões homogêneas representam áreas que possuem similaridade hidrológica e é necessária para garantir que AFR seja mais precisa do que uma análise local (HOSKING e WALLIS, 1997; TUCCI, 2009).

Identificar as regiões hidrologicamente homogêneas é um subsídio essencial na regionalização por fornecer uma caracterização hidrológica regional (GOMES, BLANCO e PESSOA, 2016). Diversos trabalhos identificaram regiões homogêneas objetivando a aplicação da regionalização das chuvas intensas, como por exemplo: Farsadnia et al. (2015) no norte do Irã; Wazneh, Chebana e Ouarda (2015) no noroeste da Itália; Ilorme e Griffis

(2013) nos estados da Geórgia, Carolina do Sul e Carolina do Norte; Santos, Lucio e Silva (2014) na Amazônia brasileira.

Além disso, uma AFR transforma as variáveis espaciais em temporais (DALRYMPLE, 1960; HOSKING e WALLIS, 1997) que podem ser associadas à metodologia tradicional de chuva intensa, as relações intensidade-duração-frequência (IDF), como no trabalho de Davis e Naghettini (2000) para o estado do Rio de Janeiro, no qual será baseada esta dissertação.

Diante dos problemas elencados, o presente trabalho foi desenvolvido para o estado de Minas Gerais, empregando 494 estações pluviométricas pertencentes à rede de monitoramento da Agência Nacional das Águas, cujas séries históricas estão disponíveis no sistema Hidroweb, com a finalidade de regionalizar as intensidades de precipitação médias máximas de forma disponibilizar ferramentas para o cálculo da chuva de projeto em locais com ausência de séries históricas de precipitação.

Os resultados estão apresentados na dissertação no formato de artigos. O artigo 1 (AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO GUMBEL E OBTENÇÃO DE RELAÇÕES IDF PARA MINAS GERAIS) trata da análise de aderência da distribuição de Gumbel à série de dados observados e a obtenção das relações IDF para as estações pluviométricas empregadas neste trabalho e; o artigo 2 (OBTENÇÃO DO INDEX-FLOOD PARA REGIÕES HOMOGÊNEAS DE MINAS GERAIS) trata da obtenção das regiões homogêneas com relação à distribuição espacial das chuvas no estado de Minas Gerais e da determinação dos quantis adimensionais (Index-Flood) regionais relacionados à relação IDF regional para cada grupo formado.

É importante ressaltar que no artigo 1, foram apresentados os resultados de apenas 50 estações em Minas Gerais devido à grande quantidade de estações selecionadas para o estudo. As relações IDF de todas as estações estão apresentadas no Apêndice A como forma de complementar os resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS

- DALRYMPLE, T. Flood frequency analysis. **US Geological Survey Water Supply Paper**, 1543 A, 1960.
- DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C. **Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro**. 2ª ed. Brasília: CPRM, 2000.
- FARSADNIA, F.; ROSTAMI KAMROOD, M.; MOGHADDAM NIA, A.; MODARRES, R.; BRAY, M. T.; HAN, D.; SADATINEJAD, J. Identification of homogeneous regions for regionalization of watersheds by two-level self-organizing feature maps. **Journal of Hydrology**, v. 509, pp. 387-397, 2014.
- GOMES, E. P.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. Formação de regiões homogêneas de precipitação por agrupamento fuzzy c-means. In: XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2016, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, 2016.
- GONÇALVES, E. D.; PESSOA, F. C. L.; NEVES, R. R.; RODRIGUES, R. S. S.; SOUSA, A. C. S. R. de. Identificação de regiões homogêneas e análise de regressão múltipla para regionalização de vazão na bacia hidrográfica do rio Tapajós. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, N. 69/9, p. 1725-1738, Nov/Dez/2017.
- HAILEGEORGIS, T. T.; ALFREDSEN, K. Regional flood frequency analysis and prediction in ungauged basins including estimation of major uncertainties for mid-Norway. **Journal of Hydrology**, v.9, p.104-126, 2017.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional Frequency Analysis - an approach based on L-moments**. Cambridge University Press, P.224, 1997.
- PAIXÃO, E.; MIRZA, M. M. Q.; SHEPHARD, M. W.; AULD, H.; KLAASSEN, J.; SMITH, G. An integrated approach for identifying homogeneous regions of extreme rainfall events and estimating IDF curves in Southern Ontario, Canada: incorporating radar observations, **Journal of Hydrology**, v.528, p.734-750, 2015.
- REQUENA, A. I.; CHEBANA F.; MEDIERO L. A complete procedure for multivariate “Index-Flood” model application. **Journal of Hydrology**, v.535, p.559-580, 2016.
- SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. **Atmospheric Science Letters**, v.16, p.185-192, 2014.
- SOUZA, R.O.R.M.; SCARAMUSSA, P.H.M.; AMARAL, M.A.C.M.; PEREIRA NETO, J.A.; PANTOJA, A.V.; SADECK, L.W.R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.999-1005, 2012.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, Ed. ABRH / UFRGS, 2009. 944p.
- WAZNEH, H.; CHEBANA, F.; OUARDA, T. B. M. J. Delineation of homogeneous regions for regional frequency analysis using statistical depth function. **Journal of Hydrology**, v.521, p.232-244, 2015.

## **SEGUNDA PARTE**

**ARTIGO 1- AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS DA  
DISTRIBUIÇÃO GUMBEL E OBTENÇÃO DE RELAÇÕES IDF  
PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS**

Italoema Pinheiro Bello<sup>1</sup>; Flávia Vilela Corrêa<sup>2</sup>; Lucas Ribeiro Guimarães<sup>2</sup>; Luiz Fernando Coutinho de Oliveira<sup>3</sup>, Marcelo Vieira Filho<sup>3</sup>.

Artigo redigido conforme a norma para publicação periódica científica NBR 6022 (ABNT, 2003a). Esse formato segue o manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações e será um artigo padrão que poderá atender, em qualquer momento, qualquer norma de revista científica.

---

<sup>1</sup> Mestranda em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, na Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia Agrícola (DEG-UFLA), Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista CAPES. E-mail: italoemapb@hotmail.com.

<sup>2</sup> Graduado (a) em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Lavras (UFLA).

<sup>3</sup> Professor, DEG-UFLA.

## RESUMO

O estudo de chuvas intensas é importante para que se tenha conhecimento das características espaciais e temporais por meio de modelos de distribuições de probabilidades, sendo a distribuição de Gumbel uma das mais empregadas em estudos que relacionam os eventos extremos. Objetivou-se neste estudo a verificação da aderência da distribuição de Gumbel aos dados observados, cujos parâmetros foram ajustados pelos métodos dos Momentos (MOM), Máxima Verossimilhança (MVS) e Momentos-L (MML) para 50 estações pluviométricas distribuídas no estado de Minas Gerais. Empregando a distribuição Gumbel, foram estimadas as intensidades de precipitação médias máximas para diferentes durações e períodos de retorno, permitindo assim o ajuste dos parâmetros das relações IDF. Os testes de aderência utilizados para verificar o ajuste da distribuição às series históricas foram Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), Anderson-Darling ( $AD^2$ ) e Filliben. O método MOM, resultou em mais inadequações (10 e 24, respectivamente) pelo teste de  $\chi^2$  e  $AD^2$ , quando comparado à MVS (9 e 16 inadequações) e MML (7 e 18 inadequações). Com tais resultados de adequação, adotaram-se os parâmetros ajustados pelo MML aplicados à distribuição Gumbel na obtenção das relações IDF para as localidades em questão. Verificou-se por meio do  $r^2$  que o ajuste das relações IDF se mostrou bastante satisfatório, visto que os valores se apresentaram próximos a 1, podendo ser utilizados como base para a obtenção de chuvas de projeto.

**Palavras-Chave:** chuva intensa; distribuição de probabilidade; teste de aderência.

## ABSTRACT

The study of intense rainfall is important so that spatial, temporal and geographical characteristics can be known through probability distributions models, which Gumbel's distribution is one of the most significant in hydrology studies. The objective of this study was to analyze the parameters adherence of the Gumbel distribution adjusted by the Moment, Maximum Likelihood and L-Moment methods to 50 rainfall stations in Minas Gerais, as well as to obtain the parameters of the IDF relationships. The adhesion tests used to verify the distribution fitting to the historical series were  $X^2$ ,  $AD^2$  and Filliben. The MOM method resulted in more inadequacies for  $X^2$  (10) and  $AD^2$  (24) when compared to MVS (9 and 16) and MML (7 and 18). Furthermore, the parameters of Gumbel distribution adjusted by the MML were adopted to obtain the IDF relations for the localities in study. It was verified by  $r^2$  that the adjustment of the IDF relations proved to be quite satisfactory, since the values were very close to 1, and can be used as the basis for obtaining necessary project rains in hydraulic and drainage projects.

**Key-words:** heavy rain; distribution of probability; adhesion test.

## 1 INTRODUÇÃO

As chuvas intensas são consideradas fenômenos naturais e caracterizam-se pelo grande volume precipitado num determinado intervalo de tempo e com baixa frequência de ocorrência (BERTONI, TUCCI, 2015). Por meio de estudos hidrológicos é possível investigar e estabelecer características espaciais, temporais e geográficas tentando mitigar seus possíveis impactos (BESKOW et al., 2015; SOUZA et al., 2016; BACK et al., 2018).

Para estimar a grandeza e recorrência das chuvas intensas, é necessário obter a frequência de ocorrência por meio de modelos de distribuições de probabilidades permitindo estabelecer as prováveis variações hidrológicas da chuva projetando seus valores para um maior tempo de retorno (WATANABE, 2013; ALAM et al., 2018).

A distribuição de probabilidades Gumbel para a estimativa de chuvas intensas é o modelo mais utilizado e tem maior destaque na literatura por apresentar bons resultados de ajuste e possuir uma metodologia de fácil aplicação (BORGES, THEBALDI, 2016; SOUZA et al., 2016; ZHAO et al., 2017; ALAM et al., 2018; BACK et al., 2018).

Os parâmetros da sua distribuição são obtidos por diferentes métodos. Segundo Ahmad et al. (2011) e Alam et al. (2018), o método dos Momentos (MOM) é mais simples e menos eficiente, enquanto o do Momentos-L (MML), desenvolvido por Hosking em 1990, é mais robusto que os métodos convencionais e possui maior sensibilidade para séries pequenas. A Máxima Verossimilhança (MMV), desenvolvida por Fischer em 1922, maximiza a plausibilidade das distribuições (WATANABE, 2013).

Para avaliar a adequabilidade do método de estimativa e o ajuste da distribuição de probabilidade à série histórica, usam-se testes de aderência sendo os mais relevantes: Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ), Anderson-Darling ( $AD^2$ ) e Filliben (ALAM et al., 2018; NAGHETTINI, PINTO, 2007). O teste de  $\chi^2$  é um dos mais populares e baseia-se no somatório do quadrado dos desvios das frequências (FRANCO et al., 2014). O  $AD^2$  é mais sensível e pondera as caudas das distribuições assintóticas (ALAM et al., 2018). O teste Filliben verifica a hipótese nula de normalidade e destaca-se pela simplicidade (MARQUES, 2014).

Os estudos realizados por Franco et al. (2014) e Junqueira Júnior et al. (2015) para Minas Gerais, avaliaram a precisão de ajuste das distribuições de probabilidade Gumbel, Gama, GEV e Log-Normal utilizando os métodos MOM, MVS e MML como estimativa dos parâmetros e verificando a aderência dos ajustes dos parâmetros por meio dos testes de Qui-Quadrado, Anderson-Darling e Filliben, e como resultado encontram melhores ajustes para MVS e MML além da maior restrição pelo teste de Filliben.

O estudo de chuvas intensas, além de inferir sobre a frequência de ocorrência do evento a um dado tempo de retorno, possibilita obter as equações de chuva intensa, definidas como relações intensidade-duração-frequência (IDF) (OLIVEIRA et al., 2005). O conhecimento destas grandezas é importante para o cálculo da chuva de projeto utilizada em dimensionamentos de obras hidráulicas e contenção de cheias (BORGES, THEBALDI, 2016; PELEG et al., 2017).

A utilização das relações IDF em obras de engenharia é importante para o correto dimensionamento das estruturas e para tal devem estar associadas a um período de retorno de acordo com o tipo do projeto. Carvalho (1998) afirmou que o período de retorno para obras destinadas ao controle de erosão é de 10 anos; para obras de drenagem do solo, é de, no máximo, 25 anos e para barragens de terra, está entre 50 e 100 anos.

Apesar da importância das relações IDF e da sua frequente utilização na hidrologia, existem algumas dificuldades relacionadas às limitações nos dados disponíveis, seja pela rede de pluviógrafos ou pelas séries curtas (SOUZA et al., 2016). Nesses casos o Dae-Cetesb (1980) propôs alguns coeficientes de desagregação para o Brasil que associados aos dados de pluviômetros, transforma a precipitação de 24 horas em precipitações de menores durações (método de desagregação de chuvas).

Vários trabalhos utilizaram o método da desagregação para obtenção das relações IDF no Brasil, dentre os quais podem citar: Lorenzoni et al. (2013) para o estado do Paraná; Oliveira et al. (2005) para o Estado de Goiás; Campos et al. (2015) para o estado do Maranhão; Campos et al. (2014) para o estado do Piauí; Santos (2015) para o estado do Rio Grande do Norte; Aragão et al. (2013) para o estado de Sergipe; Souza et al. (2012) para o estado do Pará; Teodoro et al. (2014) para o estado do Mato Grosso do Sul e Oliveira et al. (2011) para o Mato Grosso, dentre muitos outros.

Nesse contexto, objetivou-se neste trabalho, analisar a aderência da distribuição de probabilidade Gumbel ajustada com parâmetros estimados pelos métodos dos Momentos, Máxima Verossimilhança e Momentos-L para 50 estações pluviométricas distribuídas em Minas Gerais e, posteriormente, obter os parâmetros das relações IDF para essas localidades.

## 2 METODOLOGIA

O estado de Minas Gerais encontra-se na região Sudeste do Brasil, possui uma extensão territorial de 586.520 km<sup>2</sup> e população de 21.119.536 habitantes (IBGE, 2017). Devido à sua dimensão, as mesorregiões do estado possuem características distintas que influenciam diretamente no seu clima e regime pluvial.

Reboita et al. (2015) obtiveram a classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Minas Gerais e verificaram que em regiões de altitude elevada observa-se o clima Cwa e em menores áreas o Cwb, principalmente ao sul do estado (clima temperado quente com inverno seco). No extremo oeste encontra-se o clima Am (clima tropical de monção) e no extremo norte uma pequena área com climas Bsh e Bwh (clima de estepes e deserto).

Para uma representação homogênea das precipitações em Minas Gerais, a quantidade de estações selecionadas foi baseada na estratificação de municípios conforme área ocupada pela mesorregião a que pertence, sendo escolhidos de forma aleatória os municípios, como observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Percentagem das mesorregiões sobre a área total de Minas Gerais para a quantificação de municípios a serem analisados e lista de municípios selecionados (continua).

<b>Mesorregião</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Número de estações</b>	<b>Municípios selecionados</b>
Campo das Vertentes	2,11	1	Lavras
Central mineira	5,41	3	Bom Despacho; Curvelo; Três Marias.
Jequitinhonha	8,55	4	Almenara; Araçuaí; Diamantina; Turmalina.
Metropolitana de Belo Horizonte	6,79	3	Belo Horizonte; Itabira; Paraopeba.
Noroeste de Minas	10,64	5	Buritis; João Pinheiro; Paracatu; Unaí; Vazante. Brasília de Minas; Bocaiuva; Claro das Poções;
Norte de Minas	21,9	11	Grão Mogol; Janaúba; Janaúria; Manga; Montes Claros; Pirapora; Porteirinha; Salinas.
Oeste de Minas	4,07	2	Itaúna; Piumhi.
Sul/Sudoeste de Minas	8,45	4	Alfenas; Itajubá; Pouso Alegre; Varginha.

Tabela 1 - Percentagem das mesorregiões sobre a área total de Minas Gerais para a quantificação de municípios a serem analisados e lista de municípios selecionados (conclusão).

Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba	15,44	8	Araxá; Frutal; Ituiutaba; Iturama; Patos de Minas; Patrocínio; Uberaba; Uberlândia.
Vale do Mucuri	3,42	2	Nanuque; Teófilo Otoni.
Vale do Rio Doce	7,13	4	Belo Oriente; Conselheiro Pena; Coroaci; Governador Valadares.
Zona da Mata	6,09	3	Juiz de Fora; Muriaé; Viçosa.

Fonte: Do autor (2018).

Os valores precipitações máximas diárias, para diferentes tempos de duração da chuva, foram determinados empregando o método da desagregação de chuvas desenvolvido pelo Dae-Cetesb (1980). A partir das precipitações máximas diárias anuais foram geradas precipitações para durações de 1, 6, 8, 10, 12, 24 horas e 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos. As chuvas máximas diárias desagregadas foram utilizadas para se determinar os valores das intensidades de precipitação médias, fazendo a relação da precipitação pelo seu tempo de duração. Os tempos de retorno adotados foram 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Os valores das precipitações máximas diárias foram ordenados de forma decrescente, com a finalidade de avaliar a distribuição frequencial dos eventos extremos. As frequências teóricas de excedência foram estimadas pela distribuição de Gumbel (EQUAÇÃO 3).

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{\left[\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right) - e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}\right]} \quad (3)$$

em que:

x - precipitação máxima diária (mm);

$\alpha$  e  $\mu$  - parâmetros (escala e posição) estimados por MOM, MMV e MML (Tabela 2).

Tabela 2 - Estimadores dos parâmetros da distribuição de probabilidade Gumbel pelos métodos MOM, MMV e MML.

Método	Estimadores	
MOM	$\hat{\alpha} = 0,7797 \cdot \sigma$	$\hat{\mu} = \bar{X} - 0,45 \cdot \sigma$
MVS	$e^{(\hat{\mu}/\hat{\alpha})} = N / \sum_{i=1}^N e^{-(x_i/\hat{\alpha})}$	$\hat{\alpha} = \sum_{i=1}^N (x_i - \mu) - \sum_{i=1}^N (x_i - \mu) e^{-(\frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\alpha}})}$
MML	$\hat{\alpha} = 1,4427(\lambda_2),$ sendo $\lambda_2 = \alpha_0 - 2\alpha_1$	$\hat{\mu} = \lambda_1 - 0,5572\hat{\alpha},$ sendo $\lambda_1 = \alpha_0$
	sendo $\alpha_s = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left( \frac{\binom{N-i}{s}}{\binom{N-1}{s}} \right) \cdot x_i$	

em que:  $\bar{X}$  - média aritmética;  $\sigma$  - desvio padrão;  $N$  - tamanho da amostra;  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ - parâmetros de posição e escala;  $\alpha_i$ - parâmetro determinado com base em análises combinatórias;  $s$  - número inteiro variando de 0 a 3;  $i$  - ordem do valor  $x$ .

Fonte: Adaptado de Naghettini e Pinto (2007).

Afim de verificar a aderência da distribuição, foram empregados os testes de aderência de Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ), Anderson-Darling ( $AD^2$ ) e Filliben, adotado nível de significância ( $\alpha$ ) 5%.

Para o teste de  $\chi^2$  (EQUAÇÃO 4), as intensidades de precipitação foram distribuídas em classes de frequência, por ser uma variável aleatória contínua. A aderência do modelo é verificada quando o valor da estatística  $\chi^2_{cal}$  é menor que o  $\chi^2_{tab}$  obtido com base nos graus de liberdade (GL = número de classes - 2) e  $\alpha$ , aceitando-se a hipótese avaliada.

$$\chi^2_{cal} = \sum \frac{(ni - Fi)^2}{Fi} \quad (4)$$

em que:

$ni$  - frequência observadas para a classe  $i$ ;

$Fi$  - frequência estimada da classe.

A estatística do teste de Anderson-Darling é calculada pela Equação 5. Caso o valor de  $AD^2$  seja menor que  $p(\alpha) = 0,757$  verifica-se a aderência da distribuição.

$$AD^2 = -N - \left( \frac{1}{N} \right) \sum_{n=1}^N \{(2n - 1)[\text{Ln}(P1) - \text{Ln}(P2)]\} \quad (5)$$

em que:

AD<sup>2</sup> - Anderson-Darling calculado;

N - espaço amostral;

n - posição de cada um dos dados na série histórica posicionada em ordem crescente;

P1 - probabilidade de não excedência (dados ordenados decrescentemente);

P2 - probabilidade de excedência (dados ordenados decrescentemente).

O teste Filliben estima o coeficiente de correlação linear ( $r_{cal}$ ) entre as observações ( $x_i$ ) e quantis teóricos ( $w_i$ ) pelas Equações 6 a 8. Para se avaliar a aderência do modelo,  $r_{cal}$  deve ser menor que o  $r_{crítico}$ , cujo valor é obtido em tabela, de acordo com  $\alpha$  e o número de observações.

$$r_{cal} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(w_i - \bar{w})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (w_i - \bar{w})^2}} \quad (6)$$

$$w_i = F_x^{-1}(q_i) \quad (7)$$

$$q_i = \frac{n - \alpha}{m - 2\alpha + 1} \quad (8)$$

em que:

$\bar{x}$  e  $\bar{w}$  - médias aritméticas dos valores de x e w.

$q_i$  - frequência observada da ordem de classificação i.

n - número de ordem do evento na amostra ordenada;

m - número de observações;

$\alpha$  - parâmetro específico a distribuição da amostra (0,440 para Gumbel).

Para a obtenção dos parâmetros da relação IDF, inicialmente foram estimados os valores das intensidades de precipitação médias máximas estimadas pela distribuição de Gumbel, para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos (EQUAÇÃO 9).

$$i_m = \alpha - \mu \ln[\ln(\frac{TR}{TR - 1})] \quad (9)$$

em que:

$i_m$  - intensidade de precipitação média máxima ( $\text{mm h}^{-1}$ );

TR - período de retorno (ano);

$\alpha$  e  $\mu$  - parâmetros da distribuição de Gumbel.

A relação IDF, segundo Oliveira e Pruski (1996), é descrita pela Equação 10.

$$i_{(t,TR)} = \frac{K TR^a}{(t + b)^c} \quad (10)$$

em que:

$i$  - intensidade de precipitação média máxima ( $\text{mm h}^{-1}$ );

TR - período de retorno (5, 10, 25, 50 e 100 anos);

$t$  - tempo de duração da chuva ( $5 \text{ min} \leq t \leq 1440 \text{ min}$ );

K, a, b e c - coeficientes de ajuste local.

Os parâmetros K, a, b e c das relações IDF foram ajustados pelo emprego da técnica de otimização da minimização dos quadrados desvios entre valores observados e estimados pelo modelo (EQUAÇÃO 11), ou seja:

$$SQD = \sum (i_{obs} - i_{calc})^2 \quad (11)$$

em que:

SQD - Soma dos quadrados dos desvios;

$i_{obs}$  - intensidades de precipitação estimadas pela distribuição de Gumbel ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$i_{calc}$  - intensidades de precipitação calculadas pela relação IDF ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

Todas as etapas realizadas neste trabalho foram feitas por meio de scripts em linguagem de programação R utilizando os pacotes “dplyr”, “moments”, “xlsx”, “lmomco”, o que permitiu uma otimização do tempo pela facilitação do trabalho que envolveu uma extensa série de dados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando os métodos de estimativa dos parâmetros da distribuição de Gumbel (MOM, MVS e MML), verificou-se que os parâmetros influenciam no ajuste do modelo conforme Tabela 3.

Tabela 3- Adequabilidade das estimativas de parâmetros para as séries históricas de precipitação máxima diária anual, de acordo com os testes de aderência empregados.

Testes de Aderência	MOM		MVS		MML	
	Adequado	Inadequado	Adequado	Inadequado	Adequado	Inadequado
$\chi^2$	41	10	41	9	43	7
AD <sup>2</sup>	26	24	32	16	32	18
Filliben	40	10	40	10	40	10

Fonte: Do autor (2018).

As estatísticas evidenciam que o MOM obteve o maior número de inadequações para o  $\chi^2$  (10) e AD<sup>2</sup> (24), quando comparado à MVS (9 e 16) e MML (7 e 18). Consequentemente, contata-se que os métodos MML e MVS foram os mais adequados, gerando um melhor ajuste.

Back et al. (2018) em seu estudo sobre chuvas erosivas no Vale do Rio do Peixe - SC aplicaram a distribuição de Gumbel pelo método MMV e verificaram que houve boa adequação para a estimativa de todas as variáveis estudadas.

Em relação aos testes de aderência empregados verifica-se que, independente do método de estimativa, há maiores inadequações pelo AD<sup>2</sup> (24, 16 e 18). Os testes de  $\chi^2$  e Filliben se comportaram de maneira aproximadamente semelhante. Pelo teste de Filliben contata-se que o número de inadequações se manteve constante em todos os métodos (10), indicando que a mudança no método de estimativa não alterou significativamente o comportamento do ajuste.

Franco et al. (2014) verificaram que os testes AD<sup>2</sup> (43,06% de inadequações) e Filliben (51,39% de inadequações) foram mais restritivos em seu estudo para a Bacia do Rio Verde - MG, assim como foi encontrado neste estudo. Marques et al. (2014), pelo teste de Filliben, concluíram que a distribuição de Gumbel pelos métodos MML e MMV apresentaram melhores desempenhos (83,0% 79,2% de casos adequados, respectivamente)

para o centro-oeste de Minas Gerais. Ahmad et al. (2011) afirmam que o MML é um método que melhora os resultados da estimação de parâmetros na análise de frequência e por isso tornou-se um procedimento padrão utilizado habitualmente em estudos hidrológicos.

Tendo sido avaliada a adequabilidade dos métodos de estimativa de parâmetros, prosseguiu-se para a obtenção das intensidades de precipitação, utilizando a distribuição Gumbel (MML), devido ao ajuste mais adequado dos dados. A título de exemplo, a tabela 4 apresenta as intensidades de precipitação (Equação 9) para a cidade de Lavras-MG, que é o processo de cálculo que antecede à obtenção da relação IDF (Equação 8).

Tabela 4- Intensidades máximas de precipitação ( $\text{mm h}^{-1}$ ) estimadas para diversos tempos de retorno em diversas durações de chuva para Lavras-MG.

<b>TR</b>	<b>24h</b>	<b>12h</b>	<b>10h</b>	<b>8h</b>	<b>6h</b>	<b>1h</b>
5	5,47	9,29	11,15	13,94	18,59	55,10
10	7,88	13,39	16,07	20,09	26,79	79,41
25	10,93	18,57	22,29	27,86	37,15	110,13
50	13,19	22,42	26,90	33,63	44,83	132,92
100	15,43	26,23	31,48	39,35	52,46	155,54
<b>TR</b>	<b>30min</b>	<b>25min</b>	<b>20min</b>	<b>15min</b>	<b>10min</b>	<b>5min</b>
5	81,55	89,05	99,08	114,17	116,29	166,36
10	117,53	128,34	142,80	164,54	166,66	239,76
25	162,99	177,99	198,03	228,19	230,31	332,50
50	196,72	214,82	239,01	275,40	277,52	401,30
100	230,19	251,37	279,69	322,27	324,39	469,59

Fonte: Do autor (2018).

Pelos valores tabulados de intensidade de precipitação e seus respectivos tempos de retorno estimados para todas as localidades, foi possível obter os parâmetros da relação IDF apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para os municípios de Minas Gerais e suas respectivas estações utilizadas (continua).

<b>Município</b>	<b>Estações</b>	<b>k</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>r<sup>2</sup></b>
Alfenas	Alfenas	806,963	0,156	9,786	0,724	0,988
Almenara	Almenara	687,178	0,161	9,791	0,724	0,987
Araçuaí	Araçuaí	728,781	0,120	9,783	0,724	0,987
Araxá	Araxá (Inmet)	817,443	0,138	9,781	0,724	0,987
Belo Horizonte	Caixa de Areia	886,993	0,145	9,782	0,724	0,988
Belo Oriente	Cachoeira Escura	802,525	0,168	9,787	0,724	0,988
Bocaiuva	Pires de Albuquerque	764,380	0,153	9,786	0,724	0,987
Bom Despacho	Álvaro da Silveira	725,443	0,195	9,778	0,724	0,988
Brasília de Minas	Brasília de Minas	687,055	0,121	9,790	0,724	0,988
Buritit	Buritit	656,759	0,153	9,787	0,724	0,988
Claro das Poções	Vista Alegre	852,487	0,151	9,786	0,724	0,987
Conselheiro Pena	Barra do Cuieté Jusante	739,283	0,149	9,787	0,724	0,988
Coroaci	Coroaci	887,300	0,142	9,789	0,724	0,988
Curvelo	Curvelo	704,232	0,121	9,799	0,725	0,987
Diamantina	Mendanha	2144,847	0,171	19,378	0,909	0,988
Frutal	Frutal	704,243	0,171	9,791	0,724	0,988
Governador Valadares	Governador Valadares	1198,222	0,172	11,101	0,851	0,988
Grão Mogol	Fazenda Jambreiro	791,386	0,136	9,781	0,724	0,987
Itabira	Pico do Itabira	778,186	0,127	9,785	0,724	0,986
Itajubá	São João de Itajubá	721,517	0,147	9,786	0,724	0,987
Itaúna	Itaúna	758,403	0,120	9,791	0,724	0,988
Ituiutaba	Ituiutaba	767,830	0,164	9,790	0,724	0,988
Iturama	Iturama	796,073	0,128	9,786	0,724	0,987
Janaúba	Janaúba	669,158	0,151	9,789	0,724	0,988
Januária	Pedra de Maria da Cruz	666,894	0,184	20,877	0,635	0,988
João Pinheiro	Caatinga	838,785	0,148	9,783	0,724	0,988
Juiz de Fora	Torreões	781,989	0,168	9,785	0,724	0,988
Lavras	Usina Couro do Cervo	787,197	0,146	9,787	0,724	0,987
Manga	Miravânia	834,610	0,160	9,789	0,724	0,988

Tabela 5 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para os municípios de Minas Gerais e suas respectivas estações utilizadas (conclusão).

Montes Claros	São João da Vereda	762,855	0,137	9,785	0,724	0,987
Muriaé	Fazenda Umbaúbas	825,610	0,152	9,782	0,724	0,988
Nanuque	Nanuque	770,113	0,147	9,786	0,724	0,988
Paracatu	Santa Rosa	9099,043	0,184	49,164	1,125	0,987
Paraopeba	Horto Florestal	808,889	0,153	9,786	0,724	0,988
Patos de Minas	Patos de Minas	1119,829	0,184	15,200	0,777	0,986
Patrocínio	Salitre	740,086	0,162	9,788	0,724	0,988
Pirapora	Pirapora	3348,439	0,206	28,386	0,986	0,988
Piumhi	Piumhi	1958,651	0,220	16,239	0,919	0,987
Porteirinha	Gorutuba	713,821	0,125	9,780	0,724	0,987
Pouso Alegre	Pouso Alegre	659,038	0,150	9,787	0,724	0,988
Salinas	Açude Vacaria	741,781	0,128	9,786	0,724	0,987
Teófilo Otoni	Teófilo Otoni	10030,560	0,138	45,209	1,155	0,988
Três Marias	Barra do Rio de Janeiro	758,622	0,147	9,785	0,724	0,987
Turmalina	Ponte Alta	638,037	0,192	9,788	0,724	0,989
Uberaba	Uberaba	2150,903	0,177	19,901	0,896	0,987
Uberlândia	Fazenda Letreiro	827,802	0,137	9,782	0,724	0,988
Unaí	Fazenda O Resfriado	779,241	0,119	9,787	0,724	0,987
Varginha	Usina de Varginha	660,698	0,155	9,791	0,724	0,988
Vazante	Vazante	874,069	0,122	9,785	0,724	0,988
Viçosa	Seriquite	731,466	0,146	9,788	0,724	0,987

Fonte: Do autor (2018).

Pelos valores de  $r^2$  é possível observar bom ajuste das equações ajustadas (valores de  $r^2$  acima de 98% para todas as localidades). Lorenzoni et al. (2013) em seu estudo para municípios do Paraná encontrou valores de  $r^2$  acima de 0,99 para todas as relações IDF. Oliveira et al. (2011) obteve os parâmetros da relação IDF para localidades de Mato Grosso e valores de  $r^2$  superiores a 0,98 assim como Campos et al. (2015) para localidades do Maranhão.

Também pode-se observar na Tabela 5 grande variação nos coeficientes das relações IDF. O valor do coeficiente “K” variou de 638,037 a 10030,56 relativos à Turmalina e Teófilo Otoni, respectivamente; o coeficiente “a” variou de 0,119 a 0,220 relativos à Unaí e Piumhi,

respectivamente; o coeficiente “b” variou de 9,778 a 49,164 relativos à Bom Despacho e Paracatu, respectivamente; e o coeficiente “c” variou de 0,635 a 1,155 para Januária e Teófilo Otoni, respectivamente. Lorenzoni et al. (2013), Souza et al. (2012) e Santos et al. (2015) também observaram maior variação do coeficiente K para municípios do Paraná, Pará e Mato Grosso do Sul, respectivamente. A diferenciação é devido aos diferentes valores de intensidade de precipitação utilizadas e dos ajustes dos parâmetros serem diferentes para cada localidade.

As variações encontradas nos coeficientes são reflexo das características climáticas de cada município conforme sua localização nas mesorregiões do estado (Tabela 1), evidenciando a importância da obtenção das relações IDF para cada local em específico, conforme constatado por Peleg et al. 2017 e Souza et al. (2016).

Para a maioria das estações, os maiores valores do coeficiente b estão relacionados aos maiores valores do coeficiente K. É importante destacar que outros valores de coeficientes de relação IDF podem ser obtidos para a mesma localidade, visto que a solução da equação é feita por método iterativo podendo então, haver mínimas variações dos valores sem causar perda significativa na precisão dos resultados.

Outro ponto importante é que outros estudos como de Pinto (1995) e Freitas et al. (2001) também ajustaram parâmetros das relações IDF para algumas localidades de Minas Gerais, mas com o passar do tempo estes valores podem se alterar tornando necessária sua atualização.

#### 4 CONCLUSÕES

Dos métodos de estimativa de parâmetros ajustados para a distribuição Gumbel os métodos dos Momentos-L e Máxima Verossimilhança foram considerados os mais adequados para os dados de precipitação máxima diária anual em Minas Gerais. Em relação aos testes de aderência, o teste de Filliben e Qui-Quadrado foram mais restritivos por possuírem muitas inadequações.

O ajuste da relação IDF para as estações de Minas gerais se mostrou satisfatório ( $r^2$  superiores a 98%), tornando confiável sua utilização em estimativas de chuvas de projeto para obras hidráulicas.

## REFERÊNCIAS

- ALAM, A. et al. Best-fit probability distributions and return periods for maximum monthly rainfall in Bangladesh. **Climate**, v. 6, n. 9, 2018.
- ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S.; GOIS, R.S.S. Chuvas intensas no estado da Paraíba. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, V, 2000, Natal. **Anais...** Natal - RN: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2000. p.74-85.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6022: Informação e documentação: artigo em publicação periódica científica impressa. Rio de Janeiro, 2003a.
- BACK, A. J. et al. Erosive rainfall in the Rio do Peixe Valley: Part III - Risk of extreme events. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 1, p. 63-68, jan. 2018.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH; UFRS, p.177-241, 2015.
- BESKOW, S. et al. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.4, p. 123-133, 2015.
- BORGES, G. M. R.; THEBALDI, M. S. Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.11, n.4, p.891-902, 2016.
- CAMPOS, A.R.; SANTOS, G.G.; ANJOS, J.C.R.; ZAMBONI, S.D.C.; MORAES, J.M.F. Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão. **Engenharia na Agricultura**, v.23, n.5, p.435-447, 2015.
- 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**, v.45, n.3, p.488-498, 2014.
- CARVALHO, J. A. **Barragens de terra**. Lavras, 1998. 54p.
- DAEE-CETESB. Departamento de Água e Energia Elétrica - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana: manual de projeto. São Paulo, SP, 1980. 466p.
- FRANCO, C. S.; et al. 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.
- FREITAS, A.J.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A.; PEREIRA, S.B.; GOMES FILHO, R.R.; TEIXEIRA, A.F.; BAENA, L.G.N.; MELLO, L.T.A. & NOVAES, L.F. **Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Companhia de Saneamento de Minas Gerais/Universidade Federal de Viçosa, 2001. 65p

IBGE. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg>>. Acesso em: Jul, 2018.

JUNQUEIRA JUNIOR, J. A.; MELLO, C. R de.; ALVES, G. J. Eventos extremos de precipitação no Alto Rio Grande, MG: Análise probabilística. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.301-308, 2015.

LORENZONI, M.Z.; PRADO, G.; REZENDE, R.; MALLER, A.; OLIVEIRA, J.M. Chuvas intensas para a microrregião de Cianorte/PR, Brasil: uma avaliação a partir da desagregação de chuvas diárias. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17; p.656-669, 2013.

MARQUES, R. F.de P. V. et al. Performance of the probability distribution models applied to heavy rainfall daily events. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.38, n.4, p.335-342, jul./ago., 2014.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

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**, v.35, n.1, p.18-18, 2005.

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&Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.6, n.3, p. 274-290, 2011.

PELEG, N. et al. Partitioning the impacts of spatial and climatological rainfall variability in urban drainage modeling. **Hydrology Earth System Sciences**, v. 21, p. 1559-1572, 2017.

PINTO, F.A. **Chuvas intensas no estado de Minas Gerais: análises e modelos**. Viçosa: UFV, 1995. 87p. Tese Doutorado.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: jan, 2018.

REBOITA, M. S. et al. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais (climate aspects in Minas Gerais state). **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 17, dez. 2015. ISSN 2237-8642.

SANTOS, R.A. Cálculo da chuva intensa pelo método das Isozonas para cidades do estado da Paraíba. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.19, n.2, p.1334-1343, 2015.

SNIRH. Séries Históricas de Estações. Disponível em: <[http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf)>. Acesso em: Jan. 2018.

SOUZA, R.O.R.M.; SCARAMUSSA, P.H.M.; AMARAL, M.A.C.M.; PEREIRA NETO, J.A.; PANTOJA, A.V.; SADECK, L.W.R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.999-1005, 2012.

SOUZA, S. A de.; VIEIRA, W de. L.; BEZERRA, L. C. A. Estudos das chuvas máximas para o município de Iguatu-CE. **Conexões Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v.10, n.2, p.47-52, 2016.

TEODORO, P.E.; NEIVOCK, M.P.; MARQUES, J.R.F.; FLORES, A.M.F.; RODRIGUES, C.C.B. Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana/MS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.9, n.2, p.1-9, 2014.

U. N. Ahmad, A. Shabri, and Z. A. Zakaria, "Flood frequency analysis of annual maximum stream flows using L-Moments and TL-Moments." **Applied Mathematical Sciences**, v. 5, p. 243- 253, 2011.

WATANABE, F. M. **Análise do modelo de Gumbel para cálculo de vazões de dimensionamento de vertedouros**. 2013. 87f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

ZHAO, P. et al. Uncertainty of hydrological drought characteristics with copula functions and probability distributions: a case study of Weihe River, China. **Water Resour**, v. 9, n. 334, 2017.

## **ARTIGO 2 - OBTENÇÃO DO INDEX-FLOOD PARA REGIÕES HOMOGÊNEAS DE MINAS GERAIS**

Italoema Pinheiro Bello<sup>1</sup>; Christiano Evangelista de Assis<sup>2</sup>; Maria Clara Miguel Choi<sup>2</sup>; Luiz Fernando Coutinho de Oliveira<sup>3</sup>, Marcelo Vieira Filho<sup>3</sup>.

Artigo redigido conforme a norma para publicação periódica científica NBR 6022 (ABNT, 2003a). Esse formato segue o manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações e será um artigo padrão que poderá atender, em qualquer momento, qualquer norma de revista científica.

---

<sup>1</sup> Mestranda em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, na Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia Agrícola (DEG-UFLA), Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista CAPES. E-mail: italoemapb@hotmail.com.

<sup>2</sup> Graduando (a) em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Lavras (UFLA).

<sup>3</sup> Professor, DEG-UFLA

## RESUMO

A importância de avaliar as precipitações intensas, é devido à sua frequente utilização no dimensionamento de obras hidráulicas. Existem dificultadores relacionados à disposição de informações locais de precipitação, tornando necessária a utilização de técnicas de regionalização de chuvas intensas. Uma delas é a técnica conhecida como “Index-Flood” que visa uniformizar dados obtidos em pontos distintos de uma região considerada homogênea, para utilizá-los como um conjunto amostral único. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi separar o estado de Minas Gerais em regiões hidrologicamente homogêneas e obter seus respectivos “Index-Flood” em função dos tempos de retorno e duração para contribuir na estimativa das chuvas de projeto. Foram utilizados dados de precipitação máxima diária anual e total anual referentes à 494 estações pluviométricas localizadas em Minas Gerais. Para a separação das regiões homogêneas utilizou-se a análise de agrupamentos k-médias, gerando um total de três grupos no estado. Para cada grupo foram geradas as relações IDF regionais, que relacionadas aos valores de intensidade de precipitação para diversos tempos de duração resultaram no “Index-Flood”. Posteriormente, foram obtidas as equações regionais de variável dependente, que associadas ao “Index-Flood” e o valor de precipitação local possibilitam a obtenção da chuva de projeto local utilizada para os dimensionamentos hidráulicos. Para todos os ajustes realizados, utilizou-se o coeficiente de determinação para avaliar a precisão das estimativas, sendo que, para todos os ajustes os valores de  $r^2$  foram próximos a 1,0, indicando um bom ajuste dos dados permitindo que as equações geradas possam ser usadas na estimativa das chuvas de projetos.

**Palavras-Chave:** k-médias; regionalização de chuvas; análise de cluster.

## ABSTRACT

The importance of evaluating the intense rainfall is due to its frequent use for the design of hydraulic works and drainage projects, however there are difficulties related to the availability of local precipitation information, making it necessary to use intense rainfall regionalization techniques. In this way, the objective of this work was to segregate the state of Minas Gerais into hydrologically homogeneous regions to obtain their respective "Index-Flood" according to the times of return and duration to contribute to the estimation of the project rains. Maximum annual and total annual precipitation data were used referring to the 494 rainfall stations located in Minas Gerais. For the separation of the homogeneous regions the analysis of k-medium groupings was used, generating a total of three groups in the state. For each group the regional IDF relationships were generated, which related to the values of precipitation intensity for several duration times resulted in index flood. Subsequently, the regional equations of the dependent variable were also obtained, which, together with the index flood and the local precipitation value, allow obtaining the local project rain used for the hydraulic design. For all the adjustments made, the  $r^2$  was calculated to evaluate its accuracy of estimates and in all the results were quite high, close to 1, indicating a good fit of the data. With this it is possible to conclude that the local IDF relations can be obtained by the equations generated contributing to the optimization of the calculation of the project rains.

**Key-words:** k-means; regionalization of rainfall; cluster analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

A avaliação da precipitação intensa é uma etapa importante para a análise de risco hidrológico. Seu estudo é um dos principais focos em estudos de Hidrologia teórica e aplicada, uma vez que as características das chuvas são frequentemente utilizadas para projetar infraestruturas de gerenciamento de água e mitigação de riscos de inundação (MELLO e VIOLA, 2013; GHANMI, BARGAOUI e MALLET, 2016).

A frequência de ocorrência dos eventos extremos tem aumentado, tornando necessário conhecer sua distribuição espacial e temporal para reduzir a vulnerabilidade de desastres ocasionados pelas cheias (MIRHOSSEINI, SRIVASTAVA e STEFANOVA, 2013; UPADHYAYA e RAMSANKARAN, 2014; SINGH; LO e XIAOSHENG, 2017).

O conhecimento da distribuição da precipitação dentro de regiões que subdividem uma área maior é um fator importante, já que os aspectos físicos e climáticos variam conforme posição geográfica e características intrínsecas ao local, sendo estabelecidas então as regiões hidrologicamente homogêneas (BESKOW et al., 2016; MIRANDA, 2016). Para distingui-las são utilizadas técnicas estatísticas de homogeneização que captam as características semelhantes e peculiares de cada localidade obtendo um padrão de similaridade regionalizado das chuvas (FREITAS et al., 2013; SINGH; LO e XIAOSHENG, 2017).

Dentro da estatística uma das técnicas mais aplicadas para identificar regiões hidrologicamente homogêneas é a análise de agrupamentos (cluster analysis) utilizada nos trabalhos de Farsadnia et al. (2014), Beskow et al. (2016), Miranda (2016), Singh, Lo e Xiaosheng (2017).

Segundo Manly (2008), os algoritmos da análise de agrupamentos subdividem-se em métodos Hierárquicos e Não Hierárquicos. Dentre os Não Hierárquicos, o algoritmo “k-means” (MACQUEEN, 1967) ou k-médias se destaca como um dos mais populares e conhecidos devido ao seu baixo tempo de execução, sua eficiência para um grande conjunto de dados com atributos numéricos e implementação e interpretação simples, uma vez que não estão envolvidos parâmetros (YIN et al., 2016; AGARWAL et al., 2016).

O algoritmo classifica os objetos baseando-se na segregação dos dados em X grupos por meio da minimização da soma dos quadrados de distâncias entre os dados e o centroide do grupo correspondente representado pela média de vetores do grupo (FARSADNIA et al., 2014; GOYAL e GUPTA, 2014).

Porém, mesmo se conhecendo uma região homogênea, pode haver um limitante relacionado as localidades que não dispõem de séries históricas de precipitação, existindo

então, a necessidade de alternativas para desenvolver métodos de regionalização (BACK et al., 2011).

Naghetini e Pinto (2007) citam três tipos de procedimentos de análise regional: métodos que regionalizam os quantis associados a um risco específico, métodos que regionalizam os parâmetros das distribuições de probabilidades e métodos que regionalizam uma curva de quantis adimensionais, denominados “Index-Flood” ou cheia-índice.

O “Index-Flood” (IF) visa uniformizar dados obtidos em pontos distintos de uma região considerada homogênea, para utilizá-los como um conjunto amostral único (CALEGARIO, 2014; NAGHETTINI e PINTO, 2007). O fator primordial do método é que os pontos de observação constituem uma região estatisticamente homogênea e suas distribuições de probabilidade são idênticas, exceto por um fator de escala local denominado fator de adimensionalização (BASU e SRINIVAS, 2016; GADO e NGUYEN, 2016).

A metodologia inicial do IF foi introduzida por Dalrymple (1960) e depois Hosking e Wallis (1997) propuseram a aplicação do método de estimativa de parâmetros momentos-L (MML) ao IF (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

O IF é muito utilizado para vazão por meio da regionalização de cheias, mas vem sendo aplicado também para chuvas como nos estudos de Yin et al. (2016) e Basu e Srinivas (2016). No Brasil, o principal estudo a utilizar o IF para o caso de chuvas intensas é o de Davis, Naghetini e Pinto (2000) para o estado do Rio de Janeiro, mas também existem outros como Dantas e Pinto (2011) para a bacia do rio São Francisco.

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho segregar o estado de Minas Gerais em regiões hidrologicamente homogêneas quanto à precipitação máxima anual e obter os respectivos “Index-Flood” para cada região determinada em função dos tempos de retorno e duração para contribuir na estimativa das chuvas de projeto.

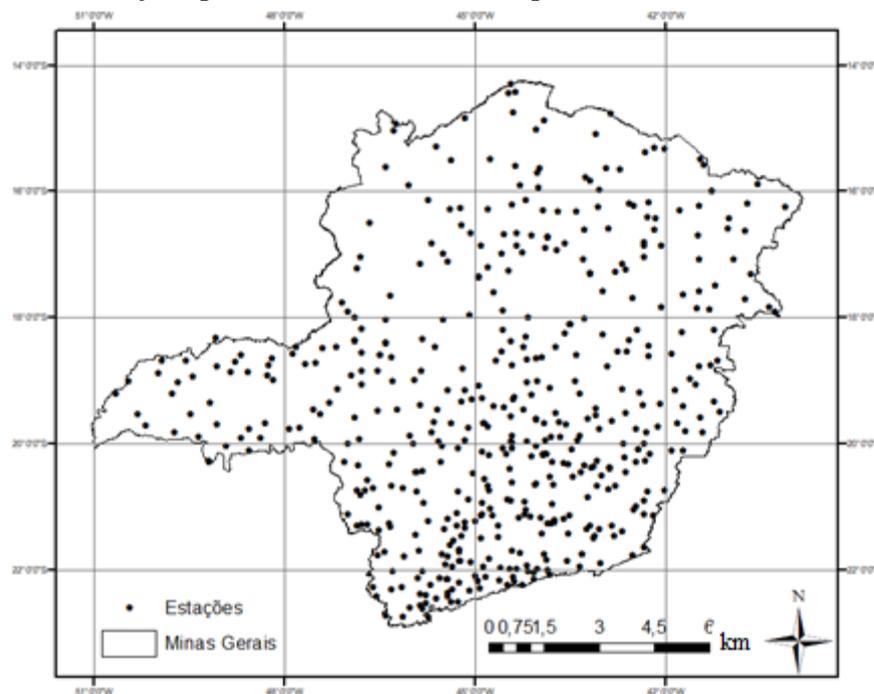
## 2 METODOLOGIA

O estado de Minas Gerais é o maior em extensão da região sudeste do Brasil - 586.520,732 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018) e como consequência, suas mesorregiões apresentam características topográficas e climáticas distintas. Segundo Mello e Viola (2013), os principais elementos da topografia mineira são a serra da Mantiqueira ao sul, a serra do Espinhaço do leste ao nordeste e a serra da Canastra no centro-oeste do estado.

Reboita et al. (2015) obtiveram a classificação climática de Köppen-Geiger para Minas Gerais e verificaram que em regiões de altitude elevada encontra-se o clima Cwa e em menores áreas o Cwb, principalmente ao sul do estado (clima temperado quente com inverno seco). No extremo oeste encontra-se o clima Am (clima tropical de monção) e no norte uma pequena área com climas Bsh e Bwh (clima de estepes e deserto).

Para a realização do estudo utilizaram-se dados de 494 estações pluviométricas (Figura 1) distribuídas por todo o estado, cujas séries históricas de precipitação máxima diária anual obtidas no banco de dados Hidroweb - Sistema de Informações Hidrológicas (SNIRH, 2018). A seleção foi feita com base na escolha de séries históricas com longos períodos de observação (acima de 15 anos) e que estivessem distribuídas ao longo de todo o estado.

Figura 1-Estações pluviométricas utilizadas para o estudo em Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2018).

A primeira etapa para regionalização dos dados pluviométricos foi obter as regiões hidrologicamente homogêneas do Estado por meio da análise de agrupamentos k-médias utilizando o pacote “Stats” (R Core Team, 2018a) na linguagem de programação R (R Core Team, 2018b).

Como o algoritmo necessita de um número inicial pré-definido de grupos foi feito a estimativa do número ideal de grupos para a série de dados estudada por meio do comando “fviz\_nbclust ()” no R (R Core Team, 2018b) que determina e visualiza o número de grupos usando método das somas de quadrados de cada grupo.

Tendo sido definido o número ideal, o algoritmo a cada iteração atribui o grupo formado ao centro do grupo mais próximo de acordo com a medida de distância Euclidiana entre os dois e, em seguida, os centros do novo grupo são recalculados até a convergência do algoritmo pelo número inicial definido.

A saída da análise de agrupamentos geralmente não é o resultado final. Ajustes subjetivos são frequentemente necessários para que haja coerência física das regiões visando diminuir a heterogeneidade das mesmas (YIN, 2016). Ajustaram-se os grupos formados pelo algoritmo conforme recomendações de Hosking e Wallis (1997): mover um ou mais pontos de uma região para outra e subdividir ou combinar regiões para reclassificar os grupos.

Com o objetivo de verificar a homogeneidade das regiões obtidas realizou-se um teste de significância Scott-Knott no programa estatístico SISVAR desenvolvido por Ferreira (1998).

Uma vez verificada a significância das regiões hidrologicamente homogêneas, foram obtidos os valores do “Index-Flood”, ou fator de adimensionalização, por meio da adaptação da metodologia usada por Davis, Naghettini e Pinto (2000). Para tal, foram inicialmente ajustados os parâmetros regionais das relações IDF pelos valores de chuvas desagregadas a partir da precipitação máxima diária anual (EQUAÇÃO 1)

$$i_{(t,TR)} = \frac{K TR^a}{(t + b)^c} \quad (1)$$

em que:

i - intensidade média máxima (mm h<sup>-1</sup>);

TR - período de retorno (5, 10, 25, 50 e 100 anos);

t - tempo de duração da chuva (5min ≤ t ≤ 1440min);

K, a, b e c - parâmetros de ajuste regionais.

Os parâmetros da Equação 1 foram ajustados pelo método de otimização da minimização da soma dos quadrados dos desvios (Equação 2) entre valores observados e os estimados pela distribuição Gumbel.

$$SQD = \sum (i_{obs} - i_{calc})^2 \quad (2)$$

em que:

SQD - Soma dos quadrados dos desvios;

$i_{obs}$  - intensidades de precipitação estimadas pela distribuição de Gumbel ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$i_{calc}$  - intensidades de precipitação calculadas pela relação IDF ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

Com os parâmetros das relações IDF ( $i_{(t,TR)}$ ) regionais ajustados e as intensidades de precipitação médias ( $\bar{i}$ ) regionais, obtidas da desagregação da precipitação máxima diária anual, foi possível obter os quantis regionais ( $\mu_{(t,TR)}$ ) pela Equação 3.

$$\mu_{(t,TR)} = i_{(t,TR)} / \bar{i} \quad (3)$$

O segundo ajuste necessário é feito por meio da obtenção da equação de variável dependente  $\bar{i}_d$  descrita na Equação 4.

$$\bar{i}_d = A t^{-B} P^C \quad (4)$$

em que:

$\bar{i}_d$  - intensidade de precipitação média máxima regional para o tempo de duração da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

t - tempo de duração da chuva ( $5\text{min} \leq t \leq 1440\text{min}$ );

P - precipitação total anual média (mm);

A, B e C - parâmetros de ajuste do modelo regional.

Com o ajuste dos parâmetros das Equações 3 e 4 para cada região homogênea do estado, foi possível estimar a chuva intensa ( $i_{(t,TR,j)}$ ) de duração t (min), no local j, associada ao período de retorno TR (anos) descrita pela Equação 5.

$$i_{(t,TR,j)} = \bar{i}_d \times \mu_{(t,TR)} \quad (5)$$

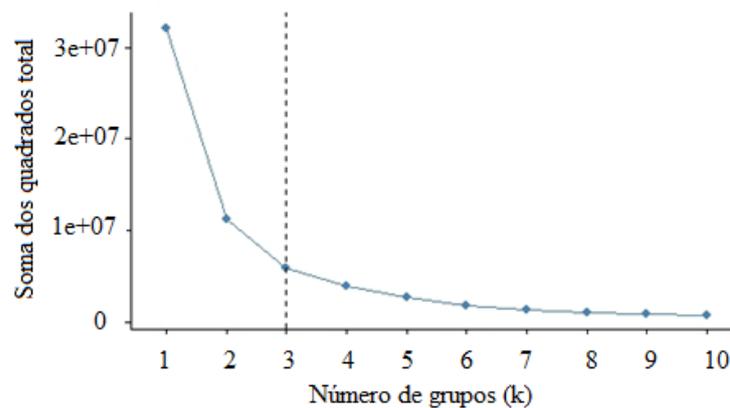
em que:

$\mu_{(t, TR)}$  - quantil adimensional de frequência, de validade regional, associado a duração e ao período de retorno (Index-Flood).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de agrupamentos resultou em três grupos ideais (FIGURA 3). A definição é feita com base na redução significativa da soma dos quadrados total, significando que o aumento do número de grupos não melhorará a representação da homogeneidade.

Figura 3 - Gráfico da definição do número ideal de grupos para os dados de precipitação total anual em Minas Gerais, definido como três (3).

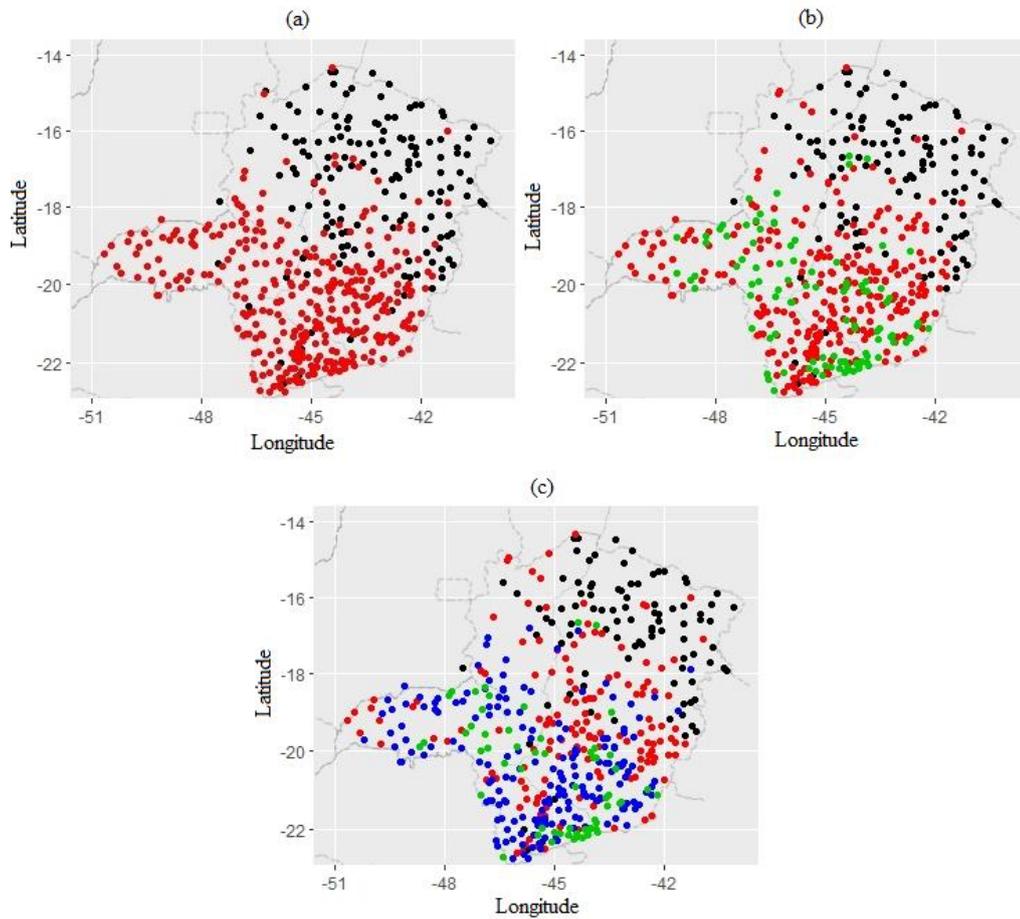


Fonte: Do autor (2018).

Prosseguiu-se então para a obtenção das regiões hidrologicamente homogêneas pelo uso do pacote “Stats” (R Core Team, 2018a), utilizando o algoritmo k-médias que resultou nos agrupamentos da Figura 4 contendo os mapas de Minas Gerais com dois (a), três (b) e quatro (c) grupos. Percebe-se que os grupos formados não são perfeitamente delineados, o que torna necessário a utilização dos ajustes subjetivos recomendados por Hosking e Wallis (1997).

Dantas e Pinto (2011) e Davis e Naghettini (2000) realizaram ajustes subjetivos para uma melhor delimitação das regiões homogêneas levando em consideração os dados ajustados previamente, as características de relevo, vegetação e processos formadores de precipitações, para o estado do Rio de Janeiro, bacia do rio São Francisco, respectivamente. Yin et al. (2016) em seu estudo para a China, também utilizaram o algoritmo k-médias e posteriormente realizaram ajustes subjetivos para obtenção das regiões melhor delimitadas (FIGURA 4).

Figura 4 - Mapas de regiões homogêneas de Minas Gerais com os agrupamentos gerados no R (R Core Team, 2018a) com dois (a), três (b) e quatro (c) grupos homogêneos.



Fonte: Do autor (2018).

Para realizar os ajustes subjetivos alguns critérios foram levados em consideração. O primeiro deles foi a análise visual da permanência de agrupamento ocasionada na região Norte do estado que se manteve constante em (a), (b) e (c), como pode ser observado nos pontos pretos da Figura 4, sendo definido o primeiro grupo homogêneo de três.

No restante do Estado não houve uma tendência visual a ser considerada, portanto o critério utilizado foi baseado no estudo de Mello et al. (2003) que separou Minas Gerais em regiões conforme as diferenças climáticas observadas no estudo para a previsão da chuva de projeto que estão apresentadas na Figura 5.

Figura 5 -Mapa de Minas Gerais e suas respectivas regiões.



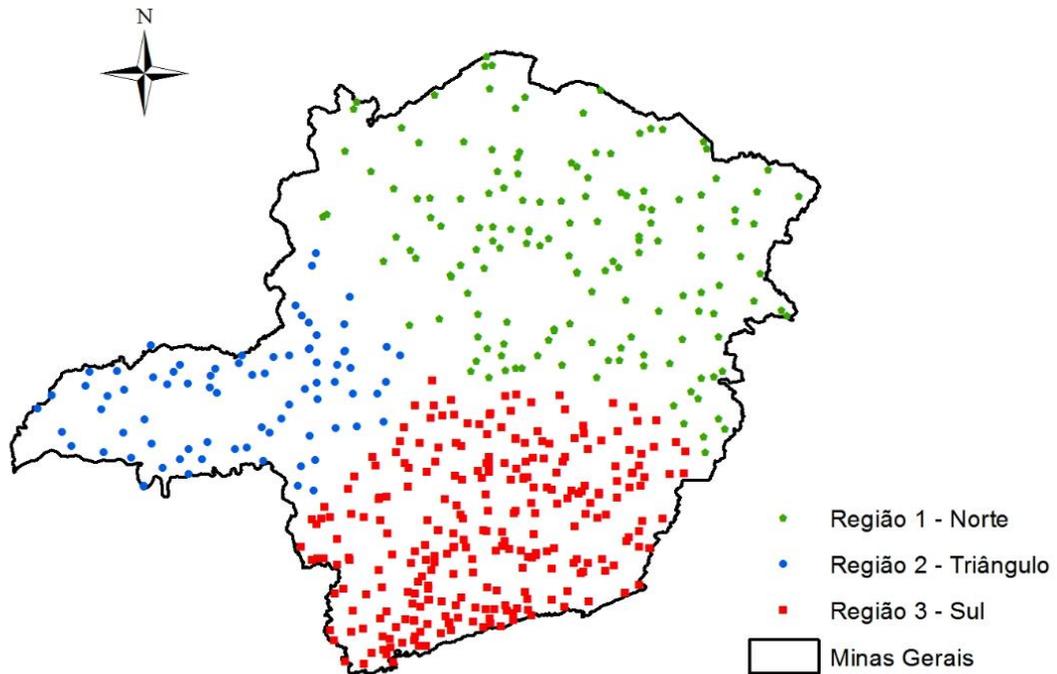
Fonte: Adaptado de Mello et al. (2003).

Por meio do mapa apresentado na Figura 5 foi feita a definição do segundo grupo homogêneo, o Triângulo Mineiro. O restante do estado foi considerado único e o último grupo homogêneo, já que o número ideal de grupos obtido foi três, como demonstrado na Figura 3.

Formaram-se então, as seguintes regiões homogêneas (Figura 6):

- 1) Norte - pequena presença de grandes cadeias montanhosas clima tendendo a semiárido com cobertura vegetal típica de cerrado e caatinga (MELLO et al., 2003), classificação climática Bsh e Bwh (estepes e deserto) segundo Reboita et al. (2015) e precipitação total anual média de 989 mm;
- 2) Triângulo - relevo típico de chapada e altitudes elevadas, com cobertura vegetal de cerrado (MELLO et al., 2003), classificação climática Aw e Cwa segundo Reboita et al. (2015) e precipitação total anual média de 1386 mm;
- 3) Sul - relevo movimentado e presença de cadeias montanhosas com cobertura vegetal oscilando entre remanescentes de mata atlântica e o cerrado (MELLO et al., 2003), classificação climática Cwa e Cwb segundo Reboita et al. (2015) e precipitação total anual média de 1394 mm.

Figura 6 - Mapa de Minas Gerais com as três regiões hidrologicamente homogêneas obtidas na análise de agrupamentos e análise subjetiva.



Fonte: Do autor (2018).

Os resultados da Tabela 1 são referentes ao teste de significância Scott-Knott no programa estatístico SISVAR. São apresentados os resultados do teste de significância que indicam alta significância entre as três regiões (a1, a2 e a3 para as regiões 1, 2 e 3 respectivamente) tornando as regiões hidrologicamente homogêneas.

Tabela 1 -Relatório fornecido pelo SISVAR para o teste de significância das regiões 1, 2 e 3.

<b>Regiões</b>	<b>Resultados do teste</b>
1 - Norte	a1
2- Triângulo Mineiro	a2
3 - Sul	a3

Fonte: Do autor (2018).

Após os testes de heterogeneidade regional Dantas e Pinto (2011) constataram que a bacia do rio São Francisco compõe apenas uma única região homogênea, enquanto Davis e Naghettini (2000) dividiram o Rio de Janeiro em quatro regiões homogêneas assim como Yin et al. (2016) em seu estudo para a China.

Os parâmetros das relações IDF regionais obtidos estão contidos nas equações das relações IDF na Tabela 2.

Tabela 2 - Relações IDF regionais com seus respectivos  $r^2$  ( $i = \text{mmh}^{-1}$ ;  $t = \text{min}$ ,  $TR = \text{anos}$ ).

<b>Regiões Homogêneas</b>	<b>Relação IDF regional</b>	<b><math>r^2</math></b>
1 - Norte	$i = \frac{575,5021 TR^{0,3055}}{(t + 7,6622)^{0,6514}}$	0,9947
2- Triângulo Mineiro	$i = \frac{617,6256 TR^{0,3079}}{(t + 7,6513)^{0,6511}}$	0,9946
3 - Sul	$i = \frac{285,2976 TR^{0,3080}}{(t + 1,9002)^{0,4724}}$	0,9199

Fonte: Do autor (2018).

Para avaliar se o ajuste encontrado para as intensidades de precipitação observadas e calculadas foi satisfatório foram calculados os  $r^2$  contidos na Tabela 2. Como pode ser observado os valores de  $r^2$  foram altos, próximos a 1 indicando o bom ajuste da equação regional.

Com as IDF regionais e as intensidades de precipitação médias regionais da desagregação foram obtidos os quantis regionais ( $\mu_{(t,TR)}$ ) apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5 para as regiões Norte, Triângulo e Sul, respectivamente, com base na Equação 3.

Tabela 3 - Quantis regionais ( $\mu_{(t,TR)}$ ) ou “Index-Flood” para diferentes tempos de retorno (TR) e duração (t) para a região 1 (Norte).

TR (anos)	t (min)											
	1440	720	600	480	360	60	30	25	20	15	10	5
5	2,33803	2,15277	2,01744	1,86263	1,67917	1,70593	1,68827	1,69634	1,69889	1,67886	1,70665	1,68338
10	2,88944	2,66050	2,49324	2,30193	2,07520	2,10826	2,08644	2,09642	2,09956	2,07481	2,10916	2,08039
25	3,82283	3,51992	3,29864	3,04553	2,74556	2,78930	2,76043	2,77363	2,77779	2,74504	2,79049	2,75243
50	4,72443	4,35009	4,07662	3,76380	3,39309	3,44715	3,41146	3,42779	3,43293	3,39245	3,44862	3,40158
100	5,83867	5,37604	5,03808	4,65149	4,19334	4,26015	4,21605	4,23622	4,24257	4,19255	4,26197	4,20384

Fonte: Do autor (2018).

Tabela 4 - Quantis regionais ( $\mu_{(t,TR)}$ ) ou “Index-Flood” para diferentes tempos de retorno (TR) e duração (t) para a região 2 (Triângulo).

TR (anos)	t (min)											
	1440	720	600	480	360	60	30	25	20	15	10	5
5	2,34179	2,15580	2,02017	1,86504	1,68121	1,70727	1,68944	1,69750	1,70003	1,67998	1,70782	1,68463
10	2,89891	2,66868	2,50078	2,30874	2,08118	2,11344	2,09137	2,10135	2,10448	2,07966	2,11412	2,08541
25	3,84380	3,53852	3,31590	3,06127	2,75953	2,80231	2,77304	2,78627	2,79042	2,75751	2,80321	2,76514
50	4,75826	4,38035	4,10477	3,78955	3,41603	3,46899	3,43276	3,44914	3,45427	3,41354	3,47011	3,42298
100	5,89027	5,42246	5,08131	4,69111	4,22872	4,29428	4,24943	4,26971	4,27606	4,22564	4,29566	4,23732

Fonte: Do autor (2018).

Tabela 5 - Quantis regionais ( $\mu_{(t,TR)}$ ) ou “Index-Flood” para diferentes tempos de retorno (TR) e duração (t) para a região 3 (Sul).

TR (anos)	t (min)											
	1440	720	600	480	360	60	30	25	20	15	10	5
5	4,17615	3,40615	3,09300	2,74845	2,35994	1,83317	1,69412	1,68150	1,66545	1,63362	1,66621	1,71170
10	5,17004	4,21678	3,82910	3,40256	2,92159	2,26944	2,09730	2,08168	2,06181	2,02241	2,06275	2,11906
25	6,85582	5,59174	5,07765	4,51202	3,87422	3,00943	2,78116	2,76044	2,73410	2,68185	2,73534	2,81002
50	8,48744	6,92252	6,28608	5,58584	4,79624	3,72565	3,44305	3,41740	3,38479	3,32010	3,38632	3,47878
100	10,50737	8,57001	7,78211	6,91522	5,93770	4,61231	4,26246	4,23071	4,19033	4,11025	4,19224	4,30670

Fonte: Do autor (2018).

Ao avaliar as Tabelas 3, 4 e 5 é possível verificar que os valores dos Quantis regionais ( $\mu_{(t,TR)}$ ) aumentam à medida que aumenta o tempo de retorno e o tempo de duração da chuva, o que também foi encontrado por Dantas e Pinto (2011) e Davis e Naghettini (2000). Para a região 1 os valores variaram de 1,68338 a 5,83867, para a região 2 de 1,68463 a 5,89027 e para a região 3 de 1,71170 a 10,50737. Este aumento está relacionado ao risco que uma chuva intensa pode oferecer a medida que sua duração aumenta e a medida que aumenta a

A segunda etapa consistiu na obtenção das equações de intensidade de precipitação média máxima regional ( $\bar{i}_d$ ) apresentadas na Tabela 6, e percebe-se pelos valores de  $r^2$  que o ajuste para todas as equações foi satisfatório visto que os valores ficaram próximos a 1.

Tabela 6 - Equação intensidade de precipitação média máxima regional e seus respectivos  $r^2$  ( $\bar{i}_d = \text{mm h}^{-1}$ ;  $t = \text{min}$ ;  $P = \text{mm}$ ).

Regiões Homogêneas	Equação intensidade de precipitação média máxima regional	$r^2$
1 - Norte	$\bar{i}_d = 64,2419 t^{-0,4653} P^{0,1922}$	0,9686
2- Triângulo Mineiro	$\bar{i}_d = 23,9628 t^{-0,4653} P^{0,3296}$	0,9713
3 - Sul	$\bar{i}_d = 28,7623 t^{-0,4653} P^{0,2995}$	0,9664

Fonte: Do autor (2018).

Associando as equações da Tabela 6, os quantis regionais das tabelas 3,4 e 5 e os valores de precipitação média anual local (P) é possível estimar a chuva intensa ( $i_{(t,TR,j)}$ ) ou relação IDF local por meio da Equação 5 que poderá utilizada como chuva de projeto para dimensionamento de obras hidráulicas. As relações IDF regionais finais são:

- 1) Norte:  $i_{(t,TR,j)} = (64,2419 t^{-0,4653} P^{0,1922})\mu_{(t,TR)}$ ;
- 2) Triângulo:  $i_{(t,TR,j)} = (23,9628 t^{-0,4653} P^{0,3296})\mu_{(t,TR)}$ ;
- 3) Sul:  $i_{(t,TR,j)} = (28,7623 t^{-0,4653} P^{0,2995})\mu_{(t,TR)}$ .

Verifica-se que as variações de A (23,9628 a 64,2419), B (0,4653) e C (0,1922 a 0,3296) encontram-se dentro das faixas encontrada por Davis e Naghettini (2000) em seu estudo para o Rio de Janeiro, no qual foi baseado este trabalho, sendo eles A:16,204 a 85,264; B: 0,339 a 0,789 e C:0,234 a 0,564.

Esta regionalização permitirá um cálculo mais simplificado das chuvas de projeto em Minas Gerais e contribuirá para otimização dos estudos hidrológicos necessários para os corretos dimensionamentos.

#### 4 CONCLUSÕES

A regionalização do estado de Minas Gerais resultou em três regiões hidrologicamente homogêneas Norte, Triângulo Mineiro e Sul altamente significativas ( $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$ ), o que indica que podem ser consideradas áreas com características distintas.

Os parâmetros ajustados para as relações IDF regionais os valores de “Index-Flood” apresentaram bom ajuste dos dados evidenciado pelos valores elevados de  $r^2$  (superiores a 98%). Tal constatação permite inferir que as relações IDF locais podem ser obtidas pelas equações geradas contribuindo para a otimização do cálculo das chuvas de projeto.

## REFERÊNCIAS

- AGARWAL, A., MAHESWARAN, R., SEHGAL, V., KHOSA, R., SIVAKUMAR, B., BERNHOFER, C. Hydrologic regionalization using wavelet-based multiscale entropy method. **Journal of Hydrology**, v.538, p.22-32, 2016.
- BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2127-2134, 2011.
- BASU, B; SRINIVAS, V. V. Evaluation of the “Index-Flood” approach related regional frequency analysis procedures. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 21, 2016.
- BEN-HUR, A.; GUYON, I. Detecting stable clusters using principal component analysis. **Plant Functional Genomics - Methods and Protocols**, v.159-182, 2003.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; VARGAS, M. M.; CORRÊA, L. de L.; CALDEIRA, T. L.; DURÃES, M. F.; AGUIAR, M. S. Artificial intelligence techniques coupled with seasonality measures for hydrological regionalization of Q90 under Brazilian conditions. **Journal of Hydrology**, v. 541, p. 1406-1419,2016.
- CALEGARIO, A. T. **Identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e comportamento das vazões mínima e média regionalizadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. 2014.
- IBGE. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>>. Acesso em: Jul, 2018.
- DALRYMPLE, T. **Flood frequency analysis**, U.S. Geological Survey, Reston, VA. (1960).
- DANTAS, C. E. O.; PINTO, E. J. A. . Análise de Frequência Regional das Precipitações Máximas Diárias da Bacia do rio São Francisco no Estado de Minas Gerais - Brasil. In: XIV IWRA World Water Congress, 2011, Porto de Galinhas. XIV IWRA World Water Congress: Livro de Resumos, 2011.
- DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C. **Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro**. 2ª ed. Brasília: CPRM, 2000.
- FARSADNIA, F.; ROSTAMI KAMROOD, M.; MOGHADDAM NIA, A.; MODARRES, R.; BRAY, M. T.; HAN, D.; SADATINEJAD, J. Identification of homogeneous regions for regionalization of watersheds by two-level self-organizing feature maps. **Journal of Hydrology**, v. 509, p. 387-397, 2014.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.
- FREITAS, J. C. de; ANDRADE, A. R. S. de; BRAGA, C. C.; GODOI Neto, A. H.; ALMEIDA, T. F. de. Análise de agrupamentos na identificação de regiões homogêneas de índices climáticos no Estado da Paraíba, PB - Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.4, 732-748, 2013.

GADO, T. A.; NGUYEN VAN-T. Regional Estimation of Floods for Ungauged Sites Using Partial Duration Series and Scaling Approach. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.21(12), 2016.

GOYAL, M. K.; GUPTA, V. Identification of homogeneous rainfall regimes in Northeast region of India using fuzzy cluster analysis. **Water Resources Management**, v. 28, p.13, p.4491-4511, 2014.

GHANMI, H.; BARGAOUI, Z., C. M. Estimation of intensity-duration-frequency relationships according to the property of scale invariance and regionalization analysis in a Mediterranean coastal area, **Journal of Hydrology**., v. 541, p. 38-49, 2016.

HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis - an approach based on Lmoments**. Cambridge University Press, P.224, 1997.

MACQUEEN, J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: Le Cam LM, Neyman J (eds) Proceeding of fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability, vol 1, University of California Press. Berkeley, p 281-297, 1967.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. Porto Alegre: Artmed, 2008.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. da; LIMA, J. M. de; FERREIRA, D. F. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.121-128, 2003.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.37-44, 2013.

MIRANDA, A. C. R. **Regiões hidrologicamente homogêneas na Amazônia com Base nas precipitações mensais**. Tese (Doutorado em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, 2016.

MIRHOSSEINI, G.; SRIVASTAVA, P.; STEFANOVA, L. The impact of climate change on rainfall Intensity-Duration- Frequency (IDF) curves in Alabama. **Regional Environmental Change**, v. 13, p. 25-33,2013.

MURTAGH, F.; LEGENDRE, P. Ward's hierarchical clustering method: clustering criterion and agglomerative algorithm. **Journal of Classification**, v. 31 (3), p. 274-295, 2014.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

R Core Team. Package stats. Disponível em: <<https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/00Index.html>>. Acesso em set 2018a.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: jan, 2018b.

REBOITA, M. S. et al. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais (climate aspects in Minas Gerais state). **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 17, 2015.

SECKIN, N.; COBANER, M.; YURTAL, R.; HAKTANIR, T. Comparison of Artificial Neural Network Methods with L-moments for Estimating Flood Flow at Ungauged Sites: The Case of East Mediterranean River Basin, Turkey. **Water Resources Management**, v. 27, p. 2103-2124, 2013.

SINGH, S. K.; LO, E. Y. M.; XIAOSHENG, Q. Cluster analysis of monthly precipitation over the western maritime continent under climate change. **Climate**. v. 5, n. 84, 2017.

UPADHYAYA, S.; RAMSANKARAN, R. A. A. J. Multi-Index Rain Detection: A New Approach for Regional Rain Area Detection from Remotely Sensed Data. **Journal of Hydrometeorology**, v. 15, p. 2314-2330, 2014.

WARD, J.H. Jr. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American statistical association**, v. 58, p. 236-244, 1963.

YIN, Y.; CHEN, H.; XU, C-YU.; XU. W.; SUN, S. Spatio-temporal characteristics of the extreme precipitation by L-moment-based “Index-Flood” method in the Yangtze River Delta region, China. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 124, p. 1005-1022, 2016

**APÊNDICE A - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações.**

Tabela 1-Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

<b>Municípios</b>	<b>Estações</b>	<b>Código</b>	<b>k</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>r<sup>2</sup></b>
Abadia dos dourados	Abadia dos dourados	1847003	778,307	0,127	9,781	0,724	0,987
Abaeté	Abaeté	1945035	815,704	0,140	9,786	0,724	0,988
Abaeté	Porto das Andorinhas	1945038	725,776	0,123	9,788	0,724	0,987
Abre Campo	Abre Campo	2042010	695,154	0,148	9,785	0,724	0,988
Acaiaca	Acaiaca Jusante	2043009	776,322	0,141	9,790	0,724	0,988
Águas Formosas	Águas Formosas	1740033	788,613	0,117	9,788	0,724	0,987
Águas Vermelhas	Itamarati	1541010	670,016	0,159	9,788	0,724	0,988
Aimoré	São Sebastião da Encruzilhada	1941010	771,589	0,145	9,785	0,724	0,988
Aiuruoca	Aiuruoca	2144018	842,025	0,142	9,783	0,724	0,988
Alagoa	Alagoa	2244065	813,623	0,161	9,781	0,724	0,988
Alfenas	Alfenas	2145042	806,963	0,156	9,786	0,724	0,988
Almenara	Almenara	1640002	687,178	0,161	9,791	0,724	0,987
Alpinópolis	São José da Barra	2046004	693,810	0,114	9,786	0,724	0,987
Alvarenga	Alvarenga	1941021	890,760	0,132	9,782	0,724	0,987
Andrelândia	Andrelândia	2144019	778,166	0,145	9,782	0,724	0,988
Antônio Carlos	Campolide	2143005	805,568	0,141	9,785	0,724	0,988
Antônio Dias	Antônio Dias	1942005	797,171	0,125	9,785	0,724	0,987
Araçuaí	Araçuaí	1642001	728,781	0,120	9,783	0,724	0,987
Araçuaí	Porto Santana	1742001	698,198	0,159	9,785	0,724	0,988
Araguari	Araguari	1848010	851,451	0,129	9,782	0,724	0,988
Araújos	Araújos	1945000	760,015	0,153	9,789	0,724	0,988

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Araxá	Araxá (Inmet)	1946002	817,443	0,138	9,781	0,724	0,987
Arcos	Arcos (Copasa)	2045010	865,862	0,161	9,780	0,724	0,988
Arinos	Arinos - Inmet	1546008	771,889	0,143	9,788	0,724	0,987
Assarai	Assarai Montante	1941006	787,656	0,144	9,783	0,724	0,987
Astolfo Dutra	Astolfo Dutra	2142000	833,794	0,147	9,783	0,724	0,988
Ataléia	Fidelândia Montante	1841007	780,935	0,148	9,780	0,724	0,988
Baependi	Baependi	2144004	680,245	0,153	9,790	0,724	0,988
Baependi	Usina Congonhal	2244054	760,959	0,135	9,791	0,724	0,987
Baldim	Fazenda Caraibas	1943042	788,413	0,146	9,783	0,724	0,988
BambuÍ	BambuÍ	2046010	3195,314	0,203	30,111	1,011	0,990
Bandeira	Bandeira	1540020	781,229	0,147	9,781	0,724	0,988
Barbacena	Barbacena	2143010	763,750	0,117	9,787	0,724	0,987
Barbacena	Usina Barbacena	2143009	743,254	0,116	9,786	0,724	0,987
Barbacena	Vargem do Engenho	2143007	762,640	0,129	9,786	0,724	0,987
Barra Longa	Fazenda Ocidente	2043027	710,854	0,160	9,781	0,724	0,987
Barroso	Barroso	2143006	747,651	0,143	9,782	0,724	0,988
Belmiro Braga	Sobraji	2143021	631,377	0,180	9,788	0,724	0,989
Belo Horizonte	Caixa de Areia	1943022	886,993	0,145	9,782	0,724	0,988
Belo Oriente	Cachoeira Escura	1942001	802,525	0,168	9,787	0,724	0,988
Betim	Betim	1944005	722,664	0,156	9,786	0,724	0,988
Bocaina de Minas	Mirantão (Capelinha das Flores)	2244058	835,077	0,138	9,790	0,724	0,988
Bocaina de Minas	Ponte do Costa	2244057	834,609	0,138	9,787	0,724	0,987
Bocaina de Minas	Serra do Palmital	2244075	762,346	0,144	9,789	0,724	0,987
Bocaiúva	Pires de Albuquerque	1643013	764,380	0,153	9,786	0,724	0,987
Bocaiúva	Vila Terra Branca	1743002	2618,624	0,165	31,915	0,888	0,988
Bom Despacho	Estação Álvaro da Silveira	1945004	725,443	0,195	9,778	0,724	0,988

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Bom Jardim de Minas	Bom Jardim de Minas	2144001	902,136	0,189	15,774	0,716	0,987
Bom Jardim de Minas	Pedreira (Pacau)	2244064	761,779	0,162	9,790	0,724	0,988
Bom Jardim de Minas	Tabuão	2144016	814,911	0,137	9,787	0,724	0,988
Bom Jesus da Penha	Bom Jesus da Penha	2146078	799,456	0,157	9,781	0,724	0,988
Bom Jesus do Galho	Bom Jesus do Galho	1942002	716,992	0,156	9,781	0,724	0,988
Bom Sucesso	Bom Sucesso	2144000	754,597	0,152	9,787	0,724	0,987
Bom Sucesso (macaia)	Macaia	2144026	5212,471	0,181	33,706	1,061	0,987
Borda da Mata	Borda da Mata	2246127	746,569	0,154	9,781	0,724	0,987
Botelhos	Cachoeira do Carmo	2146028	794,576	0,156	9,781	0,724	0,988
Brás Pires	Braz Pires	2043026	1664,160	0,191	24,171	0,828	0,988
Brasília de Minas	Brasília de Minas Jusante	1645024	687,055	0,121	9,790	0,724	0,988
Brasópolis	Brasópolis	1644027	713,951	0,138	9,783	0,724	0,987
Brumadinho	Melo Franco	2245070	712,953	0,117	9,785	0,724	0,987
Buenópolis	Estação de Curimatai	2044008	573,873	0,172	9,784	0,724	0,987
Buritis	Buritis Jusante	1744030	656,759	0,153	9,787	0,724	0,988
Buritizeiro	Cachoeira da Manteiga	1546001	6040,241	0,210	37,640	1,100	0,988
Buritizeiro	Cachoeira do Paredão	1645009	843,927	0,155	9,788	0,724	0,988
Caetanópolis	Caetanópolis	1745001	763,080	0,167	9,790	0,724	0,987
Caeté	Caeté	1944018	1542,323	0,208	16,364	0,878	0,988
Camanducaia	Camanducaia	1943010	662,824	0,129	9,791	0,724	0,987
Cambuí	Cambuí (CSME)	2246057	714,466	0,151	9,780	0,724	0,988
Cambuquira	Fazenda Juca Casimiro	2246050	727,314	0,155	9,786	0,724	0,988
Campanário	Campanário	2145008	742,241	0,156	9,784	0,724	0,988
Campanha	Palmela dos Coelhos	1841003	738,137	0,129	9,789	0,724	0,988
Campanha	Usina do Chicão	2145024	677,962	0,193	9,787	0,724	0,989
Campina Verde	Campina Verde	2145009	830,598	0,128	9,782	0,724	0,987

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Campo Florido	Campo Florido	1948007	888,171	0,128	9,791	0,724	0,987
Campos Gerais	Campos Gerais	2145041	778,442	0,130	9,788	0,724	0,987
Canápolis	Avantiguara	1849006	755,709	0,103	9,783	0,724	0,987
Candéias	Candéias	2045020	801,626	0,149	9,784	0,724	0,988
Capelinha	Capelinha	1742014	770,642	0,146	9,782	0,724	0,987
Capinópolis	Capinópolis	1849017	6527,477	0,226	32,114	1,141	0,987
Capitão Enéas	Capitão Enéas	1643020	3359,638	0,221	25,101	1,026	0,988
Caputira	Caputira (Amazonita)	2042007	742,368	0,131	9,781	0,724	0,987
Carandaí	Carandaí	2043018	1961,391	0,181	24,802	0,882	0,988
Carangola	Carangola	2042000	744,204	0,154	9,784	0,724	0,987
Caratinga	Caratinga	1942021	788,540	0,128	9,781	0,724	0,987
Caratinga	Santo Antônio do Manhuaçu	1941011	840,690	0,146	9,786	0,724	0,988
Carbonita	Carbonita	1742008	843,227	0,100	9,781	0,724	0,988
Carlos Chagas	Carlos Chagas	1740000	766,555	0,160	9,791	0,724	0,988
Carmo da Cachoeira	Carmo da Cachoeira	2145044	695,815	0,132	9,781	0,724	0,987
Carmo da Mata	Carmo da Mata	2044005	4296,270	0,201	39,781	0,994	0,987
Carmo do Cajuru	Carmo do Cajuru	2044003	762,283	0,131	9,786	0,724	0,987
Carmo do Paranaíba	Carmo do Paranaíba	1946022	3655,166	0,172	27,646	1,004	0,987
Carmo do Rio Claro	Porto Carrito	2046005	586,327	0,165	9,789	0,724	0,988
Carrancas	Carrancas	2144038	751,692	0,129	9,783	0,724	0,987
Carvalhos	Carvalhos	2144025	868,009	0,147	9,782	0,724	0,988
Cascalho Rico	Cascalho Rico	1847007	916,432	0,116	9,784	0,724	0,987
Cataguases	Cataguases	2142001	873,246	0,148	9,780	0,724	0,988
Caxambú	Caxambú	2144003	6058,805	0,220	32,869	1,090	0,988
Central de Minas	Central de Minas	1841018	781,713	0,141	9,785	0,724	0,987
Claro dos Poços	Fazenda Limoeiro	1746018	704,375	0,117	9,770	0,724	0,987

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Claro dos Poções	Vista Alegre	1644025	852,487	0,151	9,786	0,724	0,987
Comendador Gomes	Comendador Gomes	1949005	868,900	0,134	9,784	0,724	0,987
Comercinho	Comercinho	1641013	740,400	0,167	9,782	0,724	0,988
Conceição das Alagoas	Uhe Porto Colômbia Rio Uberaba	1948001	773,965	0,115	9,787	0,724	0,988
Conceição das Pedras	Conceição das Pedras	2245090	795,949	0,155	9,785	0,724	0,988
Conceição das Pedras	Usina São Miguel	2245068	659,291	0,113	9,788	0,724	0,987
Conceição do Mato dentro	Conceição do Mato dentro	1943002	1365,299	0,171	16,667	0,807	0,987
Conceição do Rio Verde	Conceição do Rio Verde	2145001	758,198	0,147	9,787	0,724	0,988
Conceição dos Ouros	Conceição dos Ouros	2245066	696,326	0,150	9,785	0,724	0,988
Congonhas	Congonhas Linigrafo	2043013	732,317	0,153	9,784	0,724	0,988
Conquista	Conquista	1947002	890,185	0,155	9,781	0,724	0,988
Conselheiro Lafaiete	Conselheiro Lafaiete	2043005	717,729	0,147	9,784	0,724	0,988
Conselheiro Lafaiete	Ponte São Lourenço	2043017	787,269	0,145	9,786	0,724	0,988
Conselheiro Pena	Barra do Cuieté Jusante	1941005	739,283	0,149	9,787	0,724	0,988
Consolação	Bairro do Analdino	2245084	708,324	0,176	9,791	0,724	0,989
Coqueiral	Coqueiral	2145032	812,080	0,150	9,784	0,724	0,987
Coração de Jesus	Coração de Jesus	1644001	741,135	0,147	9,780	0,724	0,989
Coração de Jesus	São Geraldo	1644034	733,314	0,142	9,791	0,724	0,988
Coração de Jesus	São João da Lagoa	1644020	648,068	0,105	9,787	0,724	0,987
Cordisburgo	Fazenda Capão do Gado	1944068	629,684	0,117	9,783	0,724	0,987
Corinto	Corinto	1844017	775,896	0,164	9,786	0,724	0,988
Corinto	Ponte do Bicudo	1844018	739,034	0,115	9,787	0,724	0,987
Coroaci	Coroaci	1842005	887,300	0,142	9,789	0,724	0,988
Coromandel	Coromandel	1847008	899,687	0,135	9,781	0,724	0,988
Coromandel	Pantano	1846006	830,780	0,141	9,789	0,724	0,987
Coronel Fabriciano	Mario de Carvalho	1942029	840,454	0,135	9,784	0,724	0,988

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Coronel Murta	Coronel Murta	1642002	729,928	0,142	9,787	0,724	0,987
Córrego Danta	Fazenda Novo Horizonte	1945015	907,252	0,147	9,782	0,724	0,988
Córrego Novo	Cachoeira dos Óculos Montante	1942031	812,768	0,144	9,784	0,724	0,987
Cristina	Cristina Montante	2245065	819,687	0,194	10,121	0,741	0,988
Cruzília	Cruzília	2144037	704,234	0,139	9,798	0,725	0,987
Curvelo	Curvelo	1844000	704,232	0,121	9,799	0,725	0,987
Curvelo (Ponte do Licínio)	Ponte do Licínio	1844003	5695,919	0,179	36,719	1,033	0,988
Delfim Moreira	Delfim Moreira	2245064	2891,439	0,178	23,854	0,958	0,988
Delfinópolis	Delfinópolis	2046009	704,611	0,125	9,768	0,724	0,987
Desterro do Melo	Desterro do Melo	2143003	854,094	0,138	9,783	0,724	0,987
Diamantina	Diamantina	1843009	766,317	0,129	9,787	0,724	0,988
Diamantina (Mendanha)	Mendanha	1843003	2144,847	0,171	19,378	0,909	0,988
Divino das Laranjeiras	Divino das Laranjeiras	1841019	796,864	0,160	9,784	0,724	0,988
Divinópolis	Divinópolis	2044006	771,530	0,145	9,781	0,724	0,988
Dom Cavati	Dom Cavati	1942008	6482,993	0,216	35,230	1,154	0,987
Dores do Indaia	dores do Indaia (CVSF)	1945019	842,806	0,138	9,788	0,724	0,988
Eloi Mendes	Porto dos Buenos	2145023	755,361	0,148	9,789	0,724	0,987
Entre Rios de Minas	Entre Rios de Minas	2044007	3038,921	0,225	25,041	0,993	0,988
Entre Rios de Minas	Usina João Ribeiro	2044040	734,443	0,142	9,788	0,724	0,988
Espinosa	Itamirim	1442032	670,958	0,177	9,784	0,724	0,988
Estrela do Sul	Estrela do Sul	1847001	843,995	0,130	9,782	0,724	0,987
Felício dos Santos	Felisberto Caldeira	1843005	696,947	0,132	9,781	0,724	0,986
Felisburgo	Felisburgo	1640010	739,789	0,171	9,781	0,724	0,988
Ferros	Ferros	1943003	2579,574	0,205	21,318	0,995	0,987
Florestal	Fazenda Escola Florestal	1944007	758,927	0,141	9,791	0,724	0,987
Formoso	Formoso	1446003	1193,646	0,180	11,303	0,800	0,987

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Formoso	Piratinga	1546011	723,439	0,157	9,789	0,724	0,988
Fortuna de Minas	Fortuna de Minas	1944059	803,616	0,116	9,784	0,724	0,987
Francisco Badaro	Francisco Badaro (Efbm)	1742012	827,653	0,165	9,781	0,724	0,989
Francisco Sá	Canabrava	1643003	738,728	0,141	9,786	0,724	0,988
Fronteira	Fronteira	2049072	828,653	0,132	9,784	0,724	0,987
Frutal	Frutal	2048102	704,243	0,171	9,791	0,724	0,988
Gameleira	Gameleira	1543019	717,575	0,149	9,783	0,724	0,988
Gonçalves	Cachoeira do Gonçalves	2245082	825,549	0,143	9,789	0,724	0,988
Gouveia	Gouveia	1843002	800,874	0,146	9,785	0,724	0,987
Governador Valadares	Governador Valadares	1841020	1198,222	0,172	11,101	0,851	0,988
Grão Mogol	Fazenda Jambeiro Grão Mogol	1642014	791,386	0,136	9,781	0,724	0,987
Grão Mogol	Pensão Caveiras	1643027	613,667	0,182	9,788	0,724	0,989
Grão Mogol	Porto Mandacaru	1642007	711,098	0,153	9,789	0,724	0,988
Grão Mogol	Santa Marta	1643017	744,630	0,154	9,786	0,724	0,988
Guanhães	Guanhães	1842007	808,080	0,120	9,784	0,724	0,987
Guapé	Guapé	2045028	713,481	0,173	9,781	0,724	0,988
Guaraciaba	Usina da Brecha	2043025	803,729	0,142	9,790	0,724	0,987
Guaranésia	Guaranésia	2146080	799,861	0,146	9,787	0,724	0,988
Guaranésia	Onça	2146081	720,117	0,113	9,788	0,724	0,987
Guarani	Guarani	2143001	739,586	0,132	9,784	0,724	0,987
GuardaMor	GuardaMor	1747005	821,295	0,125	9,782	0,724	0,987
Guaxupé	Guaxupé	2146026	744,184	0,135	9,780	0,724	0,988
Guimaraná	Guimaraná	1846004	726,501	0,194	9,781	0,724	0,988
Gurinhata	Gurinhata	1949003	831,790	0,133	9,782	0,724	0,987
Gurinhata	Ponte BR365 (Faz. Boa Vista)	1849026	802,639	0,143	9,785	0,724	0,987
Ibertioga	Ibertioga	2143008	673,713	0,183	9,790	0,724	0,989

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Ibiá	Fazenda São Mateus	1946007	1200,000	0,215	23,151	0,765	0,988
Ibiá	Ibiá	1946004	745,453	0,128	9,782	0,724	0,988
Ibiraci	UHE Mascarenhas de Moraes Barramento	2047045	763,527	0,127	9,785	0,724	0,987
Ibirité	Ibirité	2044012	856,327	0,144	9,781	0,724	0,988
Ibituruna	Ibituruna	2144023	771,990	0,139	9,785	0,724	0,987
Icem	UHE Marimbondo Met	2049071	804,204	0,150	9,789	0,724	0,987
Iguatama	Iguatama	2045002	640,852	0,184	7,150	0,700	0,988
Ilicínea	Ilicínea	2045026	791,483	0,150	9,786	0,724	0,987
Inconfidentes	Inconfidentes	2246056	657,986	0,114	9,789	0,724	0,987
Indianópolis	Porto Saracura	1947019	670,371	0,146	9,790	0,724	0,987
Ipanema	Ipanema	1941000	793,539	0,139	9,783	0,724	0,988
Ipiaçu	Ipiaçu	1849002	887,785	0,157	9,784	0,724	0,988
Iraí de Minas	Iraí de Minas	1847010	5942,282	0,177	40,081	1,061	0,987
Itabira	Pico do Itabira	1943017	778,186	0,127	9,785	0,724	0,986
Itabirito	Itabirito Linigrafo	2043060	699,971	0,126	9,794	0,724	0,988
Itacambira	Itacambira	1743016	792,740	0,157	9,785	0,724	0,987
Itacarambi	Fazenda Canadá	1544018	727,358	0,145	9,783	0,724	0,988
Itaguara	Itaguara	2044036	859,642	0,176	9,789	0,724	0,988
Itajubá	São João de Itajubá	2245083	721,517	0,147	9,786	0,724	0,987
Itajubá	Itajubá (Inmet)	2245073	678,548	0,161	9,785	0,724	0,987
Itamarati	Usina Maurício	2142006	891,513	0,148	9,785	0,724	0,988
Itamogi	Fazenda Carvalhais	2147054	772,627	0,135	9,790	0,724	0,987
Itanhandu	Itanhandu	2244068	714,683	0,136	9,785	0,724	0,987
Itanhomi	Itanhomi	1941018	736,040	0,153	9,783	0,724	0,988
Itaobim	Itaobim	1641001	1645,627	0,188	25,051	0,819	0,987
Itaobim	São João Grande	1641007	628,123	0,146	9,788	0,724	0,988

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Itapajipe	Itapajipe (Lageado)	1949007	822,227	0,130	9,783	0,724	0,987
Itapecerica	Lamounier	2045005	809,184	0,136	9,786	0,724	0,988
Itatiaiuçu	Fazenda Benedito Chaves	2044016	763,359	0,127	9,785	0,724	0,987
Itaú de Minas	Itaú de Minas	2046001	706,347	0,124	9,778	0,724	0,987
Itaúna	Itaúna Montante	2044002	758,403	0,120	9,791	0,724	0,988
Itinga	Itinga	1641010	2042,521	0,208	24,596	0,886	0,988
Ituiutaba	Ituiutaba	1849000	767,830	0,164	9,790	0,724	0,988
Ituiutaba	Ponte do Prata	1949006	831,577	0,140	9,788	0,724	0,987
Itumirim	Itumirim	2144005	1272,181	0,200	18,220	0,791	0,987
Iturama	Iturama	1950000	796,073	0,128	9,786	0,724	0,987
Iturama	União (Vila União)	1950012	790,655	0,123	9,787	0,724	0,987
Itutinga	Itutinga	2144013	822,574	0,135	9,784	0,724	0,988
Jaboticatubas	Jaboticatubas	1943004	750,351	0,138	9,781	0,724	0,987
Jacinto	Jacinto	1640000	574,945	0,198	7,787	0,710	0,988
Jacutinga	Jacutinga	2246052	699,290	0,135	9,786	0,724	0,987
Janaúba	Janaúba	1543013	669,158	0,151	9,789	0,724	0,988
Januária	Cajueiro	1445000	687,650	0,137	9,780	0,724	0,988
Januária	Januária	1544007	1031,255	0,172	13,920	0,745	0,988
Januária	Pedra de Maria da Cruz	1544017	666,894	0,184	20,877	0,635	0,988
Januária	Usina do Pandeiros Montante	1544032	683,451	0,123	9,788	0,724	0,987
Jequeri	Jequeri	2042001	783,060	0,152	9,791	0,724	0,988
Jequitai	Jequitai	1744008	854,059	0,151	9,781	0,724	0,988
Jequitibá	Fazenda Vargem Bonita	1944024	736,334	0,144	9,788	0,724	0,987
Jequitinhonha	Jequitinhonha	1641002	740,970	0,146	9,781	0,724	0,988
Joaima	Fazenda Boa Sorte Jusante	1641012	734,767	0,132	9,786	0,724	0,987
João Pinheiro	Caatinga	1745000	838,785	0,148	9,783	0,724	0,988

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

João Pinheiro	Ponte BR-040 ( Prata )	1746006	716,710	0,213	5,250	0,752	0,987
Juatuba	José de Melo	1943024	810,793	0,133	9,783	0,724	0,987
Juatuba	Ponte Nova do Paraopeba	1944004	978,205	0,187	17,830	0,722	0,987
Juiz de Fora	Formiga	2143012	672,279	0,120	9,788	0,724	0,987
Juiz de Fora	Juiz de Fora	2246088	2302,718	0,192	30,652	0,922	0,988
Juramento	Juramento	1643007	707,369	0,136	9,775	0,724	0,987
Ladainha	Ladainha (Efbm)	1741006	765,244	0,144	9,789	0,724	0,988
Lagamar	Lagamar	1846023	787,210	0,130	9,782	0,724	0,987
Lagoa da Prata	Lagoa da Prata	2045011	886,045	0,151	9,782	0,724	0,988
Lagoa dos Patos	Lagoa dos Patos	1644014	582,525	0,162	9,781	0,724	0,988
Lagoa Santa	Ponte Raul Soares	1943049	3000,000	0,208	23,080	1,003	0,988
Lambari	Lambari	2145013	902,103	0,139	9,789	0,724	0,987
Lassance	Lassance	1744010	742,280	0,135	9,784	0,724	0,987
Lavras	Lavras	2144014	755,926	0,152	9,781	0,724	0,989
Lavras	Usina Couro do Cervo	2145007	787,197	0,146	9,787	0,724	0,987
Liberdade	Mina de Níquel	2244056	816,219	0,158	9,785	0,724	0,988
Lima Duarte	Conceição do Ibitipoca	2143011	803,580	0,137	9,781	0,724	0,987
Lima Duarte	Usina Brumado	2143019	747,603	0,138	9,789	0,724	0,987
Lontra	Lontra	1544036	531,410	0,158	9,788	0,724	0,988
Luminarias	Luminarias	2144006	766,473	0,148	9,784	0,724	0,987
Luz	Fazenda da Curva	1945016	781,934	0,149	9,781	0,724	0,987
Luz	Luz	1945012	5240,505	0,187	30,472	1,065	0,988
Luz	Taquaral	1945037	844,301	0,126	9,786	0,724	0,987
Machado	Machado	2145002	3574,346	0,188	21,695	1,033	0,987
Madre de Deus de Minas	Madre de deus de Minas	2144007	2727,363	0,189	25,419	0,935	0,988
Malacacheta	Malacacheta	1742017	704,244	0,132	9,788	0,724	0,987

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Manga	Manga	1443001	1289,065	0,189	12,647	0,832	0,988
Manga	Matias Cardoso	1443008	776,038	0,125	9,788	0,724	0,987
Manga	Miravania	1444003	834,610	0,160	9,789	0,724	0,988
Manga	Queimadas	1443004	727,721	0,127	9,788	0,724	0,987
Manhuaçu	dores do Manhumirim	2041008	677,903	0,167	9,790	0,724	0,987
Mantena	Vargem Grande	1841006	725,656	0,132	9,789	0,724	0,987
Mar de Espanha	Estevão Pinto	2143013	722,597	0,153	9,783	0,724	0,987
Maria da Fé	Maria da Fé	2245088	523,763	0,168	5,128	0,661	0,987
Mariana	Fazenda Paraíso	2043011	809,929	0,138	9,782	0,724	0,987
Mariana	Monsenhor Horta	2043008	796,587	0,130	9,786	0,724	0,987
Martinho Campos	Martinho Campos	1945039	751,377	0,127	9,789	0,724	0,987
Mateus Leme	Barro Preto	1944026	835,296	0,146	9,782	0,724	0,988
Mateus Leme	Juatuba	1944027	2404,064	0,231	22,736	0,918	0,987
Mateus Leme	Mateus Leme	1944048	843,148	0,144	9,785	0,724	0,987
Mateus Leme	Serra Azul	2044054	800,317	0,139	9,789	0,724	0,987
Mateus Leme	Jardim	2044052	2049,118	0,168	16,674	0,913	0,987
Mathias Lobato	Vila Matias Montante	1841001	814,326	0,140	9,786	0,724	0,988
Matipó	Matipó	2042017	747,174	0,142	9,785	0,724	0,988
Medina	Medina	1641011	863,335	0,147	9,790	0,724	0,987
Minas Novas	Minas Novas	1742023	684,213	0,164	9,790	0,724	0,988
Mirabela	São Bento	1644018	696,519	0,157	9,786	0,724	0,988
Miradouro	Jussara	2142009	770,476	0,153	9,782	0,724	0,988
Monsenhor Paulo	Monsenhor Paulo	2145017	722,022	0,159	9,788	0,724	0,988
Montalvânia	Capitânea	1444001	758,118	0,128	9,781	0,724	0,987
Montalvânia	Juvenília	1444004	9920,044	0,197	46,664	1,147	0,988
Montalvânia	Montalvânia	1444002	739,664	0,136	9,786	0,724	0,986

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Montalvânia	São Gonçalo	1444000	1715,786	0,201	26,962	0,815	0,988
Monte Alegre de Minas	Monte Alegre de Minas	1848000	3628,100	0,171	29,525	1,011	0,987
Monte Alegre de Minas	Ponte Rio Piedade	1849003	734,675	0,122	9,786	0,724	0,987
Monte Alegre de Minas	Xapetuba	1848009	849,875	0,141	9,787	0,724	0,987
Monte Belo	Juréia	2146027	689,983	0,155	9,783	0,724	0,988
Monte Belo	Monte Belo	2146036	757,560	0,156	9,786	0,724	0,987
Monte Carmelo	Monte Carmelo	1847000	792,569	0,150	9,786	0,724	0,988
Monte Sião	Monte Sião	2246055	749,285	0,136	9,785	0,724	0,987
Montes Claros	Fazenda Pentaura	1643006	653,629	0,116	9,788	0,724	0,987
Montes Claros	Montes Claros	1643018	1433,047	0,221	16,329	0,963	0,989
Montes Claros	Santa Rosa de Lima	1643015	783,787	0,181	9,785	0,724	0,987
Montes Claros	São João da Vereda	1644028	762,855	0,137	9,785	0,724	0,987
Morada Nova de Minas	Barra do Paraopeba	1845000	732,834	0,160	9,783	0,724	0,988
Morro da Garça	Morro da Garça	1844019	829,074	0,153	9,786	0,724	0,988
Morro do Pilar	Morro do Pilar	1943025	1727,084	0,189	19,210	0,870	0,987
Muriaé	Fazenda Umbaúbas	2142004	825,610	0,152	9,782	0,724	0,988
Muriaé	Muriaé	2142005	877,391	0,132	9,786	0,724	0,987
Muriaé	Usina Coronel domiciano	2142003	879,763	0,147	9,790	0,724	0,983
Mutum	Mutum	1941019	798,263	0,139	9,787	0,724	0,988
Muzambinho	Muzambinho	2146030	727,885	0,149	9,790	0,724	0,987
Nanuque	Fazenda Cajubi	1740002	750,937	0,158	9,786	0,724	0,988
Nanuque	Nanuque Montante	1740001	770,113	0,147	9,786	0,724	0,988
Naque	Naque Velho	1942032	901,935	0,132	9,785	0,724	0,988
Nepomuceno	Usina Nepomuceno	2145021	775,149	0,159	9,788	0,724	0,987
Nova Era	Nova Era	1943005	666,110	0,108	9,789	0,724	0,987
Nova Lima	Lagoa Grande (MMV)	2043002	811,890	0,150	9,784	0,724	0,988

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Nova Lima	Miguelão	2043058	790,628	0,167	9,788	0,724	0,988
Nova Lima	Pch Codorna Barramento	2043057	706,357	0,159	9,789	0,724	0,987
Nova Lima	Represa das Codornas (MMV)	2043042	801,909	0,136	9,785	0,724	0,987
Oliveira	Oliveira	2044001	729,854	0,129	9,788	0,724	0,987
Oliveira	Ponte Fernão Dias	2044027	764,606	0,130	9,786	0,724	0,988
Onça de Pitangui	Jaguaruna Jusante	1944011	722,188	0,141	9,782	0,724	0,987
Ouro Preto	Fazenda Água Limpa Jusante	2043056	691,056	0,130	9,784	0,724	0,987
Ouro Preto	Vargem do Tejucal	2043007	730,970	0,163	9,787	0,724	0,988
Padre Paraíso	Padre Paraíso	1741013	686,146	0,147	9,787	0,724	0,988
Papagaios	Papagaios	1944049	765,111	0,155	11,514	0,698	0,988
Paracatu	Fazenda Poções	1746017	846,644	0,130	9,784	0,724	0,987
Paracatu	Santa Rosa	1746002	9099,043	0,184	49,164	1,125	0,987
Paracatu	Ponte BR-040 (Paracatu)	1746007	1463,173	0,184	17,791	0,843	0,988
Paraisópolis	Paraisópolis (CSME)	2245094	606,758	0,169	9,789	0,724	0,988
Paraopeba	Horto Florestal	1944010	808,889	0,153	9,786	0,724	0,988
Paraopeba	Ponte da Taquara	1944031	734,100	0,132	9,789	0,724	0,987
Passa Tempo	Fazenda Campo Grande	2044009	786,335	0,138	9,780	0,724	0,987
Passa Vinte	Zelinda	2244036	863,635	0,132	9,790	0,724	0,988
Passos	Passos	2046000	705,711	0,173	9,786	0,724	0,988
Passos	Uhe Furnas Barramento	2046027	740,876	0,134	9,787	0,724	0,987
Patos de Minas	Leal de Patos	1846017	794,851	0,153	9,786	0,724	0,987
Patos de Minas	Patos de Minas	1846000	1119,829	0,184	15,200	0,777	0,986
Patos de Minas	Santana de Patos	1846007	817,693	0,150	9,787	0,724	0,987
Patos de Minas (rocinha)	Rocinha	1846019	4741,682	0,202	42,383	0,993	0,987
Patrocínio	Charqueada do Patrocínio	1846002	829,019	0,140	9,789	0,724	0,987
Patrocínio	Ponte João Cândido	1947006	779,252	0,141	9,788	0,724	0,988

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Patrocínio	Salitre	1946005	740,086	0,162	9,788	0,724	0,988
Patrocínio do Muriaé	Patrocínio do Muriaé	2142002	866,603	0,135	9,785	0,724	0,987
Peçanha	Peçanha	1842002	705,560	0,157	9,788	0,724	0,988
Pedra Azul	Pedra Azul	1641008	5786,512	0,192	35,268	1,077	0,987
Pedro Leopoldo	Companhia Ind. Belo Horizonte	1944023	823,681	0,133	9,782	0,724	0,988
Pedro Leopoldo	Pedro Leopoldo	1944009	775,028	0,149	9,785	0,724	0,987
Perdizes	Perdizes	1947007	694,417	0,141	9,787	0,724	0,988
Piau	Piau	2143022	818,416	0,151	9,789	0,724	0,988
Pimenta	Fazenda Olhos D'Água	2045015	776,423	0,149	9,781	0,724	0,987
Pirajuba	Pirajuba	1948010	838,239	0,109	9,787	0,724	0,986
Piranga	Piranga	2043010	2077,822	0,178	31,713	0,842	0,987
Pirapetinga	Fazenda da Barra (Pirapetinga)	2142007	813,907	0,141	9,787	0,724	0,988
Pirapora	Pirapora	1744006	3348,439	0,206	28,386	0,986	0,988
Pitangui	Se Pitangui	1944032	836,960	0,132	9,786	0,724	0,987
Pitangui	Velho da Taipa	1944021	3600,000	0,195	32,524	0,962	0,987
Piumhi	Piumhi	2045012	1958,651	0,220	16,239	0,919	0,987
Planura	Uhe Porto Colômbia Plu	2048096	864,265	0,120	9,785	0,724	0,988
Poço Fundo	Cachoeira Poço Fundo	2146029	793,631	0,130	9,784	0,724	0,988
Poços de Caldas	Poços de Caldas	2146048	795,907	0,125	9,788	0,724	0,988
Pompéu	Porto Pará	1945020	679,357	0,188	8,715	0,731	0,987
Pompéu	Silva Campos	1944063	822,983	0,130	9,786	0,724	0,987
Ponte Nova	Ponte Nova	2042018	2500,000	0,154	27,096	0,912	0,987
Ponte Nova	Usina Pontal	2042012	769,450	0,132	9,790	0,724	0,987
Porteirinha	Gorutuba	1543005	713,821	0,125	9,780	0,724	0,987
Porterinha	Serra Branca	1542016	634,828	0,180	9,787	0,724	0,989
Porto Firme	Porto Firme	2043014	815,343	0,138	9,787	0,724	0,988

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Pouso Alegre	Ponte do Rodrigues	2245086	731,157	0,145	9,786	0,724	0,987
Pouso Alegre	Pouso Alegre	2245077	659,038	0,150	9,787	0,724	0,988
Pouso Alto	Pouso Alto	2244071	717,400	0,155	9,787	0,724	0,988
Pouso Alto	Usina Pouso Alto	2244063	556,926	0,238	9,788	0,724	0,991
Prata	Fazenda Buriti do Prata	1949002	843,107	0,140	9,784	0,724	0,988
Pratapólis	Usina Marambaia	2046002	627,297	0,123	9,787	0,724	0,987
Pratapólis	Usina Santana	2046011	718,116	0,143	9,788	0,724	0,987
Pratinha	Pratinha	1946010	836,057	0,141	9,785	0,724	0,987
Presidente Juscelino	Ponte do Licínio Jusante	1844010	739,145	0,132	9,788	0,724	0,987
Presidente Juscelino	Presidente Juscelino	1844009	3500,000	0,195	27,406	0,972	0,987
Presidente Juscelino	Usina Parauna	1843000	739,150	0,138	9,791	0,724	0,987
Presidente Olegário	Ponte Firme	1846016	814,588	0,148	9,788	0,724	0,988
Presidente Olegário	Presidente Olegário	1846005	4980,581	0,202	52,547	0,969	0,988
Prudente de Morais	Prudente de Morais A	1944000	753,411	0,124	9,787	0,724	0,987
Raul Soares	Raul Soares	2042008	1513,706	0,155	19,554	0,813	0,988
Raul Soares	Vermelho Velho	1942006	726,408	0,194	9,788	0,724	0,989
Resende Costa	Resende Costa	2044038	841,695	0,128	9,785	0,724	0,987
Resplendor	Resplendor Jusante	1941004	746,549	0,141	9,785	0,724	0,988
Riacho dos Machados	Riacho dos Machados	1643028	820,678	0,160	9,785	0,724	0,988
Ribeirão Vermelho	Ribeirão Vermelho	2145005	719,778	0,160	9,788	0,724	0,988
Rio Acima	Rio Acima	2043016	793,402	0,094	9,788	0,724	0,986
Rio Casca	Rio Casca	2042011	789,386	0,149	9,788	0,724	0,987
Rio Novo	Rio Novo	2143018	753,966	0,130	9,790	0,724	0,987
Rio Pardo de Minas	Rio Pardo de Minas	1542005	687,785	0,145	9,787	0,724	0,989
Rio Pardo de Minas	Serra Nova	1542007	794,377	0,150	9,785	0,724	0,988
Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	1943001	742,801	0,166	9,786	0,724	0,988

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Rio Pomba	Usina Ituerê	2143000	752,397	0,140	9,786	0,724	0,987
Rio Preto	Fazenda São Gabriel	2243202	836,248	0,137	9,786	0,724	0,987
Rio Preto	Parapeuna	2243019	824,094	0,112	9,788	0,724	0,987
Rio Vermelho	Rio Vermelho	1843012	735,406	0,127	9,786	0,724	0,987
Rubelita	Rubelita	1642008	673,426	0,144	9,788	0,724	0,988
Sabará	Sabará	1943006	778,978	0,147	9,786	0,724	0,987
Sacramento	desemboque	2047037	790,383	0,134	9,784	0,724	0,987
Salinas	Açude Vacaria	1642010	741,781	0,128	9,786	0,724	0,987
Salinas	Ponte Vacaria	1642026	667,262	0,146	9,790	0,724	0,988
Sant Fé de Minas	Porto Alegre	1645007	824,632	0,147	9,790	0,724	0,987
Santa Bárbara	Colégio Caraça	2043059	970,643	0,123	9,781	0,724	0,988
Santa Bárbara	Santa Bárbara	1943007	803,188	0,152	9,788	0,724	0,988
Santa Juliana	Santa Juliana	1947001	4050,000	0,167	34,789	0,992	0,987
Santa Juliana	Zelândia	1947009	850,566	0,145	9,788	0,724	0,987
Santa Maria do Itabira	Santa Maria do Itabira	1943008	796,185	0,133	9,786	0,724	0,987
Santa Maria do Salto	Santa Maria do Salto	1640007	778,179	0,178	9,786	0,724	0,989
Santa Maria do Suaçuí	Santa Maria do Suaçuí	1842008	750,213	0,134	9,786	0,724	0,988
Santa Rita de Caldas	Beira de Santa Rita	2246047	650,483	0,158	9,786	0,724	0,987
Santa Rita do Jacutinga	Itaboca	2244066	908,091	0,149	9,781	0,724	0,988
Santa Rita do Jacutinga	Santa Rita do Jacutinga	2244035	808,193	0,122	9,786	0,724	0,987
Santa Rita do Sapucaí	Santa Rita do Sapucaí	2245000	745,609	0,145	9,786	0,724	0,988
Santa Vitória	Ponte São domingos	1950011	813,523	0,139	9,785	0,724	0,987
Santana de Pirapama	Pirapama	1944020	730,462	0,175	9,788	0,724	0,988
Santana do Jacaré	Santana do Jacaré	2045004	2837,142	0,208	29,438	0,943	0,988
Santana do Manhuaçu	Santana do Manhuaçu	2041009	823,867	0,155	9,786	0,724	0,988
Santana do Riacho	Vau da Lagoa	1943035	2600,000	0,200	25,779	0,912	0,987

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Santo Antônio do Amparo	Santo Antônio do Amparo	2044037	696,013	0,116	9,786	0,724	0,987
Santo Antônio do Monte	Santo Antônio do Monte	2045013	3210,188	0,181	33,293	0,948	0,987
Santo Hipólito	Santo Hipólito	1844001	4600,000	0,203	34,952	1,033	0,987
Santos Dumont	Santos Dumont	2143062	768,411	0,156	9,790	0,724	0,988
São Francisco	Gauchos	1545004	802,526	0,115	9,783	0,724	0,987
São Francisco	Serra das Araras	1545002	814,267	0,153	9,791	0,724	0,988
São Francisco	Vila Urucua	1645005	739,146	0,134	9,789	0,724	0,987
São Francisco de Sales	São Francisco de Sales	1949000	811,308	0,160	9,786	0,724	0,988
São Francisco do Glória	Bicuiba	2042014	792,411	0,156	9,784	0,724	0,988
São Gonçalo do Abaeté	Canoeiros	1845021	809,788	0,169	13,193	0,710	0,987
São Gonçalo do Abaeté	Fazenda São Félix	1845002	810,823	0,144	9,782	0,724	0,988
São Gonçalo do Abaeté	São Gonçalo do Abaeté	1845013	2400,000	0,164	31,194	0,867	0,988
São Gonçalo do Rio Baixo	Usina Peti	1943027	819,212	0,149	9,790	0,724	0,988
São Gonçalo do Sapucaí	Porto Santa Maria	2145000	723,727	0,134	9,785	0,724	0,987
São Gotardo	São Gotardo	1946009	6050,000	0,190	54,122	0,999	0,988
São João da Ponte	São João da Ponte	1544014	699,203	0,149	9,786	0,724	0,988
São João del Rei	Usina São João del Rei	2144020	770,728	0,135	9,787	0,724	0,987
São João del Rei	Vila Rio das Mortes	2144024	746,081	0,164	9,787	0,724	0,988
São João do Paraíso	São João do Paraíso	1542014	728,592	0,176	9,788	0,724	0,988
São João do Paraíso	Taboleiro Alto	1542009	650,308	0,138	9,789	0,724	0,988
São João do Paraíso	Vereda do Paraíso	1541013	711,930	0,166	9,787	0,724	0,988
São João Evangelista	São João Evangelista	1842020	783,117	0,126	9,788	0,724	0,988
São José do Goiabal	Fazenda Cachoeira D'Antas	2042031	874,742	0,157	9,781	0,724	0,988
São Lourenço	São Lourenço	2245107	799,896	0,139	9,788	0,724	0,988
São Miguel do Anta	São Miguel do Anta	2042016	698,853	0,130	9,785	0,724	0,987
São Pedro do Suaçuí	São Pedro do Suaçuí	1842004	765,666	0,168	9,790	0,724	0,988

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

São Romão	Barra do Escuro	1645003	757,658	0,135	9,781	0,724	0,987
São Romão	Santo Inácio	1645000	755,590	0,136	9,786	0,724	0,987
São Roque de Minas	Fazenda Samburá	2046025	784,930	0,148	9,781	0,724	0,988
São Tiago	Ponte do Rio do Peixe	2044000	661,654	0,124	9,791	0,724	0,986
São Tiago	São Tiago	2044050	816,270	0,152	9,790	0,724	0,987
São Vicente de Minas	São Vicente de Minas	2144010	739,712	0,151	9,790	0,724	0,987
SapucaíMirim	SapucaíMirim	2245104	708,400	0,140	9,786	0,724	0,988
Serra da Saudade	Barra do Funchal	1945002	724,975	0,142	9,784	0,724	0,987
Serra do Salitre	Serra do Salitre	1946008	4061,385	0,169	35,786	0,973	0,988
Serro	Serro	1843011	724,277	0,143	9,791	0,724	0,988
Sete Lagoas	Fabrica de Tecidos Santo Antônio	1944019	793,768	0,140	9,781	0,724	0,987
Sete Lagoas	Sete Lagoas	1944016	2587,150	0,166	26,069	0,927	0,987
Silvianópolis	Silvianópolis	2245089	6000,000	0,173	58,696	0,997	0,988
Silvianópolis	Vargem do Cervo	2245085	794,673	0,148	9,788	0,724	0,987
Tabuleiro	Tabuleiro	2143017	861,985	0,142	9,787	0,724	0,988
Tapira	Tapira	1946011	742,822	0,130	9,787	0,724	0,987
Tapiraí	Tapiraí Jusante	1946000	807,298	0,116	9,787	0,724	0,987
Taquaraçu	Taquaraçu	1943023	822,807	0,145	9,789	0,724	0,987
Teófilo Otoni	Fazenda Diacui	1741003	679,685	0,186	9,791	0,724	0,989
Teófilo Otoni	Mucurí	1741001	520,911	0,179	1,979	0,737	0,988
Teófilo Otoni	Pedro Versiani (EFBM)	1741007	849,786	0,149	9,788	0,724	0,988
Teófilo Otoni	Teófilo Otoni	1741012	10030,560	0,138	45,209	1,155	0,988
Tiradentes	Porto do Elvas	2144009	768,711	0,150	9,787	0,724	0,987
Tiradentes	Porto Tiradentes	2144002	801,823	0,133	9,785	0,724	0,987
Tiros	Lagoa do Gouvéia	1845004	855,300	0,142	9,781	0,724	0,988
Tiros	Tiros	1845014	813,045	0,134	9,787	0,724	0,987

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (continua).

Torreões	Torreões	2143016	781,989	0,168	9,785	0,724	0,988
Três Corações	Chácara Santana	2145020	653,736	0,179	9,785	0,724	0,989
Três Corações	Três Corações	2145003	821,188	0,140	9,786	0,724	0,987
Três Marias	Barra do Rio de Janeiro	1845027	758,622	0,147	9,785	0,724	0,987
Três Pontas	Três Pontas	2145043	754,547	0,127	9,788	0,724	0,987
Tumiritinga	Tumiritinga	1841011	1084,147	0,171	12,327	0,760	0,987
Tupaciguara	Fazenda Cachoeira	1848004	839,504	0,136	9,788	0,724	0,988
Tupaciguara	Tupaciguara	1848006	892,798	0,155	9,786	0,724	0,988
Turmalina	Ponte Alta	1742022	638,037	0,192	9,788	0,724	0,989
Ubaí	Ubaí	1644033	546,649	0,147	9,788	0,724	0,987
Uberaba	Uberaba	1947000	2150,903	0,177	19,901	0,896	0,987
Uberlândia	Fazenda Letreiro	1948006	827,802	0,137	9,782	0,724	0,988
Umburatiba	São Pedro do Pampã	1740026	719,017	0,146	9,786	0,724	0,988
Unai	Fazenda O Resfriado	1646004	779,241	0,119	9,787	0,724	0,987
Unai	Santo Antônio do Boqueirão	1646003	4451,965	0,176	37,326	1,013	0,987
Vargem Bonita	Vargem Bonita	2046013	859,080	0,138	9,788	0,724	0,987
Varginha	Usina de Varginha	2145018	660,698	0,155	9,791	0,724	0,988
Varzante	Vazante	1846015	874,069	0,122	9,785	0,724	0,988
Várzea da Palma	Guaicui	1744000	715,471	0,171	9,790	0,724	0,987
Várzea da Palma	Várzea da Palma	1744009	815,052	0,147	9,787	0,724	0,987
Varzelândia	Campo Redondo	1544000	696,508	0,149	9,783	0,724	0,987
Varzelândia	Varzelândia	1544030	802,257	0,170	9,785	0,724	0,988
Veríssimo	Veríssimo	1948003	820,805	0,119	9,785	0,724	0,987
Vespasiano	Vespasiano	1943009	3354,992	0,172	30,197	0,960	0,987
Viçosa	Seriquite	2042015	731,466	0,146	9,788	0,724	0,987
Virgem da Lapa	Pega	1642013	727,384	0,135	9,786	0,724	0,987

Tabela 1 - Parâmetros das relações IDF (K, a, b, c) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para as 494 estações de Minas Gerais e suas respectivas estações (conclusão).

Virgem da Lapa	Virgem da Lapa	1642011	855,160	0,139	9,786	0,724	0,988
Virgínia	Virgínia	2245080	842,694	0,146	9,786	0,724	0,988
Virgolândia	Virgolândia (Ramalhete)	1842003	775,576	0,146	9,785	0,724	0,987
Volta Grande	Volta Grande	2142008	794,314	0,154	9,787	0,724	0,987
Wenceslau Braz	Bicas	2245071	708,329	0,158	9,793	0,724	0,988

Fonte: Do autor (2018).