

MARCEL CARVALHO ABREU

**DESEMPENHO DE MÉTODOS DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS
INTENSAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

A162d
2018 Abreu, Marcel Carvalho, 1985-
Desempenho de métodos de desagregação de chuvas
intensas / Marcel Carvalho Abreu. – Viçosa, MG, 2018.
"xv, 123" : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Roberto Avelino Cecilio.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: 89-97.

1. Chuvas intensas. 2. Desagregação de chuvas.
3. Hidrologia. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Engenharia Agrícola. Doutorado em Meteorologia Agrícola.
II. Título.

CDD 22. ed. 551.577

MARCEL CARVALHO ABREU

**DESEMPENHO DE MÉTODOS DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS
INTENSAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de março de 2018.

Silvio Bueno Pereira

Sidney Sara Zanetti

Gabrielle Ferreira Pires

Fernando Falco Pruski
(Coorientador)

Roberto Avelino Cecílio
(Orientador)

À minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família! Minha mãe Marília e meu pai Eugênio, pelo amor incondicional, incentivo e pela confiança que sempre depositaram em mim. Aos meus irmãos, Raul e Letícia. A minha namorada Lara, pela paciência nos momentos difíceis, conselhos e companheirismo.

Agradeço aos meus amigos de infância que ainda permanecem ao meu lado. Aos amigos que fiz em Lavras e em Itajubá, que contribuíram muito para a minha formação. Agradeço de maneira especial a Dani e o Alvaro, pela recepção em Viçosa e todo o apoio que me proporcionaram no início do doutorado.

Agradeço aos meus amigos! De maneira muito especial os amigos do CRRH! Obrigado pela amizade e companheirismo intenso Marina, Petru, Jessica, Camila, Rayssa, Roberto, Luane, Micael, Tarcila, Felipe, Cassio, Josi, Laise, Andressa... Também agradeço aos meus “irmãos” Laura, Cleber e David pelos momentos compartilhados na salinha do anexo. O trabalho era mais divertido com vocês por lá!

Agradeço aos amigos da Meteorologia Aplicada, pela boa convivência, amizade e pela paciência entre disciplinas, avaliações, trabalhos...

Agradeço a Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola. De maneira especial, agradeço ao programa de pós-graduação em Meteorologia Aplicada, representado nesses agradecimentos pela Graça, sempre disposta a ajudar em todos os sentidos.

De maneira muito especial, agradeço ao meu orientador, professor Roberto, pela paciência, presença constante, ensinamentos e incentivo durante o doutorado. Ao professor Pruski, meu outro orientador, pelo exemplo de dedicação a profissão e pelas diversas horas em que dedicou a minha orientação, me aconselhando e incentivando. Ao professor Gérson, pelos ensinamentos e pela horinha que sempre encontrava para as reuniões.

Aos professores Silvio, Sidney e Demétrius, pela gentileza e disponibilidade em participarem do desenvolvimento desta tese e de minha formação. A professora Gabrielle, pelo aceite em compor a banca de defesa desta tese e pela dedicação e disponibilidade no intuito de ajudar a melhorar a qualidade deste trabalho. Vocês são exemplos que pretendo seguir!

BIOGRAFIA

MARCEL CARVALHO ABREU, nascido em 05/08/1985 em Itajubá, MG, filho de Marília Maria Carvalho Abreu e Eugênio Bustamante Abreu.

Engenheiro Florestal pela Universidade Federal de Lavras (2011), mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá (2014). Iniciou o doutorado em Meteorologia Aplicada na Universidade Federal de Viçosa no ano de 2014, na área de Hidroclimatologia.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Precipitação	4
2.2. Medição pontual da precipitação	6
2.3. Conceito e importância de chuvas intensas	9
2.4. Ajuste de funções de densidade de probabilidades	12
2.5. Métodos de desagregação de chuvas	17
2.5.1. Método das relações de chuvas de diferentes durações	18
2.5.2. Aplicação do método RCDD	20
2.5.3. Trabalhos sobre chuvas intensas desenvolvidos no Brasil	23
3. ANÁLISE DAS RELAÇÕES DE CHUVAS DE DIFERENTES DURAÇÕES, VISANDO A OBTENÇÃO DE COEFICIENTES DE DESAGREGAÇÃO	25
3.1. Introdução	25
3.2. Material e Métodos	27
3.3. Resultados e Discussão	31
3.4. Conclusões	41
4. AVALIAÇÃO DO MÉTODO DAS RELAÇÕES ENTRE CHUVAS DE DIFERENTES DURAÇÕES	42
4.1. Introdução	42
4.2. Material e métodos	45
4.2.1. Local de estudo	47
4.2.2. Dados utilizados	47
4.2.3. Tratamento dos dados pluviográficos	49
4.2.4. Tratamento dos dados pluviométricos	49
4.2.5. Obtenção de coeficientes de desagregação específicos	50
4.2.6. Análise estatística dos dados	51
4.3. Resultados e Discussão	55
4.3.1. Coeficientes de desagregação específicos	55
4.3.2. Desempenho de funções densidade de probabilidades	62

4.3.3. Avaliação do desempenho do método RCDD	63
4.4. Conclusões	86
5. CONCLUSÕES GERAIS	87
5.1. Visão Geral da tese	87
5.2. Conclusões	87
5.3. Recomendações para pesquisas futuras	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
7. ANEXOS.....	98

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Ilustração de um pluviógrafo (A), um pluviômetro (B) e um pluviograma (C)..... 7
- Figura 2.** Fluxograma apresentando as etapas para obtenção de uma equação de chuva intensa pelo método RCDD com coeficientes de desagregação da CETESB (1979) e coeficientes de desagregação específicos. 22
- Figura 3.** Modelo digital de elevação de Minas Gerais e distribuição espacial das estações pluviográficas analisadas. 28
- Figura 4.** Tendências positivas e negativas dos coeficientes de desagregação, em função do período de retorno, para as estações com maiores coeficientes angulares, considerando distintas relações de duração das chuvas. 34
- Figura 5.** Relações entre os coeficientes de desagregação e o período de retorno para as localidades com maior coeficiente angular, em Minas Gerais. 36
- Figura 6.** Fluxograma das ações aplicadas neste capítulo..... 46
- Figura 7.** Modelo digital de elevação de Minas gerais e distribuição espacial das estações pluviométricas e pluviográficas utilizadas neste estudo. 48
- Figura 8.** EPAM, REMQ e EPE de cada combinação de período de retorno (TR) e tempo de duração para as equações Eq_{PLUG} , Eq_{CETESB} e Eq_e 82
- Figura 9.** Distribuição espacial do erro de predição absoluto (EPA) obtido pelas equações de chuvas intensas Eq_{PLUG} , Eq_{CETESB} e Eq_e , para o período de retorno de 10 anos e durações de 1440 minutos, 120 minutos e 10 minutos. . 84
- Figura 10.** Distribuição espacial do erro de predição absoluto (EPA) obtido pelas equações de chuvas intensas Eq_{PLUG} , Eq_{CETESB} e Eq_e , para o período de retorno de 100 anos e durações de 1440 minutos, 120 minutos e 10 minutos. 84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Regiões hidrográficas do Brasil, número de estações pluviográficas e pluviométricas e área média de cobertura de uma estação	8
Tabela 2. Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuvas	18
Tabela 3. Estações utilizadas para comparação das relações através do teste t	30
Tabela 4. Número de aceites e não aceites das hipóteses nulas (H_0) para os parâmetros da regressão linear (β_1 e β_0) entre os coeficientes de desagregação e o período de retorno.....	32
Tabela 5. Ocorrências de coeficientes de determinação (R^2) obtidos na regressão entre os coeficientes de desagregação e os períodos de retorno, superiores e inferiores a 0,70.....	33
Tabela 6. Matriz de p-valores das comparações das relações de chuvas de diferentes durações entre estações do grupo 1.	38
Tabela 7. Matriz de p-valores das comparações das relações de diferentes durações entre estações do grupo 2.....	38
Tabela 8. Matriz de p-valores das comparações das relações de diferentes durações entre estações do grupo 3.....	39
Tabela 9. Matriz de p-valores das comparações das relações de chuvas de diferentes durações entre estações do grupo 4.	40
Tabela 10. Média e estatísticas de dispersão dos coeficientes de desagregação de Minas Gerais.	40
Tabela 11. Classificação dos valores do coeficiente de correlação.....	54
Tabela 12. Critério para interpretação do desempenho do modelo pelo índice IC.	54
Tabela 13. Coeficientes de desagregação obtidos para localidades de Minas Gerais.	56
Tabela 14. Número de ocorrências em que cada distribuição e método de ajuste obtiveram melhor desempenho no teste de Kolmogorov-Smirnov.	62
Tabela 15. Parâmetros k, a, b e c das equações de chuvas intensas via método RCDD, coeficiente de determinação do ajuste, p-valores para os testes de identidade de modelos (IM), valor do coeficiente angular e p-valores obtidos nos testes de equivalência.....	64
Tabela 16. Análise de equivalência para cada período de retorno e interpretação do índice BIAS quanto à tendência das equações.	71
Tabela 17. Análise de equivalência para cada duração e interpretação do índice BIAS quanto à tendência das equações.....	72
Tabela 18. Resumo das estatísticas de ajuste entre os dados observados e estimados pelas equações RCDD.	74

Tabela 19. Erro de predição absoluto médio, raiz do quadrado médio do erro e erro padrão da estimativa de cada estação analisada, obtidos pelas equações de chuvas intensas. 75

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

BIAS	Índice BIAS
cd	Coeficientes de desagregação
$cd_{t/t'}$	Coeficiente de desagregação que desagrega a chuva de duração t em chuva de duração t'.
cd_{CETESB}	Coeficientes de desagregação da CETESB (1979)
cd_e	Coeficientes de desagregação específicos
CV	Coeficiente de variação
d	Índice de concordância de Wilmott
EPAM	Erro de predição absoluto médio
EPE	Erro padrão da estimativa
Eq_{CETESB}	Equação de chuva intensa gerada pela desagregação de chuvas com coeficientes de desagregação da CETESB (1979)
Eq_e	Equação de chuva intensa gerada pela desagregação de chuvas com coeficientes de desagregação específicos
Eq_{PLUG}	Equação de chuva intensa gerada através de informações e dados pluviográficos
$f(x)$	Função densidade de probabilidades
$F(x)$	Função densidade de probabilidades acumuladas
GEV	Distribuição Generalizada de Valores Extremos
GUM	Distribuição Gumbel
i_m	Intensidade máxima média de chuva
IM	Identidade de modelos
IC	Índice de desempenho
KS	Kolmogorov-Smirnov
LN2	Distribuição Log-normal a 2 parâmetros
LN3	Distribuição Log-normal a 3 parâmetros

LP3	Distribuição Log-Pearson a 3 parâmetros
MM	Método dos momentos
ML	Método dos momentos-L
MV	Método da máxima verossimilhança
P3	Distribuição Pearson a 3 parâmetros
R^2	Coefficiente de determinação
r	Coefficiente de correlação
RCDD	Relação de chuvas de diferentes durações
RQME	Raiz do quadrado médio do erro
TR	Período de retorno
t	tempo de duração

RESUMO

ABREU, Marcel Carvalho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2018. **Desempenho de métodos de desagregação de chuvas intensas.** Orientador: Roberto Avelino Cecílio. Coorientadores: Fernando Falco Pruski e Gérson Rodrigues dos Santos.

Informações sobre chuvas intensas com diferentes durações são de extrema importância para o estabelecimento de equações matemáticas que relacionam as grandezas fundamentais da chuva: a intensidade de precipitação (i_m), sua duração (t) e sua frequência de ocorrência (f), representada pelo período de retorno ($TR = 1/f$). Essas equações são denominadas equações intensidade-duração-frequência (IDF), ou equações de chuvas intensas e são largamente utilizadas para subsidiar o planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas, em especial as hidro-agrícolas. No entanto, informações dessa natureza são escassas no Brasil devido à baixa densidade da rede pluviográfica e devido à dificuldade de obtenção dessas informações. Para suprir a necessidade de informações de chuvas intensas de diferentes durações, foram desenvolvidas metodologias, denominadas de desagregação de chuvas, as quais desagregam a chuva de um dia, proveniente de registros pluviométricos, em chuvas de menores durações. Dentre os métodos de desagregação existentes, destaca-se o Método das Relações de Chuvas de Diferentes Durações (RCDD). No Brasil, este método é recomendado por CETESB (1979), a qual estabeleceu coeficientes de desagregação (cd) tomados como válido para todo o território nacional. O RCDD apresenta como uma de suas premissas o comportamento estático das relações de chuvas de diferentes durações em função do período de retorno e a similaridade dessas relações em diferentes localidades (cds supostamente válidos para todo o território nacional). Outra questão sobre o RCDD é que ainda não foi averiguada a equivalência entre as i_m observadas e estimadas pelas equações estabelecidas a partir de sua aplicação, assim como a avaliação dos erros proporcionados pela aplicação do RCDD. Nesse sentido, os objetivos do presente trabalho foram: averiguar as premissas do método RCDD, ou seja, verificar se os cds apresentam tendências em função do período de retorno e se apresentam validade nacional; verificar se existe equivalência entre os

dados de i_m observados e estimados pelo método RCDD. Para cumprir com esses objetivos foram analisados dados pluviográficos e pluviométricos de estações distribuídas no estado de Minas Gerais. A técnica de regressão foi utilizada para avaliar as premissas do método, através da análise do coeficiente angular da reta: a regressão linear entre os coeficientes de desagregação em função do período de retorno, em caso de tendências, teria o coeficiente angular diferente de zero e; a regressão linear entre os dados de diferentes localidades, em caso de igualdade, teria o coeficiente angular igual a 45° (relação 1:1). Para a maioria dos casos, não foi constatada tendências dos coeficientes de desagregação em função do período de retorno (93% dos casos). As tendências detectadas não modificaram os coeficientes de desagregação de maneira expressiva em relação à média obtida dos diferentes em função do período de retorno. Para a maioria das comparações das relações de chuvas intensas de diferentes durações, de diferentes localidades, foram constatadas diferenças significativas entre as mesmas (91% dos casos). Sendo assim, o uso de coeficientes de desagregação generalizados pode incorrer em erros. O procedimento estatístico utilizado para testar a equivalência foram os seguintes testes: teste de identidade de modelos e teste de equivalência 1:1. Também foram analisados os erros provenientes de cada equação IDF, através do erro de predição absoluto médio (EPAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e erro padrão da estimativa (EPE), além das estatísticas de ajuste. Foi possível concluir que o método RCDD não gerou estimativas de chuvas intensas equivalentes aos dados observados, seja com os coeficientes generalizados da CETESB (1979) ou com os coeficientes específicos (locais), para a maioria das situações (mais de 80% das situações). No entanto, os erros obtidos pelos modelos são considerados aceitáveis na previsão de chuvas intensas de diferentes durações, o que torna o método RCDD uma alternativa para suprir as necessidades de informações de chuvas intensas. A análise com coeficientes locais tende a aumentar a eficácia do método RCDD, proporcionando menores erros e melhores estatísticas de ajuste.

ABSTRACT

ABREU, Marcel Carvalho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2018. **Performance of intense rainfall disaggregation methods**. Adviser: Roberto Avelino Cecílio. Co-advisers: Fernando Falco Pruski and Gérson Rodrigues dos Santos.

Information about intense rainfall of different durations is very important for the establishment of mathematical equations that relate the fundamental characteristics of rainfall: intensity (i_m), duration (t) and frequency (f), represented by the return period ($RP = 1/f$). These equations are known by intensity-duration-frequency equations (IDF), or intense rainfall equations and are widely used to subsidize the planning and design of hydraulic works, especially hydro-agricultural projects. However, information of this nature is scarce in Brazil due to the low density of the pluviographic gauge stations and due to the difficulty of obtaining this information. To subsidize information about intense rainfall of different durations, methodologies were developed, called daily rainfall disaggregation, which disaggregates one-day rainfall from pluviometric records into rainfall of shorter durations. Among the existing disaggregation methods, the Rainfall Method of Different Durations (RCDD) stands out. In Brazil, this method is recommended by CETESB (1979), which established disaggregation coefficients (dc) taken as valid for the whole national territory. The RCDD presents as one of its premises the static behavior of rainfall ratios of different durations to different return periods and the similarity of these dc in different locations (dc theoretically valid for the whole national territory). Another question about RCDD is there is doubt about the equivalence between the i_m observed and estimated by the equations established by RCDD method, as well as the evaluation of the errors provided by the application of the RCDD. Therefore, the objectives of the present work were: to ascertain the premises of the RCDD method, that is, to verify if there are trends in dc to different return periods and if the dc have national validity; verify if there is equivalence between i_m data observed and estimated by the RCDD method. In order to comply with these objectives, pluviometric and pluviometric data of gauge stations distributed in the Minas Gerais state were analyzed. The regression technique was used to evaluate the assumptions of the method

through the analysis of the angular coefficient of the line: the linear regression between the coefficients of disaggregation as a function of the return period, in case of trends, would have the coefficient different from zero and; the linear regression between the data of different locations, in case of equality, would have the coefficient equal to 1 (ratio 1: 1). For most cases, there were no trends in the disaggregation coefficients as a function of the period of return (93% of cases). The trends detected did not significantly modify the coefficients of disaggregation in relation to the average obtained from the different return period. For most comparisons of the ratios of intense rains of different durations, from different locations, significant differences were observed between them (91% of the cases). Therefore, the use of generalized disaggregation coefficients may incur errors. The statistical procedures used to test equivalence were the following tests: model identity test and 1: 1 equivalence test. The analyzed the errors from each IDF equation, using the mean absolute prediction error (MAPE), root mean square error (RMSE) and standard error of estimation (SEE), in addition to the adjustment statistics. It was possible to conclude that the RCDD method did not generate intense rainfall estimates equivalent to the observed data, either with CETESB generalized coefficients (1979) or with specific coefficients (local) for most situations (more than 80% of situations). However, the errors obtained by the models are considered acceptable in predicting intense rainfall of different durations, which makes the RCDD method an alternative to provide information about intense rainfall. The analysis with local disaggregation coefficients tends to increase the effectiveness of the RCDD method, providing smaller errors and better adjustment statistics.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Estudos a respeito de chuvas intensas são de extrema importância para subsidiar projetos hidráulicos que envolvem o escoamento superficial, sistemas de drenagem e barragens para acumulo de água. Normalmente se faz uso de uma equação que relacione as características fundamentais da chuva, sendo elas: a intensidade máxima média (i_m), o tempo de duração da chuva (t) e a sua frequência (f), normalmente representada pelo período de retorno ($TR = 1/f$). Essas equações são chamadas de equações de chuvas intensas, equações intensidade, duração e frequência ou, simplesmente, equações IDF. Essas equações são estabelecidas através de análise de registros pluviográficos que proporcionam informações sobre as chuvas mais intensas de diferentes durações que ocorreram em cada ano, em uma determinada localidade.

No entanto, o estabelecimento de equações de chuvas intensas por meio de registros pluviográficos nem sempre é possível. Isto se deve a diversos fatores, com destaque para a pequena disponibilidade de postos pluviógrafos, associada a séries de dados com falhas e extensão inferior a 30 anos (Silva et al., 2002; Oliveira; Antonini; Griebeler, 2008; Silva et al., 2012; Teodoro et al., 2014), em desacordo com recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM). Soma-se, ainda, a grande quantidade de informações a ser analisada e tabulada, uma vez que, para cada pluviograma, existe a necessidade de um processo sistemático de cálculo para estruturar as séries históricas com os valores máximos de precipitação, associados a diferentes durações (Melo; Silva 2013).

Uma alternativa para aumentar a disponibilidade de equações IDF é a utilização de registros pluviométricos diários, em substituição aos dados pluviográficos. Para tanto, tem-se utilizado a técnica da desagregação de chuvas. De maior utilização no Brasil, o método de desagregação, baseado nas relações de chuvas de diferentes durações (RCDD), é fundamentado na grande similaridade das relações entre as intensidades médias máximas de diferentes durações, para locais diferentes e, somente com uma pequena variação relacionada ao período de retorno. O método consiste em obter coeficientes que relacionam a chuva máxima de 24 horas (obtida em

pluviógrafos) e a chuva de 1 dia (obtidas em pluviômetros). Esses coeficientes são o elo entre as informações pluviográficas e pluviométricas que serão transferidas para as demais desagregações, como fatores multiplicativos (em cascata). Para as demais desagregações utilizam-se de coeficientes que desagregam a chuva máxima de 24 horas em chuvas máximas de durações menores, sendo obtidos através de relações de chuvas de diferentes durações. Esses coeficientes são chamados de coeficientes de desagregação (CETESB, 1979; Pereira et al., 2014) ou fatores de proporcionalidade (Silva et al., 2012).

No Brasil, os coeficientes de desagregação de chuvas propostos pela CETESB (1979) são largamente utilizados (Oliveira; Antonini; Griebeler, 2008; Santos et al., 2009; Aragão et al., 2013). Segundo Genovez e Zuffo (2000), as relações entre diferentes durações apresentadas pela CETESB (1979) foram baseadas em um período muito curto de observações, e foram obtidos de uma média nacional. Portanto, esses coeficientes podem proporcionar erros consideráveis na estimativa de chuvas intensas de durações inferiores a um dia, devido a sua generalização. Uma alternativa para contornar esses inconvenientes é a proposição de novas relações, com caráter local, para contemplar as características das precipitações predominantes em cada região (Back, 2009; Back; Oliveira; Henn, 2012; Back; Pola, 2016).

Um ponto a ser destacado é que, apesar de largamente usado, a aplicação do método da desagregação para a obtenção de equações de chuvas intensas ainda carece de uma avaliação, em termos estatísticos, desde as suas premissas, até a verificação da equivalência em termos de resultados obtidos em relação às informações pluviográficas, além dos erros que o método pode proporcionar. Outra questão importante que carece de maiores informações é o ganho que os coeficientes de desagregação locais oferecem ao método, em termos de desempenho em estimar as intensidades das chuvas.

Esta tese de doutorado tem como objetivo avaliar se são verdadeiras as premissas de que os coeficientes de desagregação são estacionários em função do período de retorno e da similaridade das relações de chuvas de diferentes durações em diferentes locais; e se os resultados obtidos através das equações IDF via desagregação de chuvas apresentam equivalência com os dados observados, além de verificar se os erros proporcionados pelo

método de desagregação são aceitáveis para confirmar a viabilidade deste método.

Para tal, esta tese foi dividida em seções com objetivos distintos, a qual essa introdução compreende a primeira seção, com o objetivo de apresentar as características gerais a respeito das principais questões sobre chuvas intensas e apresentar a divisão desta tese. Na seção 2 consta uma revisão de literatura que engloba assuntos a respeito de chuvas, seus mecanismos de formação, conceitos, métodos e análises de chuvas intensas, além de apresentar alguns trabalhos já desenvolvidos sobre o tema. Na seção 3 são apresentadas as premissas fundamentais do método de desagregação de chuvas, a metodologia utilizada para verificar a veracidade dessas premissas e os resultados e discussões obtidos através dessa análise. Na seção 4, os métodos de desagregação de chuvas foram desenvolvidos e testados quanto à equivalência aos dados observados de i_m , além de uma análise dos erros que o método proporciona. Na seção 5 foram apresentadas as conclusões gerais da tese, além de recomendar futuros trabalhos que poderão esclarecer muitas questões a respeito de chuvas intensas. A seção 6 apresenta toda a revisão bibliográfica utilizada para embasar o presente estudo, enquanto a seção 7 é composta por um anexo de tabelas com informações sobre dados utilizados e detalhamento de resultados obtidos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Precipitação

Denomina-se precipitação toda água meteórica, seja ela líquida ou sólida, que provém do vapor atmosférico e que incide sobre a superfície da terra. A precipitação pluvial ou chuva é a precipitação que atinge a superfície na forma líquida (Freitas et al., 2001; Mello; Silva, 2013). Este é o tipo de precipitação mais importante para estudos hidrológicos, uma vez que é a principal fonte de entrada de água em uma bacia hidrográfica (Mello; Silva, 2009; Mello; Viola, 2013). Também é determinante para o tipo de vegetação natural (Dellacort et al., 2011) ou do modelo de exploração agrícola mais adequado (Pruski, 2013) em determinada região.

Para que ocorra a formação de chuva, alguns elementos são necessários: a presença de vapor d'água na atmosfera (umidade atmosférica), um mecanismo que propicie o resfriamento do ar atmosférico, a presença de núcleos higroscópicos na atmosfera e um mecanismo que favoreça o crescimento das gotas (Vianello; Alves, 2012).

O ar úmido originário das camadas inferiores da atmosfera (próximas à superfície) é mais rapidamente aquecido e sofre ascensão adiabática. À medida que ascende na atmosfera, a pressão sobre a parcela de ar úmido é gradativamente reduzida e, por consequência, sua temperatura também se reduz de maneira proporcional a sua elevação na atmosfera. A esse processo dá-se o nome ascensão adiabática (Vianello; Alves, 2012). Este ar úmido eleva-se, atingindo em determinado momento, a condição necessária para a saturação de vapor d'água, ou seja, chega ao nível de condensação do vapor d'água.

Com a presença de núcleos de condensação, a massa de ar com vapor d'água condensa-se, formando gotículas ao redor desses núcleos de condensação. Geralmente, núcleos de condensação são partículas higroscópicas como sais, grãos de pólen, argila, dentre outros. Essas gotículas formam os elementos de nuvem, que por si só não são capazes de precipitar e permanecem em suspensão, sustentadas pela força de flutuação térmica. As forças de ascensão são vencidas apenas através do crescimento das gotículas,

que irão formar os elementos de precipitação. Por coalescência (contato entre as gotículas) ou difusão de vapor (condensação do vapor d'água supersaturado ao redor das gotículas), as gotas ganham tamanho até que a gravidade supere a força de suspensão (Freitas et al., 2001; Vianello; Alves, 2012).

As precipitações pluviais podem ser classificadas de acordo com os mecanismos de elevação das massas de ar em ciclônicas, convectivas ou orográficas. As precipitações ciclônicas originam-se de massas de ar em deslocamento de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão, em movimento provocado pelo aquecimento desigual da superfície terrestre. Quando a convergência da massa de ar quente e úmida ocorre de forma horizontal para regiões de baixa pressão, havendo a elevação e o resfriamento dessas massas de ar, a chuva é classificada como não frontal. Quando ocorre a ascensão da massa de ar quente e úmida sobre outra massa de ar com diferentes características termodinâmicas (fria e úmida), a chuva é classificada como frontal. No Brasil, o sistema frontal é comum, enquanto que o não frontal é característico de zonas de convergência extratropical, no qual o ar quente local recebe o ar frio polar. As principais características das precipitações ciclônicas são a longa duração, intensidade baixa a moderada e grandes áreas de cobertura (Freitas et al., 2001; Mello; Silva, 2013).

As chuvas orográficas são típicas de regiões montanhosas, uma vez que as montanhas formam uma barreira física para as massas de ar úmidas, que ascendem mecanicamente reduzindo a sua temperatura e com posterior condensação do vapor d'água, formando nuvens que irão precipitar. Normalmente as chuvas orográficas apresentam intensidades de moderada a alta e são comuns em regiões montanhosas brasileiras como a Serra do Mar (Milanesi, Galvani, 2011), em parte da porção leste do estado de Minas Gerais, devido à presença de serras como a Mantiqueira (Mello; Viola, 2013) e no agreste do estado de Pernambuco (Possas et al., 2012).

O tipo de precipitação mais comum em regiões tropicais e equatoriais é a convectiva, que também ocorrem nos verões de regiões de clima temperado. Esta chuva se origina devido à instabilidade causada pelo aquecimento desigual das camadas atmosféricas (estratificação térmica). As altas temperaturas da superfície terrestre propiciam intensa evaporação e a ascensão brusca e violenta do ar quente, que forma nuvens carregadas de

umidade (*Cumulus*, em um primeiro momento, e *Cumulunimbus* posteriormente) em grandes altitudes. Portanto, ocorrem em dias nos quais as condições atmosféricas são de elevada temperatura e umidade, além de queda da pressão atmosférica de maneira célere. Ocorrem em pequenas áreas, com curta duração e alta intensidade sendo, portanto, muito importantes em estudos hidrológicos urbanos, em pequenas bacias hidrográficas e em estudos de engenharia de conservação de água e solo, uma vez que possuem grande potencial erosivo (Mello et al., 2007).

As grandezas características das precipitações são:

1. Altura pluviométrica (h): representa a altura da lâmina de água precipitada, em milímetros, caso a mesma fosse recolhida em superfície horizontal, em um intervalo de tempo.
2. Tempo de duração: período de tempo decorrido desde o início até o fim da precipitação, expresso em horas ou minutos.
3. Intensidade da precipitação: é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação, geralmente expressa em mm/h. É uma grandeza intensiva e instantânea.
4. Frequência: é o número de ocorrências de uma precipitação, em um intervalo de tempo especificado. Geralmente, em estudos hidrológicos, a frequência (f) é representada pelo período de retorno (TR). Matematicamente, o período de retorno é o inverso da frequência ($TR = 1/f$), definido como o intervalo de tempo, em média, em que uma determinada magnitude de precipitação é igualada ou superada.

2.2. Medição pontual da precipitação

A medição pontual das precipitações é um processo relativamente simples e consiste, basicamente, no recolhimento da água precipitada por meio de instrumentos específicos, os quais podem ser de dois tipos: os totalizadores (pluviômetros), que fornecem somente a informação da quantidade de água precipitada entre duas medições consecutivas; e os registradores contínuos (pluviógrafos), que registram a quantidade de água precipitada no decorrer do tempo em um gráfico denominado pluviograma. No Brasil, geralmente, a leitura dos pluviômetros é feita diariamente às 9 horas da manhã. Como alguns

eventos podem ter durações inferiores a 24 horas, a leitura feita pelo pluviômetro é denominada de chuva de um dia. Já a leitura do pluviógrafo é registrada para o período contínuo de 24 horas e, portanto, é denominada chuva de 24 horas (Back, 2009).

Os instrumentos (pluviômetros e pluviógrafos) são instalados a 1,5 metros do chão, com uma distância mínima de construções, florestas, árvores ou qualquer objeto que possa comprometer o recolhimento da precipitação (WMO, 2008). A Figura 1 mostra um aparelho pluviógrafo (Figura 1A), um pluviograma (Figura 1C) e um pluviômetro (Figura 1B).

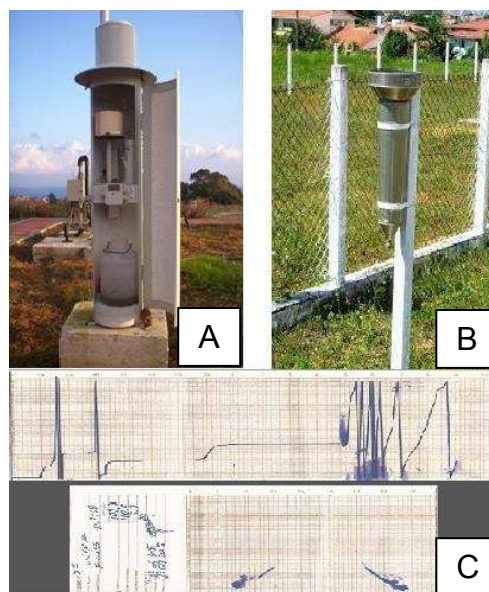


Figura 1. Ilustração de um pluviógrafo (A), um pluviômetro (B) e um pluviograma (C).

O início do monitoramento hidrometeorológico data do início do século XX, tanto através de iniciativas governamentais, através do Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOS) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), quanto por iniciativa privada, especialmente relacionada à mineração, nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Com a crescente demanda por informações hidrometeorológicas em novos locais, a instalação de novos postos para coleta de informações ao longo do tempo foi aumentando.

Através do inventário publicado pela agência Nacional das Águas (ANA) em 2009, estima-se que existem 8.102 estações de monitoramento de chuvas no Brasil, das quais 1.307 possuem aparelhos pluviógrafos.

No Brasil, a área de cobertura de uma única estação pluviográfica é, em média, de 9.402,15 km², sem considerar a distribuição espacial dessas estações. A situação é ainda mais crítica quando se compara diferentes regiões do Brasil. Um exemplo é a região hidrográfica Amazônia, importante região brasileira que compreende pelo menos parte dos estados do Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima, Amapá, Pará e Mato Grosso, na qual a área de cobertura de uma estação é de 69.953,41 km² (Tabela 1).

Tabela 1. Regiões hidrográficas do Brasil, número de estações pluviográficas e pluviométricas e área média de cobertura de uma estação

Regiões Hidrográficas	Área (km ²)	Cobertura (estações/ km ²)	
		Pluviográfica	Pluviométricas
Amazônica	69.953,41	58.692,15	11.261,26
Atlântico Leste	374.677	2.141,01	1.424,63
Atlântico Nordeste ocidental	2.541	72,60	15,88
Atlântico Nordeste oriental	287.348	3.731,79	2.244,91
Atlântico Sudeste	229.972	1.796,66	192,93
Atlântico Sul	185.856	2.161,12	230,88
Paraguai	363.445	27.957,31	519,95
Paraná	87.986	232,15	140,78
Parnaíba	344.112	22.940,80	135,74
São Francisco	638.324	3.377,38	4.402,23
Tocantins-Araguaia	967.059	23.025,21	3.608,43
Uruguai	174.612	3.492,24	261,79
Total	10.581.606	8.096,10	1.306,05

A situação também não é satisfatória quando se analisa somente estações providas de aparelhos pluviômetros. Um único pluviômetro estaria cobrindo uma área média de 8.096,10 km², sem considerar a distribuição espacial dessas estações, o que pode não incorporar informação necessária a uma pequena bacia hidrográfica de interesse. A região hidrográfica da Amazônia é a menos favorecida em termos de pluviômetros, seguida da região hidrográfica do Paraguai. A melhor situação é a das regiões hidrográficas do

Atlântico Nordeste Ocidental, que engloba pelo menos parte dos estados do Pará e Maranhão e a região hidrográfica do Paraná, que engloba pelo menos parte dos estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Distrito Federal, respectivamente.

O monitoramento das precipitações é limitado no território brasileiro como um todo, o que pode vir a comprometer análises e estudos a respeito de chuvas intensas e do potencial erosivo, por exemplo. Por esse motivo, outras metodologias menos precisas são desenvolvidas para a geração de informações primárias, em regiões com informações ausentes sobre as grandezas características das precipitações.

2.3. Conceito e importância de chuvas intensas

Denomina-se chuva intensa, aquela com capacidade de produzir elevada lâmina precipitada, em curto intervalo de tempo (Silva et al., 2003; Mello; Silva, 2013). Essa lâmina precipitada é potencial em promover escoamento superficial direto de grande magnitude, além de erosão hídrica e transporte de sedimentos. Essas chuvas também são conhecidas como chuvas extremas ou chuvas máximas, e apresentam grande variabilidade temporal e espacial (Araujo et al., 2008; Mello; Viola, 2013).

Em função destes impactos negativos que podem causar, o conhecimento a respeito das características das chuvas intensas é fundamental, para a sociedade, no planejamento de práticas de conservação do solo e da água, manejo de bacias hidrográficas e no dimensionamento de estruturas hidráulicas, tais como: barragens, vertedouros, terraços, drenos, bacias de contenção, entre outras (Oliveira et al., 2005; Mello; Viola, 2012).

As chuvas intensas são caracterizadas a partir de três das grandezas fundamentais da chuva: intensidade, duração e frequência. A intensidade média da chuva é inversamente proporcional a sua duração, ou seja, esperam-se chuvas mais intensas quando a sua duração é menor. Para uma mesma duração de chuva, quanto maior a sua intensidade, menor será a sua frequência de ocorrência, logo, o seu período de retorno (TR) será maior.

A definição da duração de uma chuva intensa depende da finalidade de seu conhecimento, normalmente ligada ao dimensionamento de uma estrutura

hidráulica. Para a drenagem superficial, por exemplo, frequentemente a situação crítica ocorre quando o tempo de duração da chuva é igual ao tempo necessário para que toda a bacia contribua para a vazão gerada pela chuva (tempo da chuva = tempo de concentração). Isso ocorre porque após as abstrações iniciais (precipitação ocorrida até o início do escoamento superficial), o escoamento superficial direto começa a ocorrer e tem o seu máximo quando toda a área de drenagem está contribuindo para a vazão. Portanto, o projeto deve contemplar uma estrutura para conduzir o volume de escoamento superficial máximo (Mello; Silva, 2013; Pruski et al., 2013; Pruski et al., 2014). Para projetos de drenagem do solo, o tempo de duração da chuva é considerado o tempo de duração da drenagem de toda a água acumulada no solo, até que o mesmo fique saturado, o que pode demorar de 1 até 5 dias. No caso de terraços de retenção e bacias de acumulação, a duração da chuva deve ser igual ao tempo de infiltração de todo o volume que foi acumulado (Brandão et al., 2006; Mello; Silva, 2013).

A principal forma de caracterização de chuvas intensas é por intermédio das equações de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial (equações IDF), ou equações de chuvas intensas (SILVA et al., 2003; Pruski et al., 2006). Estas equações são importantes ferramentas e uma das mais utilizadas nos trabalhos de engenharia relacionadas a recursos hídricos (Koutsoyiannis; Kozonis; Manetas, 1998). O principal interesse na obtenção de equações IDF é prever as precipitações máximas possíveis de ocorrência em determinada localidade, associada a uma frequência de ocorrência e um tempo de duração, no qual as estimativas desses fenômenos possam ser confiáveis (Pinto, 1995).

As equações de chuvas intensas idealmente são obtidas por meio de tabulação e análise de dados pluviográficos. Realiza-se, para tanto, a análise sistemática das chuvas mais intensas com diferentes durações, para cada ano de análise (geralmente séries anuais) (Silva et al., 2002, 2003; Campos et al., 2014).

No Brasil, o estudo pioneiro sobre equações de IDF foi realizado em 1957, por Otto Pfafstetter, no qual o autor apresentou curvas de IDF para 98 localidades do Brasil. Posteriormente, Denardin e Freitas (1982) ajustaram equações IDF para 80 estações pluviográficas distribuídas por todo o Brasil.

Hoje, outros trabalhos já apresentaram o estabelecimento de equações de IDF, destacando-se os trabalhos desenvolvidos nos estados da Bahia (FREITAS et al., 2001; SILVA et al., 2002), Espírito Santo (FREITAS et al., 2001; SILVA et al., 1999a), Minas Gerais (Freitas et al. 2001; Pinto 1995) Paraná (Fendrich 2003), Rio de Janeiro (Silva et al., 1999a) e Tocantins (Silva et al., 2003). Nesses trabalhos os autores estabeleceram os coeficientes do seguinte modelo que, segundo recomendações (Villela; Matos, 1975; Koutsoyiannis; Kozonis; Manetas, 1998), expressa a relação intensidade-duração-frequência:

$$i_m = \frac{k TR^a}{(t + b)^c} \quad (2.1)$$

em que i_m é a intensidade máxima média de chuva (mm h^{-1}); TR é o período de retorno (anos); t é a duração da chuva (minutos); e k, a, b e c são parâmetros relativos à cada localidade, a serem estimados.

Nota-se que a frequência associada ao evento é representada no modelo empírico pelo período de retorno (TR), por sua definição, uma variável aleatória discreta geométrica e não refere-se a um tempo cronológico e sim, a um tempo de recorrência (Naghetini; Pinto, 2007).

O ajuste da equação para chuvas intensas é feito individualmente para cada localidade ou estação pluviográfica. Este ajuste deve ser feito com o uso de uma extensa base de dados, constituída de pluviogramas (MELLO; SILVA, 2013) pertinentes a cada precipitação individual ocorrida em um posto pluviométrico específico, durante anos de observação.

Para a obtenção da equação de chuvas intensas são necessárias informações de precipitações máximas de diferentes durações. Essas precipitações irão constituir séries de dados que podem ser séries anuais ou parciais. As séries anuais consistem das precipitações mais intensas que ocorrem em cada ano. Já as séries parciais são formadas pelas “n” precipitações mais intensas do período de dados analisados (Testik; Gebrenichael, 2013). As séries anuais tem o uso mais difundido e são contempladas pelo critério de sua ocorrência e não de sua magnitude, o que é vantajoso para estudos hidrológicos (Freitas et al., 2001).

Portanto, o método clássico de obtenção dessas informações é através da análise de pluviogramas, que registram a lâmina precipitada (milímetros), em função do tempo (minutos), possibilitando a seleção dessas precipitações. Geralmente utilizam-se as durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos (Freitas et al., 2001; Silva et al., 2002; 2003). No entanto, a obtenção da equação de chuvas intensas é frequentemente dificultada devido à limitada quantidade de estações com registros pluviográficos, e a limitada quantidade de registros disponíveis para cada estação (Oliveira; Antonini; Griebeler, 2008). Isto porque muitas estações possuem séries de dados com extensão inferior a 30 anos (Silva et al., 2002; Silva et al., 2012; Teodoro et al., 2014), em desacordo com recomendação da Organização Mundial de Meteorologia.

Alguns autores recomendam a utilização de equações já estabelecidas de locais próximos, que não tendem a afetar a confiabilidade da estimativa de chuvas intensas (Cruciani et al., 2002). No entanto, algumas alternativas para gerar informações de chuvas intensas de diferentes durações na ausência de informações pluviográficas foram desenvolvidas (Bell, 1969; CETESB, 1979). O uso de técnicas de interpolação de dados em nível espacial é uma das possibilidades (Viola et al., 2010; Mello; Viola, 2012; Almeida, 2017). Todavia, o procedimento mais utilizado devido a sua praticidade é o uso de técnicas de desagregação de chuvas, por meio do uso de informações pluviométricas, que correspondem à chuva de um dia (Damé; Teixeira; Terra, 2008; Campos et al., 2014; Caldeira et al., 2015; Borges; Thebaldi, 2016; Damé et al., 2016).

2.4. Ajuste de funções de densidade de probabilidades

Para as séries históricas de precipitações máximas, referente a cada duração obtida, é ajustada uma função densidade de probabilidade (FPD) que se adere ao conjunto de dados em questão. Os modelos probabilísticos geralmente empregados em estudos de eventos extremos são: Exponencial (Exp), Generalizada de Eventos Extremos (GEV), Generalizada Logística (GL), Gumbel (GUM), Log-normal a 2 parâmetros (LN2), Log-normal a 3 parâmetros (LN3), Pearson a 3 parâmetros (P3), Normal (NOR), Gama (Ga), Weibull (We), Log-Pearson a 3 parâmetros (LP3) e Fréchet (Valverde et al., 2004).

A aderência da distribuição de probabilidades pode ser verificada a partir de testes de aderência, como o de Komolgorov-Smirnov, Qui-quadrado, Anderson-Darlin ou Filliben.

O objetivo do ajuste e aplicação das FDP's é a obtenção dos valores de intensidades de precipitação máxima, correspondentes a um período de retorno específico (Valverde et al., 2004). Geralmente são adotados períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 (e/ou 25), 50 e 100 anos (Freitas et al., 2001; Silva et al., 2002, 2003; Silva et al., 2012). Com os valores de intensidade máxima de precipitação associados a cada duração e a cada período de retorno, ajusta-se a equação de chuvas intensas conforme o modelo apresentado na Equação 1, através do algoritmo de Gauss-Newton.

Existem diversas FDP's que podem ser ajustadas às variáveis hidrológicas aleatórias contínuas. Por sua vez, variáveis hidrológicas podem ser representadas por mais de uma FDP (Beskow et al., 2015). Dentre as principais distribuições probabilísticas destacam-se, por seu emprego em estudos hidrológicos, as seguintes FDP's: Generalizada de Eventos Extremos (GEV), Gumbel (GUM), Log-normal a 2 parâmetros (LN2), Log-normal a 3 parâmetros (LN3), Pearson a 3 parâmetros (P3), Log Pearson a 3 parâmetros (LP3), Exponencial, Normal, Generalizada Logística, Gama, Weibull (Valverde et al., 2004).

Algumas distribuições já foram consagradas em estudos de eventos extremos, devido a sua capacidade de representar os dados observados e de gerar menores erros na estimativa de quantis de interesse, sendo estas as distribuições GUM, LN2, LN3, P3, LP3 (Silva et al., 2002; 2003; Freitas et al., 2001) e GEV (Queiroz; Chaudhry, 2006; Caldeira et al., 2015b).

A distribuição GUM é a distribuição extremal mais utilizada em análises de frequência de variáveis hidrológicas, sendo sua função de probabilidades acumuladas ($F(x)$) e sua função de densidade ($f(x)$) estão demonstradas nas equações 2.2 e 2.3 (Naghetini; Pinto, 2007):

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] \quad (2.2)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x - \beta}{\alpha} - \exp \left(-\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] \quad (2.3)$$

sendo α o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição e x é a variável aleatória contínua.

A distribuição LN2 é aplicável a toda variável aleatória x , contínua, resultante da multiplicação de um grande número de componentes aleatórios independentes x_i ($i = 1, 2, \dots, n$), assim como uma série anual de dados de precipitação máxima. Sendo uma variável $Y = \ln(x)^1$, tal que $Y = \ln(x_1) + \ln(x_2) + \dots + \ln(x_n)$, quando n é suficientemente grande e devido ao teorema do limite central, Y tenderá a uma variável normal, com parâmetros μ_Y e σ_Y . X , portanto, segue uma distribuição normal com parâmetros $\mu_{\ln(x)}$ e $\sigma_{\ln(x)}$, no qual a função de densidade é dada por (Junqueira Junior et al., 2007; Bescow et al., 2015b):

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma_{\ln(x)} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x) - \mu_{\ln(x)}}{\sigma_{\ln(x)}} \right]^2 \right\} \quad (2.4)$$

em que $f(x)$ é a função de densidade de uma variável aleatória qualquer e x é a variável aleatória contínua, sendo $x > 0$.

A função de distribuição acumulada é dada pela expressão (Freitas et al., 2001):

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \left\{ \frac{1}{x \sigma_{\ln(x)} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln x - \mu_{\ln(x)})^2}{2 \sigma_{\ln(x)}^2} \right] \right\} \quad (2.5)$$

em que $F(x)$ é a distribuição acumulada.

A distribuição LN3 é semelhante a distribuição LN2, porém, a variável x deduz-se a quantidade x_0 que apresenta um limite inferior. Sendo assim, a variável $Y = \ln(x - x_0)$ é distribuída de acordo com uma normal com média μ_Y e

desvio padrão σ_Y . Para tanto, apresenta um parâmetro de posição x_0 . A função de densidade de probabilidade ($f(x)$) e da função de distribuição acumulada ($F(x)$) são apresentadas nas expressões 2.6 e 2.7, respectivamente (Freitas et al., 2001; Mello; Silva, 2013; Caldeira et al., 2015b):

$$f(x) = \frac{1}{(x - \alpha) \sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x - \alpha) - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2 \right\} \quad (2.6)$$

$$F(x) = \int_{x_0}^x \left\{ \frac{1}{(x - x_0) \sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln(x - x_0) - \mu_y)^2}{2 \sigma_y^2} \right] \right\} dx \quad (2.7)$$

Quando uma variável aleatória X apresenta a variável $(x - \gamma)$ distribuída conforme uma Gama, com parâmetro de escala α , um parâmetro de forma β e um parâmetro de posição (γ) diferente de zero, ela apresenta uma distribuição Pearson tipo III. Quando o parâmetro de posição da distribuição P3 for igual a zero (nulo), essa distribuição se iguala a uma Gamma, motivo pelo qual a distribuição P3 também é chamada de distribuição Gamma 3 parâmetros. A função densidade de probabilidade da distribuição P3 é (Mello; Silva, 2013):

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp \left(-\frac{x - \gamma}{\alpha} \right) \quad (2.8)$$

Já a função de distribuição acumulada ($F(x)$) é dada por:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \int_{\gamma}^x \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp \left(-\frac{x - \gamma}{\alpha} \right) dx \quad (2.9)$$

no qual α , β e γ são, respectivamente, parâmetros de escala, de forma e de posição da distribuição Pearson tipo III e Γ é a função Gamma, dada por:

$$\Gamma(\eta) = \int_0^{\infty} x^{\eta-1} e^{-x} dx \quad (2.10)$$

no qual η é um número inteiro.

Parte-se do princípio que, se uma variável $\ln(x)$, ou $\log(x)$, é distribuída segundo uma distribuição Pearson tipo III, a distribuição da variável x é uma Log-Pearson tipo III, no qual a função de densidade é dada pela expressão (Freitas et al., 2001; Naguettini; Pinto, 2007):

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left[\frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp \left[- \frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right] \quad (2.11)$$

Enquanto a função de densidade acumulada ($F(x)$) é dada por (Freitas et al., 2001; Naguettini; Pinto, 2007):

$$F(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \int_{\gamma}^{\infty} \left[\frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp \left[- \frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right] dx \quad (2.12)$$

no qual α , β e γ e Γ , assim como na função Pearson III, são, respectivamente, parâmetros de escala, de forma e de posição da distribuição Pearson tipo III e a função Gamma.

A distribuição GEV apresenta três formas assintóticas de valores extremos máximos em uma única expressão, o qual sua função de densidade é expressa por (Naghetini; Pinto, 2007; Bescow et al., 2015; Junqueira Junior; Mello; Alves, 2015):

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{k}-1} \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{y - \beta}{\alpha} \right) \right]^{1/k} \right\} \quad (2.13)$$

Já a função de probabilidades acumuladas é a seguinte (Naghetini; Pinto, 2007):

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{1/k} \right\} \quad (2.14)$$

em que k , α e β são os parâmetros de forma, escala e posição, respectivamente.

O ajuste das distribuições ao conjunto de dados é verificada através de testes de aderência, dentre os quais se destacam os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS), de Qui-quadrado (χ^2), de Filliben (Fi) e de Anderson-Darling (AD). Não existe um critério pré-estabelecido sobre qual teste de aderência usar. Em estudos hidrológicos, especialmente para eventos extremos de precipitação, o teste mais utilizado é o KS, o qual a estatística de teste é obtida pela diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica. O valor crítico do teste ($|\Delta F|_{\text{tab}(n,\alpha)}$) é obtido em função do nível de significância testado e do tamanho da amostra, o qual se rejeita a hipótese nula caso este valor supere o valor da estatística do teste ($|\Delta F|_{\text{max}}$) (Franco et al., 2014):

$$|\Delta F|_{\text{max}} \leq |\Delta F|_{\text{tab}(n,\alpha)} \quad (2.15)$$

2.5. Métodos de desagregação de chuvas

Métodos de desagregação de chuvas são aqueles que objetivam utilizar-se das chuvas com duração de um dia, obtidas em pluviômetros, transformando-as em chuvas com duração de 24 horas e, posteriormente, em chuvas com durações menores. Para tanto, utilizam-se de coeficientes ou fatores multiplicativos que convertem (desagregam) a lâmina total precipitada de um dia em lâminas precipitadas de eventos com durações de 24 horas e, a partir da informação obtida, novos coeficientes de desagregação são aplicados para a obtenção de lâminas precipitadas com durações inferiores a 24 horas (Santos et al., 2009). Tais coeficientes são denominados coeficientes de desagregação (Silveira, 2000).

Os coeficientes de desagregação são obtidos via análise das relações de chuvas de diferentes durações, sendo que pelo menos um desses coeficientes traz a relação entre a chuva pluviográfica e a chuva pluviométrica. Esses coeficientes são apresentados em forma de tabelas ou como índices em

cascata, o qual dois coeficientes são utilizados como fatores multiplicativos para transformar uma chuva de 24 horas em uma chuva de 1 hora (Silveira, 2000), por exemplo.

Dentre os diversos métodos de desagregação de chuvas existentes destacam-se: o Método das Relações de chuvas de diferentes durações (RCDD); o método de Bell (1969); o Método de Chen (1983); o Método de Hernandez (1991); o Método das Isozonas e o Método de Beltrame (1991). O método das relações de chuvas de diferentes durações é o mais difundido no Brasil.

2.5.1. Método das relações de chuvas de diferentes durações

A metodologia RCDD é de uso recorrente na engenharia por ser um método simples e de larga aplicação no Brasil (Damé et al., 2008; Aragão et al., 2013; Damé et al., 2016). O estudo clássico no Brasil sobre desagregação de chuvas intensas foi desenvolvido pela CETESB (1979), o qual estabeleceu a relação de chuvas intensas de diferentes durações, a partir das curvas de intensidade máxima obtidas por Pfafstetter (1957) para localidades distribuídas em todo o território nacional (Oliveira et al., 2008a; Back; Pola, 2016). Essas relações compõem os coeficientes de desagregação (cd) que transformam a chuva de um dia em chuva de 24 horas ($cd_{24h/dia}$) e chuvas de uma duração t em chuva de duração t' ($cd_{t/t'}$). Os coeficientes obtidos pela CETESB (1979) encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuvas

Coeficiente de desagregação	$cd_{24h/dia}$	$cd_{12h/24h}$	$cd_{10h/24h}$	$cd_{8h/24h}$	$cd_{6h/24h}$	$cd_{3h/24h}$	$cd_{2h/h24}$
Valor	1,14	0,85	0,82	0,78	0,72	0,54	0,48
Coeficiente de desagregação	$cd_{1h/24h}$	$cd_{30'/1h}$	$cd_{25'/30'}$	$cd_{20'/h30'}$	$cd_{15'/h30'}$	$cd_{10'/h30'}$	$cd_{5'/h30'}$
Valor	0,42	0,74	0,91	0,81	0,70	0,54	0,34

Os coeficientes propostos pela CETESB (1979) foram gerados a partir de séries parciais e com períodos de tempo de análise relativamente curtos. O uso desses coeficientes baseia-se na premissa de resultados mais

consistentes das séries parciais, em relação a séries anuais, para TR inferiores a 10 anos, e resultados semelhantes para TR superiores a 10 anos (CETESB, 1979).

Outra premissa do método RCDD é o fato de as relações de chuvas de 24 horas e chuvas de durações menores não apresentam variações consideráveis em seus valores, independente do TR e da localidade.

O coeficiente de desagregação fundamental que contém a relação entre a informação pluviométrica e pluviográfica é o que relaciona a chuva de 24 horas com a chuva de um dia ($cd_{24h/dia}$). Alguns trabalhos demonstraram que a relação da chuva máxima em 24 horas e a chuva máxima de um dia é praticamente constante, independente do período de retorno (Occgipintini; Santos, 1966; Back, 2009), mas apresentam variação de magnitudes de 1,095 a 1,24 em diferentes localidades (Torrico, 1974; Back, 2006; Back, 2009; Back; Oliveira; Henn, 2012; Back; Pola, 2016).

Através do $cd_{24h/dia}$ é possível desagregar a chuva de um dia em chuva de 24 horas. Logo após, fazendo uso de relações de chuvas de diferentes durações (outros coeficientes de desagregação), é possível desagregar a chuva de 24 horas obtida em chuvas de durações menores. A desagregação da chuva de 1 dia (pluviométrica) é, portanto, feita em cascata, contemplando sempre o coeficiente $cd_{24h/dia}$, que traz a relação entre a chuva pluviográfica e a chuva pluviométrica (Silveira, 2000).

Uma opção para melhorar os resultados do método é adquirir coeficientes específicos para cada localidade, através da análise da relação de chuvas pluviográficas e pluviométricas, e das relações de chuvas máximas de diferentes durações e a chuva máxima de 24 horas. Isso pode proporcionar maior precisão das estimativas de chuvas intensas (Pinto, 1995; Pereira et al., 2014), uma vez que as precipitações tem grande variabilidade espaço-temporal, e as relações locais contemplam as características das precipitações do local.

Alguns esforços já foram realizados para se obter as relações de chuvas de diferentes durações, para subsidiar estudos de chuvas intensas (Pinto, 1995; Back, 2006; Back; Oliveira; Henn, 2012; Back; Pola, 2016). A relação entre a chuva de 24 horas e 1 dia, que estabelece o $cd_{24h/dia}$, normalmente é maior ou igual a 1. Para a cidade de São Paulo, essa relação

foi de 1,14 (CETESB, 1979) enquanto que para o estado de São Paulo foi de 1,11, com valores variando entre 1,031 e 1,170 (Genovez; Pegoraro, 1998); para o Brasil, Torrico (1974), apud. Genovez; Pegoraro (1998) encontraram o $cd_{24h/dia}$ igual a 1,095. Nos Estados Unidos, o valor adotado pelo United State Weather Bureau é de 1,13. Back et al. (2012) encontraram uma relação média de 1,17 para Santa Catarina, com variações entre 1,11 a 1,24. Para Urussanga (SC) essa relação foi de 1,13 (Back, 2009). Percebe-se que o $cd_{24h/dia}$ apresenta valores variáveis para diversas regiões, o que reforça o indício de que coeficientes locais tendem a representar de maneira mais exata as características de chuva do local.

Os outros coeficientes de desagregação também apresentam grande variabilidade entre as localidades. Back et al. (2012) analisaram relações de chuvas de diferentes durações em Santa Catarina, dividindo o estado em região litorânea e interior. Os autores constataram diferenças tanto entre as estações do estado quanto quando essas relações de chuvas de diferentes durações foram comparadas com os coeficientes de desagregação da CETESB (1979). Pinto (1995) também obteve as relações de chuvas intensas para 29 localidades de Minas Gerais. Os resultados foram diferentes entre as localidades do estado, especialmente no que tange as regiões geográficas de Minas Gerais, com coeficientes de variação entre 5,4% e 16,3%.

2.5.2. Aplicação do método RCDD

A aplicação do método RCDD consiste em algumas etapas que envolvem a aquisição e seleção de dados pluviométricos, a aplicação de uma FDP aderente ao conjunto de dados, a escolha dos coeficientes de desagregação a serem utilizados, o processo de desagregação das chuvas propriamente dito, a obtenção das intensidades máximas de chuva para cada duração e período de retorno, e a obtenção dos parâmetros da equação de chuvas intensas (Equação 2.1).

A aquisição de dados pluviométricos pode ser feita através do portal HidroWeb, mantido pela Agência Nacional das Águas (ANA) ou através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Em posse dos dados, faz-se a seleção das precipitações máximas observadas em cada ano (P_{max}), que irão

constituir a série de dados pluviométricos. A essa série de dados, aplica-se uma FDP para estimar os quantis de interesse (P_{TR}), ou seja, as precipitações máximas de 1 dia, associadas a uma frequência de ocorrência, representada pelo período de retorno. Cada P_{TR} será desagregado em precipitações de durações inferiores a um dia, associadas a um período de retorno, através do uso dos coeficientes de desagregação.

Ao final do processo de multiplicação em cascata dos coeficientes de desagregação e das P_{max} , tabula-se a precipitação máxima de cada duração (h = lâmina precipitada em milímetro), associada a cada período de retorno. Transforma-se a lâmina precipitada em intensidade de chuva, através da multiplicação de h pelo tempo de duração, em horas ($i_m = h \cdot t$).

Em posse das informações de intensidades máximas para cada duração e período de retorno, é possível estimar os parâmetros k , a , b e c da equação de chuvas intensas, através do algoritmo de Gauss-Newton (Freitas et al., 2001; Penner; Lima, 2016).

A Figura 2 mostra o fluxograma da aplicação do método RCDD, para obtenção de equações de chuvas intensas com coeficientes de desagregação da CETESB (1979) e coeficientes de desagregação específicos.

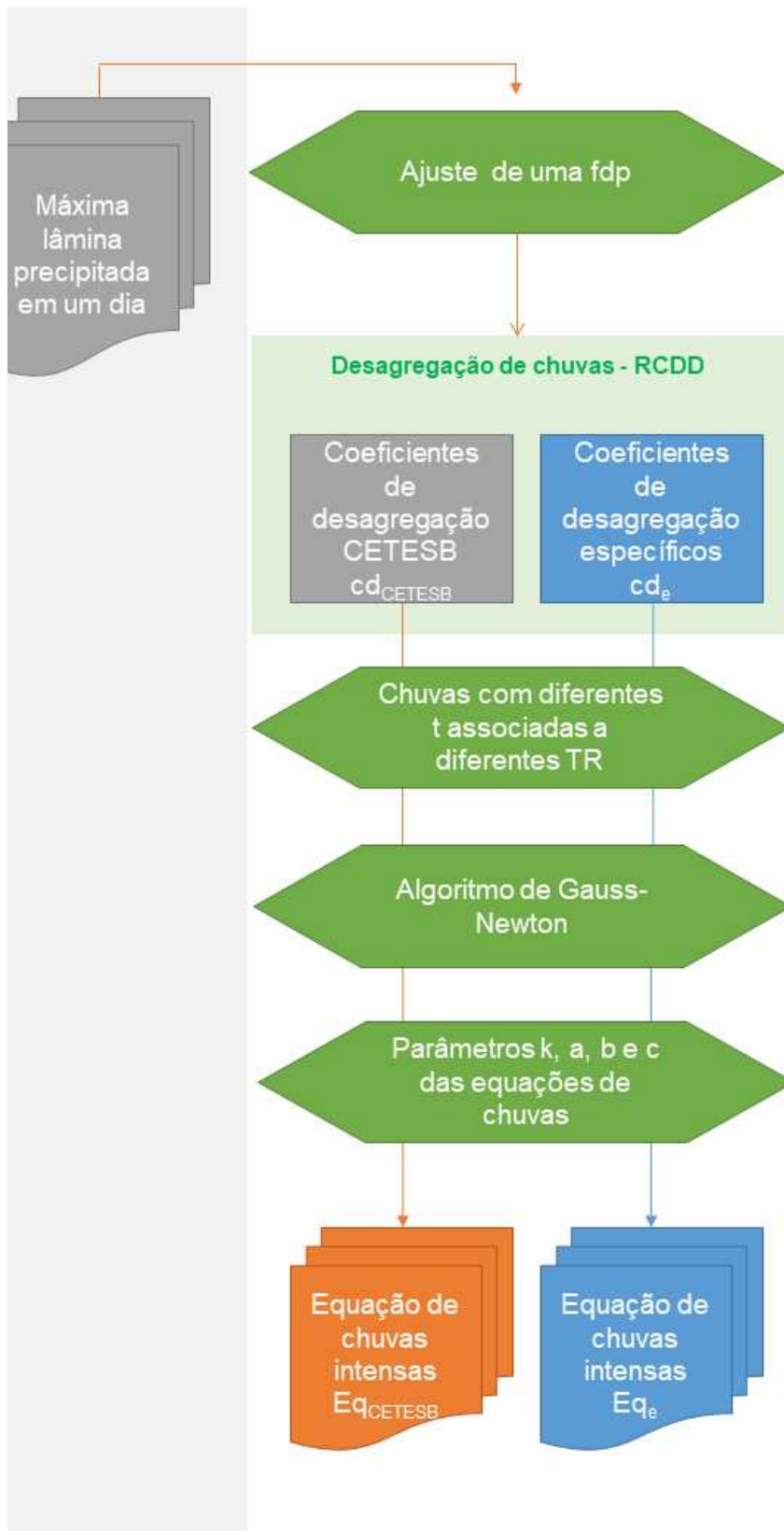


Figura 2. Fluxograma apresentando as etapas para obtenção de uma equação de chuva intensa pelo método RCDD com coeficientes de desagregação da CETESB (1979) e coeficientes de desagregação específicos.

2.5.3. Trabalhos sobre chuvas intensas desenvolvidos no Brasil

Diversos trabalhos a respeito de chuvas intensas foram desenvolvidos no Brasil, com diferentes abordagens. A primeira abordagem é relacionada à obtenção das equações de chuvas intensas através da análise de informações pluviográficas, considerado o procedimento padrão para a obtenção de tais equações. Os estudos pioneiros em obter as intensidades máximas de chuvas para diferentes durações foram desenvolvidos por Pfafstetter (1957) e Denardim e Freitas (1982). Esses estudos analisaram dados pluviográficos de estações distribuídas em todo o território brasileiro. Para alguns estados, foram desenvolvidas equações de chuvas intensas para algumas de suas localidades. Os estados com equações IDF obtidas através de registros pluviográficos são: Minas Gerais (Pinto, 1995; Freitas et al., 2001), Rio de Janeiro e Espírito Santo (Pinto, 1999), Bahia (Silva et al., 2002), Tocantins (Silva et al., 2003), Mato Grosso do Sul (Pereira et al., 2007), Paraná (Fendrich, 2011) e Santa Catarina (Cardoso et al., 2014).

Percebe-se que a disponibilidade de equações de chuvas intensas a partir de informações pluviográficas no Brasil é restrita, especialmente nas regiões norte, nordeste e centro-oeste do país. Para suprir a necessidade de informações sobre equações de chuvas intensas, a metodologia da desagregação de chuvas intensas através da RCDD foi aplicada em algumas localidades dos estados de Santa Catarina (Cardoso; Ullmann; Bertol, 1998), Distrito Federal (Oliveira et al., 2005), Goiás (Oliveira et al., 2000; Oliveira et al., 2005; Oliveira et al., 2008), Mato Grosso do Sul (Santos et al., 2009; Pereira et al., 2014), São Paulo (Silva et al., 1999; Moruzzi; Oliveira, 2009), Paraná (Lorenzoni et al., 2013; Longo; Sampaio; Suszek, 2006), Pará (Souza et al., 2012), Pernambuco (Silva et al., 2012), Ceará (Silva et al., 2013), Piauí (Campos et al., 2014), Maranhão (Campos et al., 2015) e Tocantins (Silva et al., 2017).

O que a maioria desses estudos tem em comum é a ausência de uma comparação das estimativas de intensidade de chuvas com resultados observados ou com resultados de equações pluviográficas, na maioria das vezes, devido à ausência dessas informações. Alguns trabalhos comparam os

resultados de intensidade estimados pelo método RCDD com os estimados pelas equações de chuvas intensas produzidas via análise pluviográfica, em termos de erros ou estatísticas de ajuste. Porém, a equivalência entre os valores ainda é uma incógnita.

Dentre os estudos que compararam os resultados obtidos via métodos de desagregação de chuvas com os resultados observados na série histórica para verificar a equivalência, destaca-se o desenvolvido em Pelotas por Damé; Teixeira; Terra (2008). Através da análise de regressão e do teste t para os parâmetros da regressão linear, os autores compararam as intensidades máximas precipitadas obtidas através da equação de chuvas intensas via desagregação de chuvas com o uso dos coeficientes da CETESB (1979) e os dados observados na série histórica. Foram utilizadas as combinações de 6 durações ($t = 15, 30, 60, 360, 720$ e 1440 minutos) e 3 períodos de retorno (TR = 2, 5 e 10 anos) (Damé; Teixeira; Terra, 2008). Porém, além da ausência de períodos de retorno acima de 10 anos na análise, a regressão foi estabelecida para cada período de retorno individualmente, o que não garante equivalência entre dados observados e estimados ao longo de todas as combinações entre t e TR. Isso porque as regressões estabelecidas para os períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos podem ter coeficientes angulares diferentes entre si. Ainda, o teste foi realizado para apenas uma única localidade.

No estado do Paraná, foram comparadas as intensidades de chuva obtidas pelos métodos de desagregação RCDD e pelo método de Bell, com equações de chuvas intensas obtidas via análises de informações pluviográficas pelo teste F (Almeida; Reis; Mendonça, 2016). Apesar de os autores conferirem equivalência em termos de intensidade para períodos de retorno acima de 10 anos entre os dados estimados pelos métodos de desagregação e os estimados pelas equações pluviográficas, o teste F testa a hipótese nula de igualdade entre as variâncias de duas populações e não de equivalência de resultados.

Portanto, os métodos de desagregação de chuvas ainda carecem de respostas mais conclusivas a respeito de sua equivalência e viabilidade de uso e com testes mais adequados para tal finalidade.

3. ANÁLISE DAS RELAÇÕES DE CHUVAS DE DIFERENTES DURAÇÕES, VISANDO A OBTENÇÃO DE COEFICIENTES DE DESAGREGAÇÃO

3.1. Introdução

Informações a respeito da chuva de projeto associada a diferentes durações e períodos de retorno têm grande importância em projetos de engenharia que objetivam conduzir e/ou acumular a água excedente da precipitação (Back, 2009; Pereira et al., 2014; Back; Pola, 2016). Isso porque a chuva de projeto proporciona o maior pico de vazão (Back; Oliveira; Henn, 2012) e pode comprometer as estruturas hidráulicas quando não há o planejamento adequado das suas capacidades de suporte.

Para estimar a chuva de projeto geralmente são utilizadas equações que relacionam as grandezas fundamentais das precipitações, sendo elas: a intensidade da chuva (i_m), geralmente expressa em $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, o tempo de duração da chuva (t), em minutos, e a frequência (f), representada pelo período de retorno ($TR = 1/f$), em anos (Mello et al., 2003; Cardoso et al., 2014). Normalmente essas equações são chamadas de equações de chuvas intensas ou equações de intensidade-duração-frequência, sendo as mesmas estimadas com base em dados locais e, portanto, apresentando validade local (So et al., 2017).

O método convencional de obtenção das equações de chuvas intensas depende da disponibilidade de dados pluviográficos, pois há necessidade de se obter, para cada ano da série histórica, as chuvas mais intensas associadas às diferentes durações. Porém, dados pluviográficos são geralmente escassos e/ou com períodos curtos de observações (Back, 2009; Teodoro et al., 2014). Nesse sentido, métodos alternativos, comumente chamados de métodos de desagregação de chuvas, foram desenvolvidos para estimar chuvas de menores durações, a partir da relação dessas chuvas com a chuva de 24 horas, obtidas em pluviômetros (Bell, 1969; CETESB, 1979).

O estudo clássico sobre desagregação de chuvas intensas no Brasil foi realizado por CETESB (1979), denominado método das relações entre chuvas de diferentes durações (RCDD), no qual foram obtidos coeficientes para

desagregar a chuva de um dia em chuvas de menores durações. Os coeficientes de desagregação da CETESB (1979) foram obtidos a partir de dados de diversas localidades brasileiras, usando séries com períodos muito curtos (Genovez; Zuffo, 2000). Esse método se baseia nas premissas de que existe uma tendência de as curvas de probabilidade correspondentes a diferentes durações se manterem equidistantes e que, para diferentes localidades, há similaridade nas relações de chuvas de diferentes durações (Moruzzi; Oliveira, 2009). Trata-se de um método simples e que os resultados são considerados satisfatórios (Damé et al., 2008; Aragão et al., 2013; Damé et al., 2016; Almeida et al., 2017). Por esse motivo, os coeficientes de desagregação estabelecidos pela CETESB (1979) ainda são muito utilizados no Brasil.

Com base nas premissas anteriores espera-se, portanto, que a relação entre a chuva associada a uma duração qualquer e a chuva de 24 horas seja constante para diferentes períodos de retorno. Isso porque, no método das relações das durações, cada coeficiente de conversão de duração de chuva é multiplicado pela chuva máxima esperada para os diferentes períodos de retorno.

Por outro lado, Silva Neto et al. (2017) apresentaram as curvas dos coeficientes de desagregação em função do período de retorno para 10 estações do estado de Tocantins, observando que as curvas dessas relações foram próximas a uma reta, paralela ao eixo das abcissas. Porém, existiram pequenas curvaturas que podem indicar tendências nos coeficientes de desagregação, em função do período de retorno. Essas tendências podem comprometer a qualidade do método RCDD, já que o fator multiplicativo pode ser subestimado ou superestimado, influenciando nos valores desagregados de chuvas de menores durações.

Outra importante questão a respeito do método da desagregação de chuvas é que alguns autores constataram que as relações de chuvas intensas de diferentes durações tem validade regional, enquanto outros identificaram como de validade local, embora os valores médios dessas relações não sejam tão discrepantes ao redor do mundo (Genovez; Zuffo, 2000; Cardoso et al., 2014). Portanto, torna-se importante estabelecer novas relações que contenham as características particulares de cada localidade (Cardoso et al.,

2014), o que pode contribuir para um melhor desempenho do método da relação de chuvas de diferentes durações (Pereira et al., 2014).

Genovez e Zuffo (2000) reforçam que o uso de coeficientes de desagregação médios para o Brasil pode gerar erros de estimativa das chuvas intensas em proporção superior a 30%, em relação à equação proveniente de registros pluviográficos. No entanto, Caldeira et al. (2015) constataram menor erro padrão da estimativa utilizando os coeficientes de desagregação da CETESB (1979), em relação aos obtidos por Damé et al. (2010), para Pelotas (RS), e por Back et al. (2012), para Santa Catarina, quando estimaram chuvas intensas para o estado do Rio Grande do Sul. Apesar do melhor desempenho obtido por meio de coeficientes generalizados, os autores ressaltaram que muitos dos postos pluviográficos utilizados pela CETESB (1979) são coincidentes com os postos pluviométricos estudados no estado, o que poderia ter influenciado no melhor desempenho do método. Além disso, para a cidade de Pelotas, os coeficientes de desagregação obtidos nesta cidade forneceram melhores resultados em relação aos coeficientes de desagregação da CETESB (1979).

Levando-se em consideração a importância do método das relações de durações para a obtenção das chuvas intensas associadas a diferentes durações para locais onde não há registros de dados pluviográficos, e o fato de que existem dúvidas se as premissas do método podem efetivamente ser adotadas em todo o Brasil, o presente trabalho teve como objetivos: avaliar o comportamento das relações de chuvas de diferentes durações em função do período de retorno; e verificar se existe diferença significativa entre estas relações de durações das chuvas para diferentes localidades do estado de Minas Gerais.

3.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado para o estado de Minas Gerais, que apresenta área de, aproximadamente, 586 mil km², e possui grande variabilidade climática, com considerável influência do relevo na formação de microclimas (Mello; Viola, 2013). Essa variabilidade climática de Minas Gerais foi considerada estratégica para a realização do estudo, uma vez que permitiu

averiguar detalhadamente se os coeficientes de desagregação tem validade local ou regional, considerando as diferentes localidades com características climáticas diferenciadas. A base de dados do presente estudo consistiu em séries sub-diárias de dados pluviográficos de 177 estações localizadas em Minas Gerais (Figura 3).

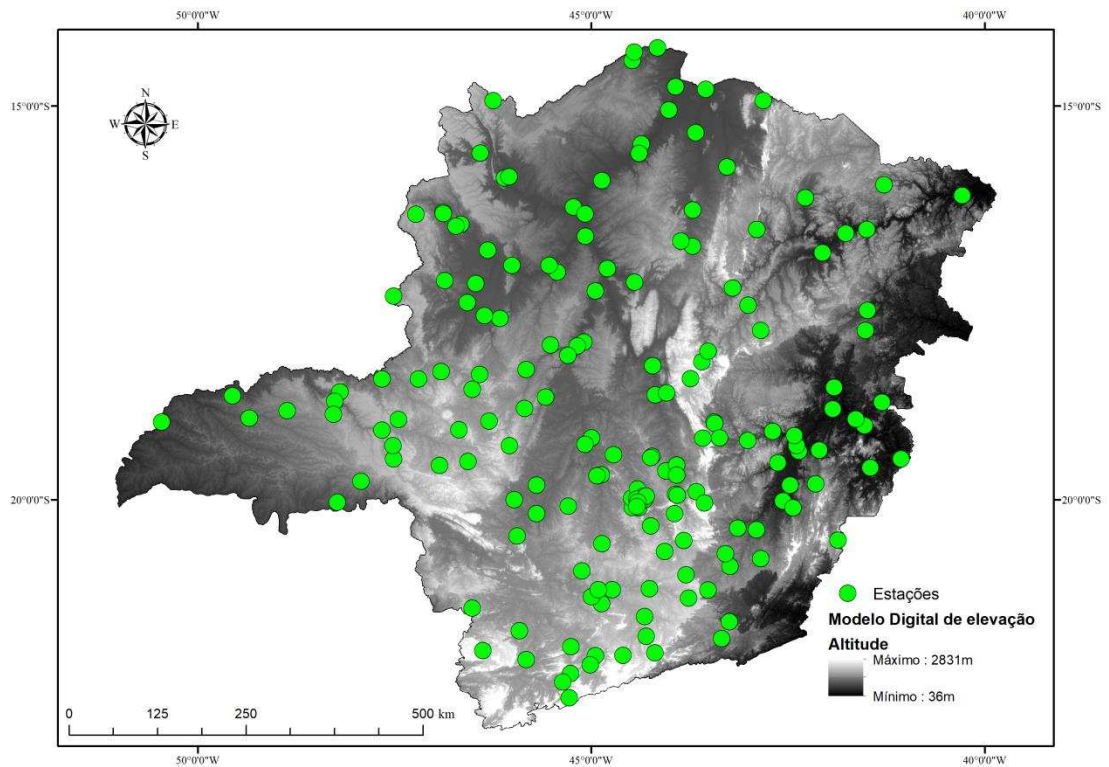


Figura 3. Modelo digital de elevação de Minas Gerais e distribuição espacial das estações pluviográficas analisadas.

Os dados pluviográficos foram previamente obtidos e tabulados por Freitas et al. (2001), que analisaram os pluviogramas de cada uma das 177 estações correspondentes às precipitações mais intensas de cada ano das séries associadas às durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos. Não foi estabelecido um período base coincidente para todas as estações, para evitar o descarte de informações. Para cada duração, foram estimados os valores de chuva máxima, em mm, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos (quantis de interesse), por meio do ajuste da melhor distribuição probabilística, obtida após aplicação do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), em nível de 20% de significância,

conforme indicado por Silva et al. (2002; 2003) e Freitas et al. (2001). As distribuições probabilísticas de eventos extremos testadas foram: Gumbel, Log normal a 2 e 3 parâmetros, Pearson a 3 parâmetros, Log Pearson a 3 parâmetros. Para a aplicação do teste KS, optou-se pelo nível de significância de 20% devido ao maior rigor em aceitar a hipótese de aderência da distribuição probabilística ao conjunto de dados, em relação ao nível de significância de 5%.

Para cada período de retorno, estabeleceram-se as relações (razões) entre as lâminas de chuva associadas a 10, 20, 30, 40, 50, 60 (1h), 120 (2h), 180 (3h), 240 (4h), 360 (6h), 720 (12h) minutos e a chuva de 1.440 (24h). Essas relações representam os coeficientes de desagregação (cd) para cada duração de chuva, sendo representados, respectivamente, por: $cd_{10'/24h}$, $cd_{20'/24h}$, $cd_{30'/24h}$, $cd_{40'/24h}$, $cd_{50'/24h}$, $cd_{1h/24h}$, $cd_{2h/24h}$, $cd_{3h/24h}$, $cd_{4h/24h}$, $cd_{6h/24h}$ e $cd_{12h/24h}$.

A análise da variação do coeficiente de desagregação em função do período de retorno foi feita por meio do teste t de Student, com significância (α) de 5%, para os parâmetros da regressão linear. Com base na expectativa de que coeficientes de desagregação iguais gerem retas paralelas ao eixo das abcissas e com intercepto no eixo das ordenadas equivalente à média dos mesmos, gerando, portanto, coeficiente angular (β_1) igual a zero, testou-se as seguintes hipóteses: $H_0: \beta_1 = 0$ (hipótese nula); e $H_1: \beta_1 \neq 0$ (hipótese alternativa). O coeficiente de determinação (R^2) das regressões lineares foi interpretado utilizando o mesmo critério utilizado para o preenchimento de falhas de dados hidrológicos através da regressão linear, o qual exige R^2 mínimo de 0,7 para a regressão ser considerada adequada (Pruski et al., 2004; Oliveira et al., 2010).

A análise comparativa entre as relações de chuvas de diferentes durações, de distintas estações, foi feita por meio do teste t de Student para o coeficiente angular (β_1), com 5% de significância. A análise de regressão foi utilizada com expectativa de obtenção de uma relação 1:1 entre os coeficientes de desagregação das estações comparadas (coeficiente angular igual a 45° ; $\beta_1 = 1$). Para tal, utilizou-se o modelo de regressão linear de primeiro grau sem intercepto ($Y = \beta_1 \cdot X$). Esse procedimento é utilizado para verificar a existência de concordância entre dois modelos ou métodos distintos (Oliveira, 2016).

Compararam-se as estações, duas a duas. Para não interpretar diferenças significativas, como consequência de diferentes séries de dados (anos diferentes na série histórica), compararam-se apenas estações com a mesma série de dados em termos de anos analisados e com pelo menos 24 anos de dados. As estações comparadas foram separadas em quatro grupos de acordo com o tamanho da série histórica e os anos que a compõe (Tabela 3).

Tabela 3. Estações utilizadas para comparação das relações através do teste t

Grupo de comparação 1: 24 anos de registros				
Estações	Código	Latitude	Longitude	Período
Santa Rosa	01746002	17° 15' 17"	46° 28' 30"	
Lagoa do Gouveia	01845004	18° 50' 29"	45° 51' 05"	
Caeté	01943010	19° 54' 02"	43° 40' 03"	
Carmo da Mata	02044042	20° 33' 45"	44° 52' 03"	1975-1986
Cristina	02245065	22° 12' 39"	45° 16' 02"	1988-1999
Andrelândia	02144019	21° 44' 19"	44° 18' 21"	
Madre de Deus de Minas	02144007	21° 29' 03"	44° 19' 36"	
Santa Juliana	01947001	19° 18' 57"	47° 31' 34"	
Grupo de comparação 2: 25 anos de registros				
Caixa de Areia	01943022	19° 56' 42"	43° 54' 45"	
Bom Jardim de Minas	02144001	21° 56' 52"	44° 11' 37"	
Iraí de Minas	01847010	18° 58' 55"	47° 27' 27"	1975-1999
Coromandel	01847014	18° 28' 00"	47° 12' 00"	
Luz	01945012	19° 49' 00"	45° 42' 00"	
Três Marias	01845009	18° 10' 00"	45° 18' 00"	
Grupo de comparação 3: 26 anos de registros				
Canoeiros	01845021	18° 02' 18"	45° 31' 25"	
Presidente Olegário	01846005	18° 24' 45"	46° 25' 19"	
São Gotardo	01946009	19° 18' 55"	46° 02' 40"	
Santo Antônio do Monte	02045013	20° 05' 04"	45° 17' 48"	
Maria da Fé	02245088	22° 19' 04"	45° 22' 04"	
Silvianópolis	02245089	22° 02' 03"	45° 50' 00"	1974-1999
Aiuruoca	02144018	21° 58' 47"	44° 36' 09"	
Carmo do Paranaíba	01846001	19° 00' 12"	46° 18' 22"	
Serra do Salitre	01946008	19° 06' 46"	46° 41' 18"	
Morro do Pilar	01943025	19° 13' 03"	43° 22' 27"	
Tumiritinga	01841011	18° 58' 35"	41° 38' 25"	
São Gonçalo do Abaeté	01845011	18° 21' 00"	45° 50' 00"	
Grupo de comparação 4: 27 anos de registros				
Entre Rios de Minas	02044007	20° 39' 40"	44° 04' 14"	
Itumirim	02144005	21° 19' 16"	44° 52' 23"	
Conceição do Mato Dentro	01943002	19° 01' 00"	43° 26' 39"	1973-1999
Assaraí	01941006	19° 35' 35"	41° 27' 23"	
Mendanha	01843003	18° 06' 48"	43° 31' 13"	

Também foram calculadas estatísticas de dispersão, como o desvio padrão (σ), o coeficiente de variação (CV) e a amplitude (Amp) dos coeficientes de desagregação das estações de Minas Gerais. Ressalta-se que quanto menor os valores das estatísticas de dispersão, menor o grau de variabilidade dos valores dos coeficientes de desagregação.

3.3. Resultados e Discussão

A função de distribuição de probabilidade (FDP) Gumbel apresentou melhor desempenho na representação dos dados observados com base no teste de Kolmogorov-Smirnov, seguido pelas FDP's Log-normal a 2 parâmetros e Pearson a 3 parâmetros. Já a FDP Log-Pearson a 3 parâmetros apresentou desempenho inadequado para diversas situações. Portanto, devido à aderência da distribuição de Gumbel às séries de dados de chuvas intensas de todas as durações, e ao melhor ajuste para a maioria delas, essa FDP foi escolhida para o cálculo dos quantis de interesse.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da aplicação do teste t de Student para os diferentes coeficientes de desagregação avaliados, onde se pode comprovar que o coeficiente angular da reta de regressão dos coeficientes de desagregação, em função do período de retorno, para a maioria das situações, é estatisticamente nulo ($\beta_1 = 0$). Das 1.947 regressões ajustadas, apenas 132 apresentaram tendências (cerca de 7% das análises), enquanto que 1.815 apresentaram o coeficiente angular igual a zero, representando 93% das análises. As tendências detectadas apresentaram-se distribuídas nos diversos coeficientes de desagregação, dentre os quais o $cd_{10/24h}$ foi o mais expressivo. O $cd_{40/24h}$ foi o único coeficiente de desagregação que não apresentou tendências. As tendências nos diferentes coeficientes de desagregação foram observadas em várias estações, ou seja, não foram recorrentes entre os diversos coeficientes de desagregação na mesma estação.

Tabela 4. Número de aceites e não aceites das hipóteses nulas (H_0) para os parâmetros da regressão linear (β_1 e β_0) entre os coeficientes de desagregação e o período de retorno

Coeficientes de desagregação	Hipóteses		Tendência	
	$H_0: B_1 = 0$	$H_1: B_1 \neq 0$	Positiva	Negativa
	Aceites H_0	Rejeições H_0		
cd _{10'/24h}	141	36	26	10
cd _{20'/24h}	165	12	6	6
cd _{30'/24h}	162	15	8	7
cd _{40'/24h}	177	0	0	0
cd _{50'/24h}	168	9	7	2
cd _{1h/24h}	168	9	5	4
cd _{2h/24h}	169	8	4	4
cd _{3h/24h}	161	16	8	8
cd _{4h/24h}	172	5	1	4
cd _{6h/24h}	164	13	7	6
cd _{12h/24h}	168	9	7	2
Total	1.815	132	79	53

A análise do coeficiente angular β_1 permitiu verificar a característica das tendências dos coeficientes de desagregação. Quando positivo, houve tendência de acréscimo no seu valor com o aumento do período de retorno e, quando negativo, a tendência foi de decréscimo. Não foi detectado um padrão (aumento ou redução) dos coeficientes de desagregação em função dos períodos de retorno. De maneira geral, constatou-se um número de tendências positivas maior, em relação às tendências negativas (59,8% do total).

A análise dos valores dos coeficientes de determinação (R^2), oriundos da análise de regressão entre os coeficientes de desagregação e os períodos de retorno, apresentados na Tabela 5, mostra que, para a maioria das situações, o R^2 não foi adequado ($R^2 < 0,70$). A proporção de R^2 inferiores a 0,70 foi superior a 87% dos casos, para todos os coeficientes de desagregação. Esses resultados indicam que a variável dependente (cd) não tem proporção majoritaria explicada pela variação da variável independente (TR). A maior proporção de R^2 superiores a 0,70 foi observada no cd_{10'/24h} (13% das situações) e no cd_{30'/24h} (4% das situações) provavelmente devido a grande variabilidade que as chuvas de menores durações apresentam.

Tabela 5. Ocorrências de coeficientes de determinação (R^2) obtidos na regressão entre os coeficientes de desagregação e os períodos de retorno, superiores e inferiores a 0,70

Coeficientes de desagregação	Número de ocorrências		Porcentagem de ocorrências	
	$R^2 \geq 0,7$	$R^2 < 0,7$	$R^2 \geq 0,7$	$R^2 < 0,7$
cd _{12h/24h}	175	2	98.9	1.1
cd _{6h/24h}	175	2	98.9	1.1
cd _{4h/24h}	175	2	98.9	1.1
cd _{3h/24h}	172	5	97.2	2.8
cd _{2h/24h}	175	2	98.9	1.1
cd _{1h/24h}	172	5	97.2	2.8
cd _{50'/24h}	173	4	97.7	2.3
cd _{40'/24h}	177	0	100.0	0.0
cd _{30'/24h}	170	7	96.0	4.0
cd _{20'/24h}	172	5	97.2	2.8
cd _{10'/24h}	154	23	87.0	13.0

A Figura 4 apresenta as regressões com tendências positivas e negativas mais expressivas para cada coeficiente de desagregação. Através dessas regressões foi possível estimar as taxas de acréscimo ou decréscimo dos coeficientes de desagregação em função do período de retorno, especialmente para os casos nos quais os coeficientes angulares foram maiores. A tendência média de aumento e de decréscimo dos coeficientes de desagregação, em relação à sua média, para cada 10 anos de período de retorno, foi de 1%. Já o aumento dos coeficientes de desagregação em relação a sua média, para cada 100 anos de período de retorno foi de 6%, enquanto a redução média de 11%. A análise das situações extremas mostra que essa tendência poderia modificar os coeficientes de desagregação, em relação à média, em uma proporção de até 3% a cada 10 anos e de até 21% a cada 100 anos de período de retorno.

Destaca-se ainda, que nos casos em que se observaram as maiores tendências, o R^2 nem sempre foi superior a 0,70. Esse fato pode indicar que, quando da existência de tendência significativa, a variação dos coeficientes de desagregação pode não ser linear. O comportamento próximo a uma função logarítmica, potencial ou polinomial dos coeficientes de desagregação em

função do período de retorno pode indicar que as variações dos coeficientes de desagregação em função do período de retorno ocorre, majoritariamente, no período de retorno de 2 anos, tendendo ao comportamento assintótico em períodos de retorno maiores, o que reforça o uso de coeficientes de desagregação médios não oferecem prejuízos a análise de desagregação de chuvas.

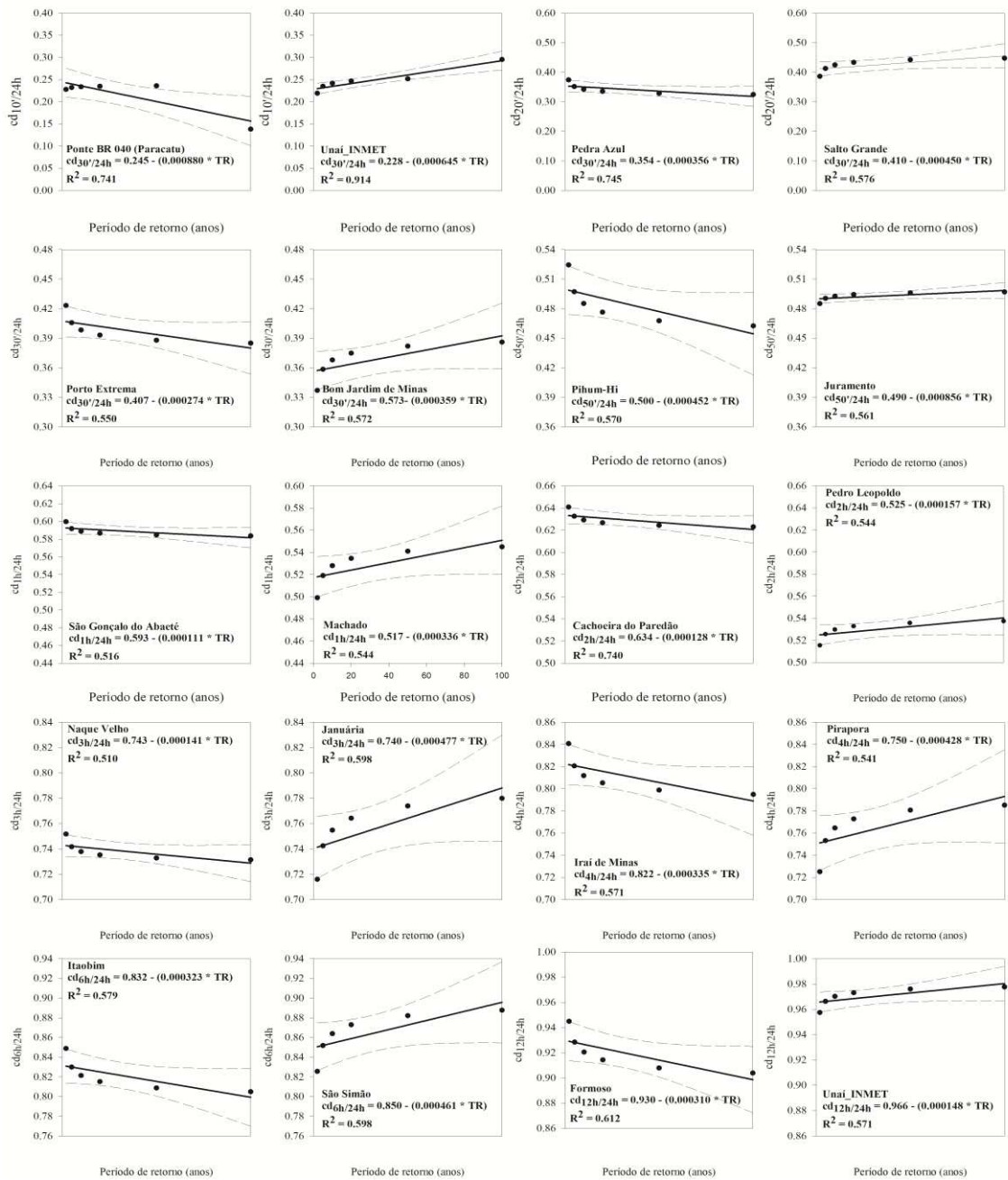


Figura 4. Tendências positivas e negativas dos coeficientes de desagregação, em função do período de retorno, para as estações com maiores coeficientes angulares, considerando distintas relações de duração das chuvas.

Uma vez que as equações de chuvas intensas são utilizadas normalmente em projetos hidráulicos, nos quais se utilizam períodos de retorno entre 2 e 100 anos, essas tendências poderiam influenciar de maneira desfavorável o desempenho do método RCDD quando não for considerada a variação dos coeficientes de desagregação em função do período de retorno. Um detalhe importante é que os coeficientes de desagregação são utilizados como fatores multiplicativos, em cascata, o que pode incorrer em erros acumulativos na desagregação de chuvas. Porém, devido à magnitude de variação dos coeficientes de desagregação ao longo dos períodos de retorno, a utilização de um cd médio para os TRs pode não oferecer estimativas de chuvas intensas com grande discrepância, principalmente em estudos relacionados a chuvas intensas. Além disso, o próprio período de retorno é um suporte de segurança do projeto, o que compensa essa pequena variação nos cds , em função do período de retorno.

As maiores tendências no $cd_{10'/24h}$, tanto em número de tendências quanto na inclinação das retas (maior coeficiente angular) se deve ao fato de que as chuvas de menores durações possuem um maior desvio padrão (Silva et al., 2002, 2003; Freitas et al., 2001), devido à origem de sua ocorrência, geralmente convectiva, o que proporciona maior variabilidade (Mello; Viola, 2012).

Na Figura 5 são apresentadas as relações entre os coeficientes de desagregação e o período de retorno para as localidades com maior coeficiente angular β_1 , em Minas Gerais, onde se pode comprovar que a mudança nos valores dos coeficientes de desagregação, em função do período de retorno, é relativamente pequena. Silva Neto et al. (2017) observaram um comportamento assintótico nas curvas dos coeficientes de desagregação em relação ao período de retorno (eixo x), assim como observado neste estudo. Essas análises corroboram com outros trabalhos que atestam o método de desagregação como uma ferramenta para a obtenção de chuvas de menores durações, a partir da chuva de um dia (Silva, et al., 2012; Damé et al., 2014; Caldeira et al., 2015).

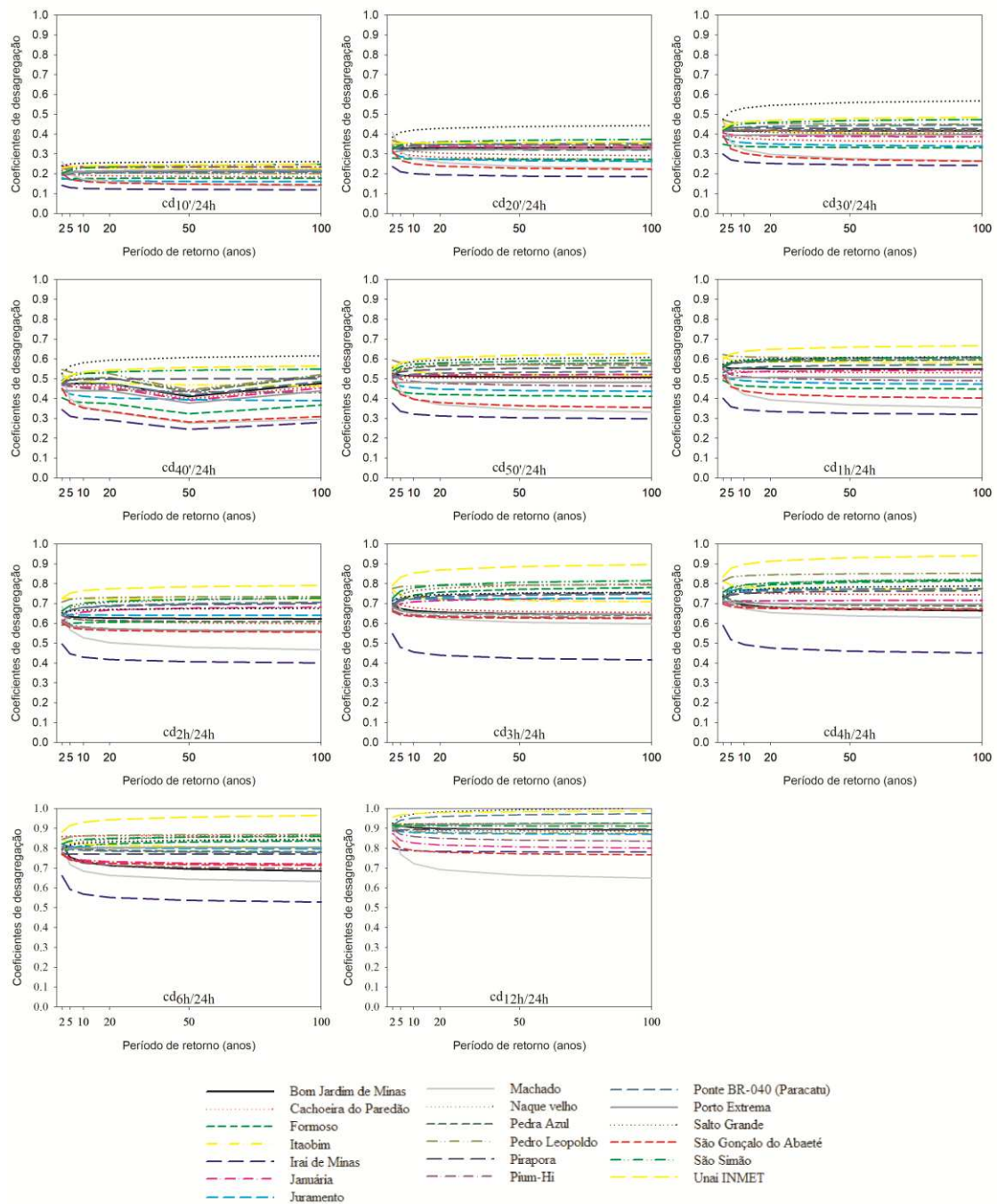


Figura 5. Relações entre os coeficientes de desagregação e o período de retorno para as localidades com maior coeficiente angular, em Minas Gerais.

Uma questão importante a ser ressaltada é que as tendências detectadas neste trabalho não foram influenciadas pelo uso de diferentes funções de distribuição de probabilidade para o cálculo dos valores de chuvas máximas de diferentes durações, associadas a um período de retorno, em decorrência da total predominância do modelo Gumbel para o cálculo dos

quantis de interesse. Essas tendências se devem, provavelmente, à existência de alguns valores de precipitação máxima anual com grande diferença de magnitude em relação à média das precipitações máximas de cada ano, para cada duração de chuva analisada. Esses valores discrepantes influenciam o comportamento das distribuições de probabilidade, gerando estimativas de quantis com diferenças desproporcionais à variação de suas durações. Ressalta-se, ainda, que esses valores discrepantes não podem ser considerados *outliers*, uma vez que, em estudos de eventos extremos, podem ocorrer valores atípicos de chuvas de alta intensidade associados a uma determinada frequência de ocorrência.

Nas tabelas de 6 a 9 são apresentados os p-valores do teste t, para o coeficiente angular entre os cds de diferentes estações, para os grupos 1, 2, 3 e 4. A análise comparativa entre as relações de diferentes estações apontou diferença significativa em 91% dos casos ($p\text{-valor} \leq 0,05$) das 119 comparações realizadas. Os resultados obtidos corroboram com os trabalhos que indicam que a utilização de relações de chuvas de diferentes durações deve ter caráter local (Pereira et al., 2014), devido a diferenças nos coeficientes de desagregação (Back; Pola, 2016). As estatísticas de dispersão confirmam diferenças entre as estações (Tabela 10). Esse fato fica evidente na análise da amplitude, especialmente dos coeficientes que relacionam as chuvas de menores durações ($cd_{10'/24h}$, $cd_{20'/24h}$, $cd_{30'/24h}$, $cd_{40'/24h}$, $cd_{50'/24h}$). A amplitude, inclusive, pode ser equivalente e até superior à média do coeficiente de desagregação, o que corrobora com o fato de que a generalização dos coeficientes de desagregação pode afetar o desempenho do método RCDD. Isso porque o uso de uma média geral pode implicar em coeficientes de desagregação com diferença superior a 100%. A análise visual das retas geradas pelos cds das diferentes estações, apresentadas na Figura 5, mostra o distanciamento entre as mesmas, indicando a grande diversidade em termos de comportamento das relações de chuvas de diferentes durações, de cada localidade.

Tabela 6. Matriz de p-valores das comparações das relações de chuvas de diferentes durações entre estações do grupo 1

Estações	Andrelândia	Caeté	Carmo da Mata	Cristina	Lagoa do Gouveia	Madre de Deus de Minas	Santa Juliana	Santa Rosa
Andrelândia	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Caeté		1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Carmo da Mata			1.0000	0.0000	0.0000	0.1632	0.0000	0.0000
Cristina				1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Lagoa do Gouveia					1.0000	0.0002	0.0000	0.0000
Madre de Deus de Minas						1.0000	0.0000	0.0000
Santa Juliana							1.0000	0.0165
Santa Rosa								1.0000

*p-valores menores que 0,05 indicam estações com diferença nas relações de chuvas, pelo teste t com 5% de significância.

Tabela 7. Matriz de p-valores das comparações das relações de diferentes durações entre estações do grupo 2

Estações	Caixa de Areia	Bom Jardim de Minas	Iraí de Minas	Coromandel	Luz	Três Marias
Caixa de Areia	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Bom Jardim de Minas		1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Iraí de Minas			1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Coromandel				1.0000	0.8428	0.1615
Luz					1.0000	0.0000
Três Marias						1.0000

*p-valores menores que 0,05 indicam estações com diferença nas relações de chuvas, pelo teste t com 5% de significância.

Tabela 8. Matriz de p-valores das comparações das relações de diferentes durações entre estações do grupo 3

Grupo 3	Canoeiros	Presidente Olegário	São Gotardo	Santo Antônio do Monte	Maria da Fé	Silvianópolis	Aiuruoca	Carmo do Paranaíba	Serra do Salitre	Morro do Pilar	Tumiritinga	São Gonçalo do Abaeté
Canoeiros	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Presidente Olegário		1.0000	0.0000	0.0000	0.1620	0.9582	0.0000	0.1415	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
São Gotardo			1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1415	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Santo Antônio do Monte				1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Maria da Fé					1.0000	0.6620	0.0000	0.0320	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Silvianópolis						1.0000	0.0000	0.5401	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Aiuruoca							1.0000	0.0000	0.0033	0.0000	0.1106	0.0000
Carmo do Paranaíba								1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Serra do Salitre									1.0000	0.0000	0.0000	0.0091
Morro do Pilar										1.0000	0.0000	0.4809
Tumiritinga											1.0000	0.0000
São Gonçalo do Abaeté												1.0000

*p-valores menores que 0,05 indicam estações com diferença nas relações de chuvas, pelo teste t com 5% de significância.

Tabela 9. Matriz de p-valores das comparações das relações de chuvas de diferentes durações entre estações do grupo 4

Grupo 4	Entre Rios de Minas	Itumirim	Conceição do Mato Dentro	Assaraí	Mendanha
Entre Rios de Minas	1.0000	0.0153	0.0001	0.0000	0.0000
Itumirim		1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Conceição do Mato Dentro			1.0000	0.0237	0.0000
Assaraí				1.0000	0.0000
Mendanha					1.0000

*p-valores menores que 0,05 indicam estações com diferença nas relações de chuvas, pelo teste t com 5% de significância.

Tabela 10. Média e estatísticas de dispersão dos coeficientes de desagregação de Minas Gerais

Minas Gerais											
	cd _{10'/24h}	cd _{20'/24h}	cd _{30'/24h}	cd _{40'/24h}	cd _{50'/24h}	cd _{1h/24h}	cd _{2h/24h}	cd _{3h/24h}	cd _{4h/24h}	cd _{6h/24h}	cd _{12h/24h}
Média	0,20	0,32	0,40	0,46	0,50	0,53	0,62	0,68	0,72	0,77	0,88
σ	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,07
CV	17,35	15,91	14,93	14,22	13,83	13,29	12,06	11,52	10,88	11,08	8,19
Amp	0,28	0,33	0,33	0,35	0,37	0,37	0,43	0,43	0,44	0,86	0,92

A comprovação da diferença das relações de chuvas intensas de diferentes durações, em diferentes locais, indica que os coeficientes gerados pela CETESB (1979) podem ser fontes de inconsistências na aplicação da metodologia RCDD. Os coeficientes da CETESB (1979) têm sido empregados em diversos locais, como Goiás e Distrito Federal (Oliveira et al., 2005), Sergipe (Silva et al., 2012; Aragão et al., 2013), Mato Grosso do Sul (Santos et al., 2009; Pereira et al., 2014), Rio Grande do Sul (Damé et al., 2014), Piauí (Campos et al., 2014), Maranhão (Campos et al., 2015) ou mesmo para toda a região nordeste (Silva; Oliveira, 2017), para obtenção de equações de chuvas intensas. Para a maioria dos estudos não houve comparação com dados pluviográficos devido à falta ou inexistência dos mesmos. Portanto, a verificação da influência do uso dos coeficientes de desagregação generalizados como os propostos pela CETESB (1979) nos resultados do método RCDD ainda precisa ser investigada.

Portanto, a consideração das diferenças que as chuvas locais apresentam por meio do uso de coeficientes de desagregação específicos para cada localidade deve ser preferida (Cardoso et al., 2014). Ressalta-se que

estudos com o objetivo de obter coeficientes de desagregação locais são raros no Brasil, devido à baixa disponibilidade de dados pluviográficos e o difícil acesso a essas informações. No entanto, devido à importância desse tipo de informação, recomenda-se que novos estudos possam ser desenvolvidos para suprir a necessidade de informações dessa natureza. Ferramentas como técnicas de interpolação espacial de dados, visando suprir a carência de informações de coeficientes de desagregação em locais sem registros pluviográficos e a análise de regionalização desses coeficientes através da identificação de regiões com características similares, as quais um valor médio possa ser representativo são possibilidades potenciais.

3.4. Conclusões

As relações de chuvas de diferentes durações não variaram em função do período de retorno para a maioria das situações analisadas (93% dos casos). As tendências constatadas foram consideradas inexpressivas uma vez que a variação dessas relações em função do período de retorno foram inferiores a 3% em relação a média, para cada 10 anos de período de retorno.

Foram constatadas diferenças significativas entre os coeficientes de desagregação de diferentes localidades, o que contraria a premissa de similaridade desses coeficientes em diferentes locais. Portanto, uma abordagem local deve ser utilizada sempre que possível em estudos de chuvas intensas de diferentes durações.

4. AVALIAÇÃO DO MÉTODO DAS RELAÇÕES ENTRE CHUVAS DE DIFERENTES DURAÇÕES

4.1. Introdução

O conhecimento das chuvas intensas é fundamental para o dimensionamento e manejo de estruturas destinadas à contenção de cheias e para projetos de engenharia de conservação de água e solo (Mello et al., 2012), reduzindo os prejuízos relacionados à ocorrência do escoamento superficial e da erosão hídrica (Oliveira et al., 2008). A caracterização destas chuvas se dá de forma individual e específica para cada localidade, por intermédio, principalmente, das equações de intensidade-duração-frequência (IDF) ou equações de chuvas intensas. A principal expressão matemática clássica que relaciona intensidade-duração-frequência das chuvas, amplamente utilizada para estudos de chuvas intensas, é a apresentada na Equação 1 (Vilela; Matos, 1975; Koutsoyiannis; Kozonis; Manetas, 1998):

$$i_m = \frac{k TR^a}{(t + b)^c} \quad (4.1)$$

em que i_m é a intensidade média máxima de precipitação em mm h^{-1} ; TR é o período de retorno em anos; t é o tempo de duração do evento em minutos e k, a, b e c são parâmetros da equação, a serem estimados para cada localidade.

As equações de chuvas intensas são estabelecidas a partir da identificação das intensidades máximas de chuva, para diferentes durações (Mello; Silva, 2013), normalmente variando entre 10 e 1440 minutos. O procedimento clássico para sua obtenção deve ser realizado a partir da análise de séries contínuas de registros pluviográficos, em escala de tempo sub-diária.

No entanto, ainda existe pouca disponibilidade destas equações para localidade brasileiras, o que é devido a uma série de fatores. O principal fator é a existência de um número restrito de postos pluviográficos, associado a uma distribuição espacial heterogênea nas diversas regiões do País. Outro problema considerável consiste no fato de que boa parte dos postos

pluviométricos existentes possuem séries históricas de registros pluviográficos com pequena extensão e por vezes inconsistentes e/ou sujeitas a uma quantidade considerável de falhas (Freitas et al., 2001; Svensson; Clarke; Jones, 2007; Silva et al., 2012; Caldeira et al., 2015). A aplicação do procedimento padrão para obtenção das equações, por si só, é trabalhosa e dispendiosa em termos de tempo, pois grande parte dos registros ainda são disponíveis apenas grafados em papel. Ademais, a quantidade de informação a ser tabulada e analisada é expressiva, uma vez que, para cada ano da série histórica, buscam-se os valores máximos de intensidade de chuva associados a diferentes durações.

Devido a essas dificuldades, em especial da indisponibilidade de dados pluviográficos, as equações de chuvas intensas podem ser estimadas a partir de registros pluviométricos diários (chuvas de um dia), por intermédio dos chamados métodos de desagregação de chuvas. Estes métodos utilizam-se de fatores multiplicativos, denominados coeficientes de desagregação (cd), que possibilitam a conversão (desagregam) da lâmina total precipitada em um dia em lâminas precipitadas com durações de 24 horas e, ou inferiores. Dentre os métodos de desagregação, destaca-se o das relações entre chuvas de diferentes durações (RCDD), difundido no Brasil pela CETESB (1979), que propôs coeficientes de desagregação de chuvas para todo o País. No Brasil, diversos autores já utilizaram o método RCDD com os coeficientes de desagregação da CETESB (1979), para estabelecer equações de chuvas intensas, em localidades dos estados de Santa Catarina (Cardoso; Ullmann; Bertol, 1998), Distrito Federal (Oliveira et al., 2005), Goiás (Oliveira et al., 2000; Oliveira et al., 2005; Oliveira et al., 2008), Mato Grosso do Sul (Santos et al., 2009; Pereira et al., 2014), São Paulo (Silva et al., 1999; Moruzzi; Oliveira, 2009), Paraná (Lorenzoni et al., 2013; Longo; Sampaio; Suszek, 2006), Pará (Souza et al., 2012), Pernambuco (Silva et al., 2012), Ceará (Silva et al., 2013), Piauí (Campos et al., 2014), Maranhão (Campos et al., 2015) e Tocantins (Silva et al., 2017).

A utilização dos coeficientes de desagregação da CETESB (1979) (cd_{CETESB}) tem sido questionada em alguns trabalhos (Genovez; Zuffo, 2000; Cardoso et al., 2014). Pelo fato de terem sido obtidos a partir de dados de diversas localidades brasileiras, usando séries com períodos muito curtos

(Genovez; Zuffo, 2000), os cd_{CETESB} podem não refletir as características particulares de cada localidade (Cardoso et al., 2014). Portanto, existem sugestões sobre o estabelecimento de coeficientes de desagregação específicos para localidades ou regiões (cd_e), de forma a contribuir para um melhor desempenho do RCDD (Pinto, 1995; Pereira et al., 2014).

No entanto, ainda existe necessidade de verificação consistente da equivalência entre equações IDF estabelecidas da forma convencional e padrão, isto é, a partir de dados pluviográficos (equações pluviográficas) e a partir da aplicação do RCDD (equações RCDD), seja com a utilização dos cd_{CETESB} ou com a utilização dos cd_e .

Um trabalho pioneiro na comparação entre as equações RCDD e as equações pluviográficas, foi o desenvolvido por Damé et al. (2008). Estes autores testaram, a partir do teste t de Student, os coeficientes angulares da reta que correlaciona as i_m observadas e estimadas pela equação RCDD, estabelecidas com os cd_{CETESB} , para a estação de Pelotas, RS. Todavia, avaliaram apenas uma única estação e a combinação de 6 diferentes durações de chuva com 3 períodos de retorno (2, 5 e 10 anos). Embora tenham evidenciado resultados similares entre as equações pluviográficas e equações RCDD, a não abrangência de períodos de retorno superiores a 10 anos limita as conclusões sobre a equivalência entre as equações. Ademais, o teste t foi realizado para cada período de retorno individualmente, o que não garante a continuidade da reta regressora ao longo das combinações entre tempo de duração e períodos de retorno. Ou seja, as regressões para cada valor de TR analisado (2, 5 e 10 anos) podem ter diferentes coeficientes angulares, entre si.

Portanto, o método RCDD carece de uma análise mais conclusiva a respeito da equivalência das equações RCDD com as equações pluviográficas. Considera-se, ainda, que essa análise deve ir além de aplicar unicamente os cd_{CETESB} , sendo necessário verificar a capacidade dos cd_e em oferecer melhorias ao método. Alguns procedimentos estatísticos podem dar suporte a uma análise mais conclusiva para verificar a equivalência entre as equações. Um deles é o teste de identidade de modelos, que compara curvas de modelos não lineares a partir da igualdade dos parâmetros do modelo (Regazzi, 2003; Maia et al., 2009). Outro é através do teste t de Student, para verificar se o coeficiente angular da reta de regressão linear dos dados observados em

função dos estimados é igual a 45°, ou seja, apresentam uma relação 1:1. Espera-se que, em caso de equivalência entre dados observados e preditos, a regressão linear apresente o parâmetro β_1 , que representa a inclinação da reta regressora igual a 1.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar, através das técnicas de identidade de modelos e análise de regressão, a equivalência entre equações pluviográficas e equações RCDD com o uso de diferentes coeficientes de desagregação (cd_{CETESB} e cd_e) em estações do estado de Minas Gerais. Além disso, estabelecer cd_e para as estações da área em estudo, analisar as estatísticas de ajuste das equações RCDD, em relação aos dados observados, e verificar os erros que essas equações proporcionam, verificando a aceitabilidade em termos práticos do método RCDD.

4.2. Material e métodos

As etapas desenvolvidas para cumprir com os objetivos deste estudo estão descritas nos subitens subsequentes a e seguiram as etapas apresentadas no fluxograma apresentado na Figura 6. Essas etapas envolvem a obtenção e análise de dados pluviográficos e pluviométricos de estações localizadas no estado de Minas Gerais. As análises envolvem a obtenção de coeficientes de desagregação específicos, o processo de desagregação de chuvas, a obtenção das i_m para diferentes durações e períodos de retorno, a estimativa dos parâmetros de chuvas intensas, via método de desagregação, e análise dos resultados obtidos em relação aos dados observados de i_m .

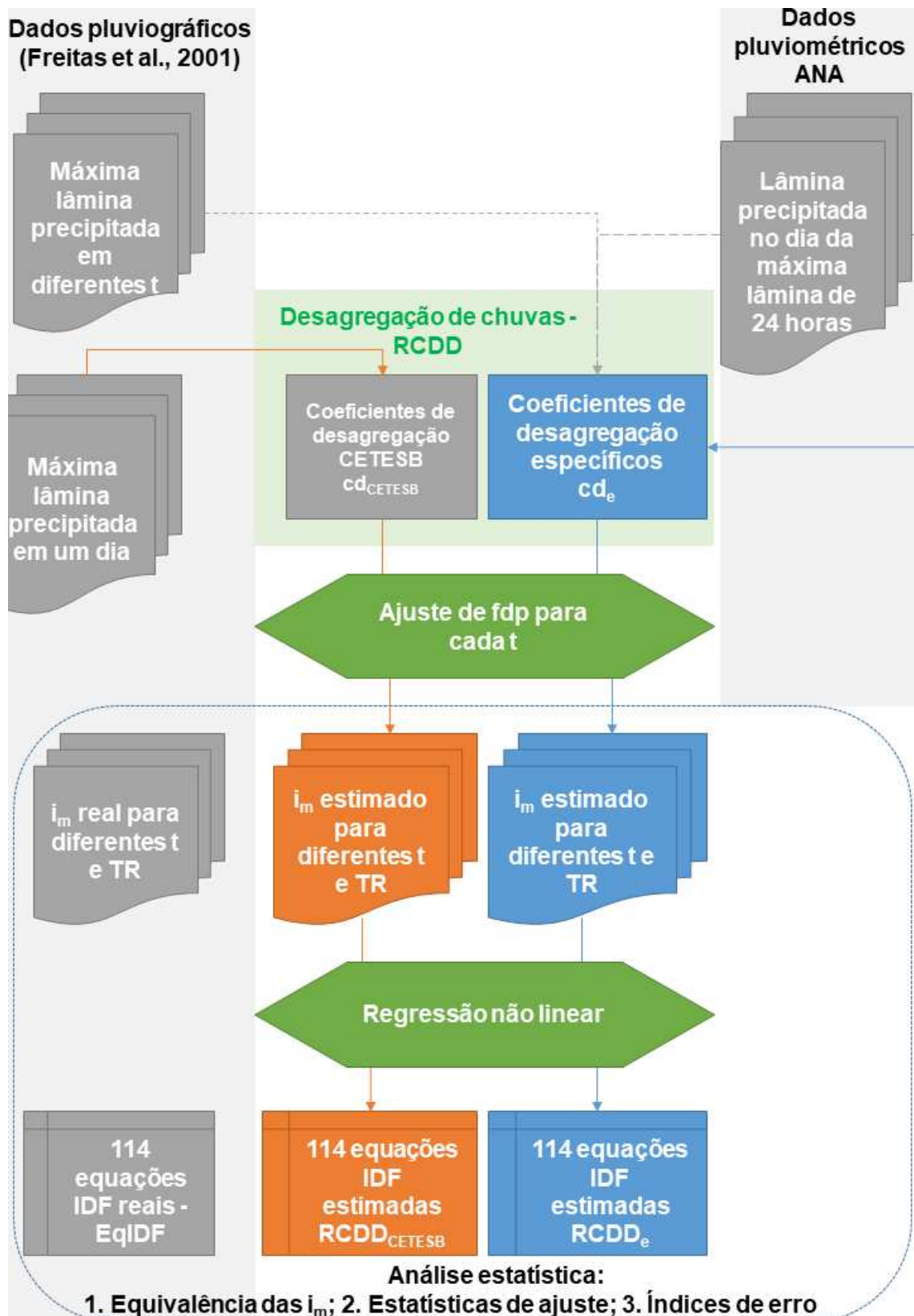


Figura 6. Fluxograma das ações aplicadas neste capítulo.

4.2.1. Local de estudo

O estudo foi conduzido no estado de Minas Gerais, pertencente à região sudeste do Brasil, com população estimada de 20.869.101 habitantes e área territorial de 586.519,727 km² (IBGE, 2015). Dentre as principais atividades econômicas de Minas Gerais estão a agricultura, pecuária, produção florestal e construção civil.

A extensão territorial do estado proporciona grande variabilidade climática, com considerável influência do relevo na formação de microclimas (Ávila et al., 2014). Minas Gerais apresenta as seguintes classes climáticas: As, Aw, Cwa e Cwb (Alvares et al., 2013). As classes predominantes são a Cwa, que ocupam a região sul de Minas, estendendo-se até o centro, sudeste e uma pequena parte da região norte do estado, e Aw que ocupa grande parte do triângulo mineiro, centro, norte e nordeste de Minas Gerais. O estado de Minas Gerais, portanto, apresenta chuvas distribuídas de maneira irregular em seu território, embora apresente concentração de chuvas em um determinado período do ano, entre os meses de outubro e março, em todas as regiões.

Ressalta-se que o estado de Minas Gerais, em relação ao Brasil, apresenta quantidade razoável de informações pluviográficas. Portanto, o estado se torna estratégico na avaliação de possibilidades em termos de estimativa de chuvas intensas, para aplicação em estados menos privilegiados em termos dessas informações.

4.2.2. Dados utilizados

Para realização deste estudo utilizaram-se dados pluviográficos e pluviométricos originários de 116 estações localizadas no estado de Minas Gerais (Figura 7).

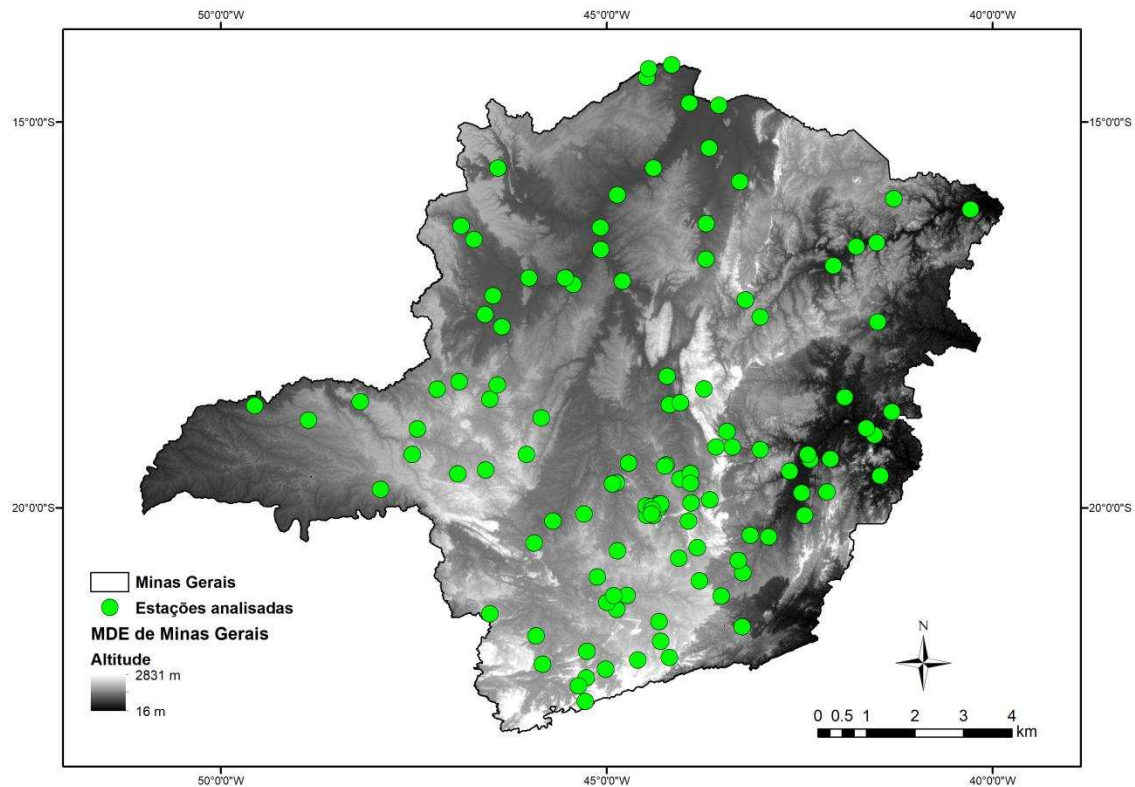


Figura 7. Modelo digital de elevação de Minas Gerais e distribuição espacial das estações pluviométricas e pluviográficas utilizadas neste estudo.

Os dados pluviográficos utilizados consistiram naqueles obtidos por Freitas et al. (2001), que compõe séries de intensidades máximas precipitadas para as durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, associadas aos períodos de retorno de 2, 5, 20, 50 e 100 anos. Esses resultados foram obtidos através da análise de pluviogramas das 116 estações localizadas no estado de Minas Gerais. Cada estação analisada possuía séries pluviográficas distintas (em termos de anos e números de anos analisados) para evitar o descarte de informações (Tabela A1).

Os registros pluviométricos empregados neste estudo foram obtidos através do Portal HidroWeb, mantido pela Agência Nacional das Águas (ANA). O período de dados pluviométricos analisados foi correspondente aos registros pluviográficos (mesmo período base) para que as conclusões não fossem influenciadas por períodos de tempo diferentes, que contemplariam eventos de chuvas diferentes.

Os dados pluviométricos utilizados consistem de séries históricas de precipitação ocorridas nos dias em que foram observada as chuvas máximas

de 1440 minutos, para a obtenção dos cd_e ; e a precipitação máxima diária anual, para a aplicação do método da desagregação de chuvas.

4.2.3. Tratamento dos dados pluviográficos

Em cada estação analisada, Freitas et al. (2001) testaram o ajuste de funções distribuição de probabilidades (fdp) às séries de intensidade máxima de chuva, para cada duração através do teste de Kolmogorov-Smirnov, com significância de 20%. As FDP's testadas foram: Gumbel (GUM), Log-normal a dois parâmetros (LN2), Log-normal a três parâmetros (LN3), Pearson a três parâmetros (P3) e Log-Pearson a três parâmetros (LP3).

Após a análise do teste de aderência, foi aplicada a FDP com maior aderência ao conjunto de dados, para estimar a precipitação máxima correspondente a cada combinação de t e TR. Neste estudo, esse resultado inicial foi considerado como os dados observados, apesar da aplicação das funções de distribuição de probabilidade.

4.2.4. Tratamento dos dados pluviométricos

A análise probabilística dos dados de precipitação máxima diária anual (P_{max}) foi feita para verificar qual distribuição apresenta maior aderência ao conjunto de dados, através do teste de KS, com 20% de probabilidade. As distribuições testadas foram: GUM, LN2, LN3, P3 e GEV. Os parâmetros das FDP's foram estimados por diferentes métodos, sendo estes: método dos momentos (MM), método dos momentos-L (ML) e método da máxima verossimilhança (MV), devido a evidências de que o grau de ajuste da FDP é influenciado pela metodologia utilizada para estimar os parâmetros (Caldeira et al., 2015).

Após a escolha da distribuição e do respectivo método para estimar os parâmetros com maior aderência ao conjunto de dados, estimou-se a precipitação máxima diária, em milímetros, associada aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Para obter as lâminas máximas precipitadas de menores durações, a partir da precipitação máxima de um dia, aplicou-se o método RCDD com os

cd_{CETESB} (Tabela 2). Dessa forma, para cada duração e período de retorno, estimou-se uma lâmina máxima precipitada (mm). Essa lâmina foi transformada em intensidade (mm h^{-1}) através da relação entre o valor da lâmina precipitada e o tempo de duração, em horas.

O procedimento de desagregação de chuvas (RCDD) também foi realizado com coeficientes de desagregação específicos de cada estação, para obter lâminas máximas precipitadas para diferentes durações. A forma de obtenção dos coeficientes de desagregação específicos está descrita no item 4.2.5.

Após o procedimento de desagregação das chuvas e a obtenção das intensidades máximas das chuvas de diferentes durações e períodos de retorno, aplicou-se o algoritmo de Gauss-Newton, que minimiza a soma de quadrados do erro no ajuste da relação IDF, para a obtenção dos parâmetros K , a , b e c da equação de chuvas intensas (Kourtsyiannis; Kozonis; Manetas, 1998). Sendo assim, foram obtidas duas equações de chuvas intensas por meio do método RCDD, uma usando o cd_{CETESB} (Eq_{CETESB}) e outra usando os cd_e (Eq_e).

4.2.5. Obtenção de coeficientes de desagregação específicos

Obtiveram-se os coeficientes de desagregação específicos (cd_e) de cada estação analisada. O coeficiente de desagregação que relaciona a chuva pluviográfica com a chuva pluviométrica ($cd_{e24h/dia}$) foi obtido através da relação entre a lâmina máxima precipitada em 24 horas e a lâmina total precipitada no dia em questão (lâmina pluviográfica e pluviométrica do mesmo dia). Para obter essa relação, foram analisadas as datas de ocorrência de cada chuva máxima ocorrida com t igual a 24 horas, para obter a chuva que ocorreu no dia correspondente, para cada ano da série. O $cd_{e24h/dia}$ foi obtido através da média dessas relações para a série histórica.

Os coeficientes de desagregação que desagregam a chuva de 24 horas em chuvas de durações menores foram obtidos através da relação entre a lâmina máxima precipitada de cada duração (10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360 e 720 minutos) e a lâmina máxima precipitada em 1440 minutos.

4.2.6. Análise estatística dos dados

As equações de chuvas intensas geradas no estudo de Freitas et al. (2001), ou seja, as equações geradas através da análise de informações pluviográficas (Eq_{PLUG}) de cada estação, foram utilizadas para comparação dos seus resultados com aqueles obtidos por meio da aplicação do método RCDD.

O teste de identidade de modelos (IM) foi utilizado como procedimento estatístico para verificar a igualdade das equações de chuvas intensas geradas a partir de registros pluviográficos (Eq_{PLUG}), em relação às equações de chuvas intensas geradas por intermédio do método RCDD aplicado com os cd_{CETESB} (Eq_{CETESB}) e com os cd_e (Eq_e). O teste IM é indicado quando se deseja saber se um conjunto de equações ajustadas é equivalente, ou seja, se esse conjunto de equações pode ser representado por uma única equação comum (Regazzi, 2003; Maia et al., 2009).

A comparação entre equações de regressões não lineares pela IM trata-se de um teste assintótico com aproximação dada pela estatística F (Regazzi, 2003; Queiroz et al., 2008). Testa-se a significância da diferença entre o total das somas dos quadrados das regressões ajustadas para cada método de obtenção das equações IDF (modelo completo) e a soma do quadrado da regressão ajustada para o conjunto total dos dados (modelo reduzido).

As hipóteses testadas são:

H_0 : a equação reduzida não apresenta diferença significativa em relação às equações completas.

H_1 : a equação reduzida apresenta diferença significativa em relação às equações completas.

As conclusões a respeito dos testes são dadas através da comparação entre os valores de $F(H_0)$ e os valores teóricos da distribuição F (F_{tab}) da seguinte maneira: se $F(H_0) > F_{tab}$, rejeita-se a hipótese H_0 , e admite-se que não há evidência suficiente para garantir a rejeição da afirmativa de que as equações de chuvas intensas são equivalentes; ou, se $F(H_0) < F_{tab}$, não se rejeita a hipótese H_0 e conclui-se que não há evidência suficiente para garantir a rejeição da afirmativa de que equações de chuvas intensas são equivalentes.

A equivalência entre os dados observados e os dados estimados por cada equação de chuvas intensas, geradas via desagregação de chuvas

(Eq_{CETESB} e Eq_e), também foi testada através da análise de regressão (teste de equivalência). Espera-se que o coeficiente angular da reta regressora entre os dados estimados e observados seja igual a 45°, se os dados observados e estimados forem equivalentes, a um determinado nível de significância, ou seja, o parâmetro β_1 da regressão linear será unitário. Portanto, o teste t foi utilizado para testar a hipótese nula (H_0) de que $\beta_1 = 1$ em um modelo linear, sem intercepto, entre os dados observados e estimados (Oliveira 2016) pelas Equações RCDD: O modelo linear sem intercepto é apresentado a seguir:

$$\hat{i}_m = \beta_1 i_m \quad (4.2)$$

em que \hat{i}_m é a intensidade máxima média estimada e i_m é a intensidade máxima média observada.

As conclusões do teste t serão feitas a partir da comparação do valor de t obtido no teste (t_{cal}), em relação ao valor crítico obtido pela tabela t (t_{tab}), com significância de 5%. Se $t_{cal} > t_{tab}$, rejeita-se a hipótese nula de que o coeficiente angular da reta é igual a 1, ou seja, não há equivalência entre os dados observados e estimados.

A equivalência também foi averiguada individualizando cada período de retorno e cada tempo de duração das chuvas, para verificar se existe alguma faixa específica dentro das combinações entre TR e t, em que a equivalência existe. Para tal, foi feito o teste de equivalência (teste t de Student: $H_0: \beta_1 = 1$), da mesma forma em que foi feito com todas as combinações de t e TR. O índice BIAS, que expressa a tendência das estimativas, foi calculado para verificar se as equações obtidas via método RCDD apresentam tendências de subestimativa ou superestimativa, em cada faixa de TR e t. A interpretação do índice BIAS é feita da seguinte maneira: se $BIAS > 0$, a equação tem tendência de superestimativa; se $BIAS < 0$, a equação tem tendência de subestimativa; quanto mais próximo de 0, menor a tendência do modelo. O índice BIAS é calculado pela equação:

$$\text{BIAS} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \hat{i}_{mi} - \sum_{i=1}^n i_{mi} \right)}{\sum_{i=1}^n i_{mi}} \quad (4.3)$$

em que i_{mi} é a intensidade máxima média observada na i -ésima posição, \hat{i}_{mi} é a intensidade máxima média estimada pelo modelo na i -ésima posição.

Além do teste IM e do teste de equivalência, foi realizada uma análise das estatísticas de ajuste comuns para verificar o desempenho das equações de chuvas intensas em estimar as intensidades de chuvas. Em um primeiro momento, foi verificado o coeficiente de determinação (R^2) entre os dados desagregados, com o uso dos cd_{CETESB} e com o uso dos cd_e , e os dados estimados pela Eq_{CETESB} e Eq_e , respectivamente (estatística de ajuste da equação ao conjunto de dados que a ajustou). O coeficiente de determinação indica a porcentagem que a equação determinada explica os dados observados. O coeficiente de determinação é obtido pelo quadrado do coeficiente de correlação (r).

Outras estatísticas de ajuste foram estabelecidas entre os dados observados e os dados estimados pelas equações Eq_{PLUG} , Eq_{CETESB} e Eq_e , com o objetivo de verificar o quanto as equações obtidas via método RCDD apresentam de exatidão e precisão em estimar as intensidades de chuva observadas. As estatísticas utilizadas foram: coeficiente de correlação (r), índice de concordância de Wilmott (d) e índice de desempenho (IC).

O r determina o grau de associação dos valores observados e estimados e seu valor varia de -1 a 1:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (i_{mi} - \bar{i}_{mi}) \cdot (i_{mi} - \hat{i}_{mi})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (i_{mi} - \bar{i}_{mi})^2 \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n (i_{mi} - \hat{i}_{mi})^2 \right]}} \quad (4.4)$$

O r pode ser interpretado segundo classificação de Mukaka (2012), utilizada por Cunha et al. (2013):

Tabela 11. Classificação dos valores do coeficiente de correlação

Coeficiente de correlação	Interpretação da correlação
0,0 a 0,1	Muito baixa
0,1 a 0,3	Baixa
0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Alta
0,7 a 0,9	Muito alta
0,9 a 1,0	Quase perfeita

A estatística d representa o quanto os valores estimados estão livres de erros. Seu valor varia entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1 maior a concordância entre os valores observados e estimados (Pereira et al., 2016):

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (i_{mi} - \hat{i}_{mi})^2}{\left[\sum_{i=1}^n (|\hat{i}_{mi} - \bar{i}_{mi}|) + \sum_{i=1}^n (|i_{mi} - \bar{i}_{mi}|) \right]^2} \right\} \quad (4.5)$$

O índice IC é o índice de desempenho e representa a precisão e exatidão da equação, uma vez que é o produto entre r e d . O IC pode ser classificado de acordo com Camargo; Sentelhas (1997):

Tabela 12. Critério para interpretação do desempenho do modelo pelo índice IC.

Valor de IC	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Moderado
0,51 a 0,60	Fraco
0,41 a 0,50	Muito fraco
≤ 0,45	Péssimo

Os erros provenientes de cada equação de chuvas intensas (Eq_{PLUG} , Eq_{CETESB} e Eq_e) foram avaliados através do erro de predição absoluto médio

(EPAM), raiz do quadrado médio do (RQME) e o erro padrão da estimativa (EPE), representados nas equações 4.6, 4.7 e 4.8, respectivamente.

$$EPAM = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{i_{mi} - \hat{i}_{mi}}{i_{mi}} \right)}{n} 100 \quad (4.6)$$

$$RQME = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (i_{mi} - \hat{i}_{mi})^2 \right]} \quad (4.7)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(i_{mi} - \hat{i}_{mi})^2}{i_{mi}} \right]}{n}} \quad (4.8)$$

em que i_{mi} é a intensidade máxima média observada na i -ésima posição, \hat{i}_{mi} é a intensidade máxima média estimada pelo modelo na i -ésima posição e n é o número de observações.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Coeficientes de desagregação específicos

Na Tabela 13 são apresentadas as relações de chuvas de diferentes durações, que compõe os coeficientes de desagregação específicos de cada localidade (cd_e). Também são apresentadas algumas estatísticas de dispersão como a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação desses coeficientes de desagregação.

Tabela 13. Coeficientes de desagregação obtidos para localidades de Minas Gerais

Estações	cd _{24h/dia}	cd _{12h/24h}	cd _{6h/24h}	cd _{4h/24h}	cd _{3h/24h}	cd _{2h/24h}	cd _{1h/24h}	cd _{50'/24h}	cd _{40'/24h}	cd _{30'/24h}	cd _{20'/24h}	cd _{10'/24h}
Acaiaca	1,08	0,94	0,82	0,76	0,70	0,61	0,51	0,48	0,44	0,39	0,31	0,20
Acesita	1,10	0,89	0,81	0,76	0,73	0,68	0,51	0,48	0,43	0,38	0,30	0,18
Aiuruoca	1,13	0,82	0,73	0,68	0,65	0,59	0,49	0,47	0,43	0,38	0,30	0,19
Alto da Boa Vista	1,14	0,85	0,78	0,75	0,72	0,69	0,58	0,55	0,50	0,45	0,35	0,23
Andrelândia	1,05	0,88	0,79	0,75	0,71	0,67	0,56	0,52	0,47	0,40	0,31	0,20
Araçuaí	1,16	0,95	0,86	0,83	0,79	0,73	0,59	0,54	0,50	0,44	0,35	0,23
Araguari	1,13	0,87	0,77	0,70	0,66	0,63	0,53	0,50	0,46	0,40	0,31	0,19
Araxá	1,12	0,83	0,74	0,69	0,67	0,61	0,53	0,52	0,49	0,41	0,33	0,21
Assaraí	1,10	0,90	0,82	0,78	0,74	0,69	0,59	0,56	0,51	0,43	0,34	0,20
Barra do Cuité	1,10	0,92	0,88	0,82	0,77	0,72	0,61	0,58	0,53	0,46	0,37	0,22
Barra do Jequitaiá	1,11	0,91	0,77	0,70	0,66	0,61	0,55	0,52	0,49	0,43	0,33	0,21
Boca da Caatinga	1,01	0,85	0,79	0,74	0,71	0,64	0,54	0,52	0,47	0,43	0,34	0,22
Bom Jardim de Minas	1,10	0,84	0,71	0,65	0,60	0,56	0,47	0,43	0,39	0,34	0,27	0,17
Brás Pires	1,14	0,91	0,82	0,76	0,71	0,65	0,56	0,54	0,49	0,41	0,34	0,20
Buritis	1,09	0,92	0,81	0,77	0,71	0,63	0,51	0,47	0,42	0,37	0,29	0,18
Cach. da Manteiga	1,15	0,88	0,80	0,76	0,74	0,70	0,57	0,54	0,49	0,43	0,34	0,21
Cach. do Paredão	1,11	0,92	0,80	0,74	0,69	0,64	0,56	0,52	0,47	0,42	0,33	0,20
Cach. dos Óculos	1,08	0,92	0,86	0,77	0,72	0,65	0,55	0,51	0,48	0,41	0,32	0,20
Cach. Escura	1,14	0,90	0,77	0,73	0,68	0,59	0,49	0,45	0,40	0,35	0,28	0,17
Caeté	1,10	0,78	0,67	0,60	0,57	0,53	0,43	0,41	0,37	0,32	0,25	0,16
Caixa de Areia	1,12	0,80	0,65	0,57	0,53	0,49	0,39	0,37	0,34	0,29	0,23	0,14
Capinópolis	1,10	0,90	0,83	0,75	0,70	0,62	0,51	0,47	0,43	0,37	0,29	0,18
Capitânia	1,05	0,92	0,82	0,74	0,68	0,64	0,56	0,52	0,48	0,42	0,34	0,21
Capitão Enéias	1,10	0,90	0,85	0,82	0,78	0,71	0,62	0,59	0,54	0,47	0,37	0,23

Continua...

Estações	cd _{24h/dia}	cd _{12h/24h}	cd _{6h/24h}	cd _{4h/24h}	cd _{3h/24h}	cd _{2h/24h}	cd _{1h/24h}	cd _{50'/24h}	cd _{40'/24h}	cd _{30'/24h}	cd _{20'/24h}	cd _{10'/24h}
Caratinga	1,10	0,92	0,80	0,73	0,69	0,64	0,53	0,50	0,47	0,42	0,33	0,19
Carbonita	1,04	0,90	0,80	0,71	0,68	0,60	0,50	0,48	0,44	0,39	0,31	0,20
Carmo da Mata	1,05	0,89	0,79	0,74	0,68	0,60	0,49	0,46	0,43	0,37	0,30	0,20
Carmo do Paranaíba	1,14	0,83	0,76	0,69	0,66	0,60	0,51	0,48	0,44	0,38	0,30	0,20
Cenibra	1,04	0,92	0,81	0,74	0,68	0,61	0,51	0,48	0,44	0,40	0,32	0,20
Central de Minas	1,04	0,93	0,84	0,79	0,74	0,69	0,59	0,56	0,52	0,46	0,36	0,22
Colônia do Jaíba	1,00	0,95	0,86	0,79	0,78	0,73	0,66	0,63	0,59	0,54	0,43	0,28
C. do Mato Dentro	1,05	0,95	0,84	0,78	0,74	0,67	0,54	0,50	0,46	0,40	0,30	0,19
Congonhas	1,13	0,92	0,79	0,71	0,67	0,61	0,55	0,53	0,49	0,44	0,36	0,22
Coronel Pacheco	1,10	0,96	0,87	0,81	0,69	0,60	0,51	0,47	0,45	0,41	0,35	0,22
Cristina	1,12	0,84	0,69	0,63	0,59	0,54	0,45	0,43	0,40	0,36	0,29	0,19
Delfim Moreira	1,11	0,88	0,74	0,67	0,64	0,58	0,50	0,48	0,45	0,40	0,32	0,21
Desterro de Melo	1,08	0,87	0,77	0,71	0,67	0,61	0,51	0,48	0,44	0,39	0,30	0,18
Dom Cavati	1,04	0,92	0,84	0,80	0,74	0,68	0,56	0,52	0,47	0,41	0,31	0,19
Entre Rios de Minas	1,11	0,87	0,77	0,70	0,67	0,62	0,54	0,53	0,49	0,44	0,35	0,23
F. Curralinho	1,05	0,88	0,76	0,67	0,62	0,56	0,47	0,45	0,41	0,36	0,28	0,18
F. Juca Casemiro	1,07	0,93	0,83	0,77	0,71	0,66	0,57	0,54	0,50	0,44	0,36	0,21
F. Laranjeiras	1,09	0,82	0,73	0,68	0,66	0,62	0,53	0,50	0,47	0,41	0,33	0,18
F. Santa Rita	1,12	0,89	0,76	0,72	0,68	0,61	0,54	0,52	0,47	0,42	0,32	0,20
F. São Mateus	1,15	0,88	0,81	0,76	0,72	0,67	0,54	0,51	0,47	0,43	0,36	0,24
Ferros	1,05	0,91	0,81	0,75	0,71	0,66	0,55	0,51	0,46	0,41	0,33	0,21
Gouveia	1,08	0,87	0,75	0,70	0,66	0,60	0,52	0,49	0,45	0,38	0,31	0,18
Ibituruna	1,13	0,87	0,79	0,73	0,69	0,64	0,57	0,54	0,49	0,43	0,34	0,21
Iguatama	1,05	0,85	0,73	0,69	0,66	0,58	0,51	0,49	0,46	0,41	0,33	0,21
Iraí de Minas	1,14	0,95	0,88	0,84	0,80	0,75	0,65	0,61	0,56	0,48	0,39	0,25
Itaobim	1,01	0,92	0,85	0,81	0,77	0,73	0,61	0,57	0,52	0,46	0,38	0,24

Continua...

Estações	cd _{24h/dia}	cd _{12h/24h}	cd _{6h/24h}	cd _{4h/24h}	cd _{3h/24h}	cd _{2h/24h}	cd _{1h/24h}	cd _{50'/24h}	cd _{40'/24h}	cd _{30'/24h}	cd _{20'/24h}	cd _{10'/24h}
Itinga	1,14	0,89	0,78	0,70	0,68	0,62	0,53	0,51	0,47	0,42	0,34	0,21
Itumirim	1,10	0,88	0,76	0,70	0,65	0,59	0,50	0,48	0,45	0,39	0,30	0,18
Jacinto	1,03	0,96	0,89	0,84	0,79	0,73	0,65	0,63	0,58	0,51	0,42	0,27
Janaúba	1,09	0,93	0,84	0,77	0,72	0,63	0,52	0,49	0,44	0,38	0,29	0,17
Jardim	1,13	0,86	0,77	0,72	0,66	0,57	0,45	0,42	0,39	0,36	0,30	0,19
Juatuba	1,06	0,87	0,79	0,73	0,69	0,62	0,50	0,48	0,44	0,37	0,30	0,19
Juramento	1,02	0,90	0,83	0,78	0,73	0,65	0,52	0,49	0,45	0,39	0,31	0,18
Juvenília	1,06	0,94	0,86	0,78	0,73	0,65	0,55	0,52	0,48	0,43	0,34	0,22
Lagoa do Gouveia	1,03	0,89	0,81	0,74	0,69	0,62	0,51	0,48	0,45	0,39	0,32	0,21
Lagoa Grande	1,05	0,89	0,71	0,63	0,61	0,58	0,50	0,48	0,47	0,41	0,33	0,21
Lavras	1,11	0,89	0,72	0,65	0,60	0,57	0,50	0,48	0,41	0,37	0,29	0,18
Macaia	1,07	0,85	0,76	0,71	0,67	0,62	0,52	0,50	0,47	0,41	0,34	0,21
Machado	1,14	0,83	0,69	0,66	0,63	0,58	0,50	0,47	0,44	0,39	0,33	0,22
Md. Deus de Minas	1,03	0,86	0,77	0,71	0,68	0,62	0,52	0,49	0,45	0,40	0,32	0,21
Manga	1,01	0,88	0,83	0,77	0,73	0,66	0,54	0,51	0,47	0,42	0,35	0,21
Maria da Fé	1,03	0,85	0,72	0,68	0,65	0,63	0,57	0,54	0,51	0,45	0,38	0,25
Mateus Leme	1,13	0,92	0,78	0,71	0,68	0,61	0,53	0,49	0,45	0,39	0,31	0,20
Monte Alegre de Minas	1,02	0,93	0,89	0,84	0,80	0,75	0,61	0,59	0,54	0,46	0,36	0,22
Morro do Pilar	1,09	0,88	0,77	0,68	0,63	0,56	0,47	0,44	0,40	0,35	0,28	0,18
Mucuri	1,07	0,92	0,85	0,81	0,77	0,71	0,58	0,55	0,51	0,46	0,38	0,23
Muzambinho	1,10	0,90	0,80	0,74	0,69	0,64	0,59	0,56	0,53	0,46	0,38	0,23
Papagaios	1,07	0,93	0,83	0,76	0,72	0,64	0,51	0,49	0,45	0,39	0,32	0,20
Patos de Minas	1,07	0,95	0,78	0,70	0,64	0,59	0,49	0,46	0,42	0,38	0,29	0,19
Pedra Azul	1,07	0,98	0,93	0,86	0,83	0,78	0,66	0,61	0,56	0,48	0,37	0,23
Pedra de Maria da Cruz	1,07	0,92	0,86	0,79	0,74	0,67	0,55	0,52	0,48	0,41	0,34	0,22

Continua...

Estações	cd _{24h/dia}	cd _{12h/24h}	cd _{6h/24h}	cd _{4h/24h}	cd _{3h/24h}	cd _{2h/24h}	cd _{1h/24h}	cd _{50'/24h}	cd _{40'/24h}	cd _{30'/24h}	cd _{20'/24h}	cd _{10'/24h}
Pedro Leopoldo	1,12	0,84	0,72	0,62	0,58	0,52	0,42	0,39	0,36	0,33	0,27	0,18
Piranga	1,07	0,88	0,77	0,71	0,67	0,62	0,51	0,48	0,44	0,39	0,30	0,19
Pitanguí	1,02	0,82	0,75	0,71	0,67	0,61	0,50	0,47	0,44	0,39	0,32	0,21
Pium-Hi	1,05	0,89	0,77	0,71	0,67	0,62	0,54	0,52	0,49	0,43	0,35	0,22
P. BR 040 (Paracatu)	1,06	0,87	0,77	0,70	0,63	0,58	0,50	0,46	0,42	0,37	0,33	0,23
P. BR 040 (Prata)	1,13	0,83	0,76	0,71	0,67	0,61	0,51	0,48	0,45	0,41	0,33	0,20
Ponte do Linício	1,08	0,85	0,79	0,74	0,69	0,63	0,50	0,47	0,42	0,36	0,29	0,18
P. Nova Paraopeba	1,05	0,91	0,85	0,77	0,70	0,65	0,55	0,53	0,49	0,43	0,34	0,21
Ponte Nova	1,09	0,94	0,83	0,75	0,70	0,66	0,57	0,54	0,51	0,43	0,34	0,21
Ponte Raul Soares	1,15	0,89	0,78	0,68	0,65	0,59	0,51	0,48	0,44	0,38	0,30	0,19
Porto do Cavalo	1,11	0,89	0,72	0,63	0,60	0,53	0,46	0,44	0,40	0,35	0,29	0,18
Porto Extrema	1,15	0,89	0,78	0,72	0,67	0,61	0,53	0,51	0,47	0,42	0,33	0,20
Presidente Juscelino	1,06	0,90	0,82	0,78	0,74	0,69	0,60	0,57	0,53	0,48	0,39	0,25
Presidente Olegário	1,12	0,79	0,68	0,64	0,61	0,56	0,48	0,45	0,42	0,36	0,29	0,19
Queiroz	1,15	0,86	0,78	0,75	0,69	0,64	0,53	0,50	0,46	0,40	0,30	0,18
Raul Soares	1,11	0,90	0,78	0,72	0,68	0,62	0,54	0,51	0,47	0,42	0,34	0,21
Rocinha	1,10	0,86	0,78	0,72	0,67	0,58	0,48	0,45	0,41	0,36	0,30	0,19
Santa Juliana	1,13	0,94	0,87	0,82	0,77	0,71	0,58	0,54	0,49	0,43	0,36	0,22
Santa Rosa	1,09	0,89	0,81	0,76	0,72	0,69	0,61	0,57	0,53	0,47	0,38	0,24
Santana do Jacaré	1,08	0,92	0,78	0,71	0,68	0,64	0,56	0,53	0,49	0,44	0,34	0,21
Santo Antônio do Boqueirão	1,09	0,92	0,83	0,80	0,76	0,72	0,66	0,64	0,62	0,60	0,54	0,34
S. Antônio do Monte	1,02	0,88	0,77	0,71	0,68	0,64	0,50	0,48	0,45	0,40	0,32	0,20
Santo Hipólito	1,08	0,87	0,74	0,70	0,65	0,61	0,53	0,53	0,51	0,47	0,42	0,29
São Francisco	1,06	0,95	0,89	0,85	0,80	0,71	0,57	0,54	0,49	0,42	0,33	0,20

Continua...

Estações	cd _{24h/dia}	cd _{12h/24h}	cd _{6h/24h}	cd _{4h/24h}	cd _{3h/24h}	cd _{2h/24h}	cd _{1h/24h}	cd _{50'/24h}	cd _{40'/24h}	cd _{30'/24h}	cd _{20'/24h}	cd _{10'/24h}
São Gonçalo	1,10	0,92	0,81	0,75	0,72	0,67	0,54	0,50	0,46	0,40	0,32	0,21
São Gotardo	1,09	0,90	0,82	0,75	0,71	0,65	0,57	0,55	0,50	0,45	0,36	0,23
São Lourenço	1,11	0,81	0,68	0,63	0,57	0,52	0,46	0,43	0,41	0,38	0,34	0,22
São Romão	1,09	0,94	0,86	0,82	0,77	0,73	0,60	0,57	0,53	0,46	0,34	0,22
Serra Azul	1,14	0,78	0,70	0,66	0,64	0,59	0,49	0,47	0,43	0,37	0,29	0,17
Sete Lagoas ANA	1,07	0,79	0,58	0,48	0,46	0,44	0,37	0,35	0,31	0,26	0,20	0,12
Sete Lagoas INMET	1,03	0,93	0,79	0,72	0,67	0,63	0,56	0,51	0,47	0,41	0,32	0,20
Silvianópolis	1,03	0,89	0,76	0,71	0,66	0,57	0,47	0,43	0,39	0,34	0,27	0,16
Tumiritinga	1,07	0,90	0,83	0,76	0,68	0,62	0,52	0,48	0,43	0,37	0,29	0,18
Uberaba	1,03	0,92	0,78	0,73	0,70	0,66	0,56	0,51	0,47	0,42	0,32	0,20
Unai	1,13	0,91	0,83	0,78	0,74	0,68	0,59	0,56	0,51	0,46	0,36	0,22
Vau da Lagoa	1,02	0,85	0,76	0,70	0,65	0,60	0,49	0,46	0,44	0,40	0,33	0,21
Velho da Taipa	1,08	0,87	0,76	0,70	0,67	0,62	0,54	0,51	0,48	0,42	0,35	0,22
Vespasiano	1,10	0,79	0,65	0,57	0,54	0,50	0,44	0,42	0,39	0,33	0,26	0,17
Vila Matias	1,14	0,94	0,83	0,77	0,73	0,67	0,52	0,47	0,42	0,35	0,28	0,16
Vila Terra Branca	1,05	0,88	0,74	0,69	0,65	0,59	0,49	0,46	0,42	0,37	0,30	0,19
Média	1,09	0,89	0,79	0,73	0,69	0,63	0,53	0,50	0,46	0,41	0,33	0,20
Desvio Padrão	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
CV (%)	3,65	4,77	7,31	8,47	8,72	9,10	9,77	10,13	10,68	11,29	12,58	13,74
Mínimo	1,00	0,78	0,58	0,48	0,46	0,44	0,37	0,35	0,31	0,26	0,20	0,12
Máximo	1,16	0,98	0,93	0,86	0,83	0,78	0,66	0,64	0,62	0,60	0,54	0,34

Os coeficientes de variação (CV) obtidos para os diferentes coeficientes de desagregação variaram entre 3% e 14%, podendo ser classificados como baixa dispersão dos dados ($CV \leq 10\%$) ou dispersão média dos dados (CV entre 10 e 20%), segundo classificação de Pimentel Gomes (1985). Os coeficientes de desagregação que apresentaram o maior CV foram os que relacionam as chuvas de menores durações (10, 20 e 30 minutos) com a chuva de 24 horas ($cd_{10'/24h}$, $cd_{20'/24h}$ e $cd_{30'/24h}$). Esse comportamento justifica-se pelo fato de que as chuvas de menores durações geralmente estão associadas a eventos convectivos, que apresentam grande variabilidade espacial e temporal. As maiores amplitudes de variação dos cd_e ocorreram para os coeficientes de desagregação que relacionam as chuvas de 3 e 4 horas com a de 24 horas ($cd_{4h/24h}$ e $cd_{3h/24h}$).

O coeficiente de desagregação que relaciona a chuva de um dia com a chuva de 24 horas ($cd_{24h/dia}$) apresentou valores entre 1,00 e 1,16, com média de 1,09. Essa variabilidade de valores chama a atenção para a importância do uso de relações locais (específicas para cada posto pluviográfico). O $cd_{24h/dia}$ tem grande importância, uma vez que representa o elo entre os dados pluviográficos e pluviométricos, sendo o primeiro cd utilizado na desagregação e que, conseqüentemente, influenciará em todas as outras desagregações. Todos os demais cd_e são utilizados apenas depois da desagregação realizada pelo $cd_{24h/dia}$, uma vez que a aplicação desses coeficientes envolve a multiplicação sucessiva dos mesmos. Portanto, qualquer viés na desagregação de uma chuva de um dia em uma chuva de 24 horas, será progressivamente transferido para as demais desagregações, tornando cumulativos os efeitos dessas variações entre os cd_e (Silveira, 2000).

Como comparação, o valor do $cd_{24h/dia}$ adotado pelo U. Weather Bureau é de 1,13, enquanto a CETESB (1979) adota o valor de 1,14. De maneira geral, o $cd_{24h/dia}$ encontrado para estações localizadas no Brasil variam entre 1,07 e 1,24 (Back, 2006; Back, 2009; Back, 2010; Back; Oliveira; Henn, 2012; Back; Pola, 2016), ou seja, em uma faixa próxima à encontrada neste estudo.

4.3.2. Desempenho de funções densidade de probabilidades

A Tabela 14 mostra o número de ocorrências em que cada FDP e método de estimativa dos parâmetros obtiveram melhor desempenho em representar os dados de precipitação máxima diária anual.

Tabela 14. Número de ocorrências em que cada distribuição e método de ajuste obtiveram melhor desempenho no teste de Kolmogorov-Smirnov

GEV			GUM			LN2			LN3			P3		
MM	ML	MV	MM	ML	MV	MM	ML	MV	MM	ML	MV	MM	ML	MV
7	35	33	8	3	7	2	8	2	0	1	3	2	1	2

Dentre as FDP's testadas, a distribuição GEV foi a que melhor se ajustou ao conjunto de dados de precipitação máxima diária anual, na maioria das ocasiões (66% dos casos). As distribuições GUM e LN2 também apresentaram bons ajustes, mas o melhor desempenho foi observado em apenas 16% e 11% dos casos, respectivamente. As distribuições P3 e LN3 apresentaram um ajuste adequado às séries de precipitação máxima diária anual, porém em número ainda mais reduzido, sendo que o melhor desempenho foi observado em apenas 4% dos casos, para cada uma das FDP's.

A distribuição GEV tem apresentado bom desempenho na representação de dados de eventos extremos de precipitação em diversos trabalhos (Alves et al., 2013; Franco et al., 2014; Junqueira Junior et al., 2015; Caldeira et al., 2015), sendo uma importante FDP a ser considerada em estudos dessa natureza. A distribuição Gumbel é a distribuição mais utilizada em estudos de chuvas intensas no Brasil, obtendo destaque em termos de adequação a séries de eventos extremos (Pinto, 1995; Freitas et al. 2001; Caldeira et al., 2015; Damé et al., 2016). A distribuição Gumbel é, também, utilizada pelo Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos no ajuste das lâminas máximas precipitadas (Osborn et al., 1980; Freitas et al., 2001).

A estimativa dos parâmetros feita pelo ML e MV foram as que obtiveram melhor ajuste para a distribuição GEV, enquanto que para a distribuição GUM foram o MM e MV. Já para a distribuição LN2, o método ML se destacou.

Caldeira et al. (2015) destacaram que o método ML é o mais adequado para estimar os parâmetros das FDP's em estudos de precipitação máxima diária anual. Outros autores confirmam essa tendência (Beijo et al., 2009; Bescow et al., 2009). Porém, o método MV também se mostrou adequado, especialmente para estimar os parâmetros das distribuições GUM e GEV (Alves et al., 2013; Junqueira Júnior et al., 2015).

4.3.3. Avaliação do desempenho do método RCDD

Na Tabela 15 são apresentados os valores dos parâmetros das equações de chuvas intensas obtidas via metodologia RCDD, com o uso dos cd_{CETESB} e cd_e , assim como o coeficiente de determinação (R^2) correspondente ao ajuste das equações Eq_{CETESB} e Eq_{cde} aos respectivos conjuntos de dados desagregados. Também constam na Tabela 15 os p-valores para o teste de IM e para o teste de equivalência, além do valor do parâmetro β_1 das regressões entre os dados de i_m observados e estimados, para cada estação analisada.

Tabela 15. Parâmetros k, a, b e c das equações de chuvas intensas via método RCDD, coeficiente de determinação do ajuste, p-valores para os testes de identidade de modelos (IM), valor do coeficiente angular e p-valores obtidos nos testes de equivalência

Estações	Eq _{CETESB}					IM	H ₀ : $\beta_1 = 1$		Eq _e					IM	H ₀ : $\beta_1 = 1$	
	K	a	b	c	R ²	p-valor	β_1	p-valor	K	a	b	c	R ²	p-valor	β_1	p-valor
Acaiaca	637,17	0,16	8,37	0,68	0,99	<0,05	0,81	<0,05	2053,84	0,15	21,83	0,88	>0,99	<0,05	0,91	<0,05
Acesita	706,49	0,20	8,28	0,68	0,99	0,01	0,89	<0,05	3511,71	0,18	33,77	0,93	>0,99	<0,05	0,97	<0,05
Aiuruoca	638,57	0,20	8,30	0,68	0,99	0,54	0,95	<0,05	3566,75	0,15	27,72	0,96	>0,99	<0,05	1,03	<0,05
Alto da Boa Vista	743,61	0,11	8,55	0,69	0,99	<0,05	0,65	<0,05	4814,81	0,10	26,94	0,99	>0,99	<0,05	0,89	<0,05
Andrelândia	662,05	0,18	8,31	0,68	0,99	0,14	0,91	<0,05	3361,06	0,14	28,70	0,94	0,99	<0,05	>0,99	0,79
Araçuaí	460,42	0,20	8,25	0,68	0,99	<0,05	0,75	<0,05	1718,72	0,26	22,01	0,89	0,99	<0,05	1,21	<0,05
Araguari	657,38	0,17	8,33	0,68	0,99	<0,05	0,86	<0,05	6449,61	0,21	38,92	1,08	>0,99	<0,05	1,15	<0,05
Araxá	611,24	0,15	8,42	0,68	0,99	<0,05	0,82	<0,05	4083,01	0,15	27,91	1,02	>0,99	<0,05	1,04	<0,05
Assaraí	633,90	0,15	8,39	0,68	0,99	<0,05	0,77	<0,05	11907,02	0,14	49,94	1,16	>0,99	<0,05	0,99	0,17
Barra do Cuité	626,09	0,19	8,31	0,68	0,99	0,22	1,02	0,13	7179,63	0,15	37,18	1,07	>0,99	<0,05	1,31	<0,05
Barra do Jequitaiá	615,88	0,14	8,34	0,68	0,99	<0,05	0,76	<0,05	5164,33	0,21	32,76	1,07	0,99	<0,05	1,09	<0,05
Boca da Caatinga	607,78	0,11	8,49	0,69	0,99	<0,05	0,80	<0,05	2262,85	0,11	20,50	0,92	>0,99	<0,05	0,94	<0,05
Bom Jardim de Minas	562,88	0,13	8,43	0,68	0,99	<0,05	0,76	<0,05	2223,74	0,13	28,70	0,93	>0,99	<0,05	0,78	<0,05
Brás Pires	549,21	0,15	8,41	0,68	0,99	<0,05	0,74	<0,05	5373,01	0,13	36,81	1,05	>0,99	<0,05	0,91	<0,05
Buritis	535,75	0,25	8,16	0,67	0,99	0,98	1,01	0,36	1536,93	0,32	23,04	0,85	0,99	<0,05	1,42	<0,05
C. da Manteiga	674,34	0,15	8,35	0,68	0,99	<0,05	0,80	<0,05	5435,75	0,14	32,84	1,01	0,99	<0,05	1,07	<0,05
C. do Paredão	620,98	0,16	8,41	0,68	0,99	<0,05	0,85	<0,05	5028,30	0,17	35,05	1,04	>0,99	<0,05	1,07	<0,05
C. dos Óculos	619,69	0,18	8,38	0,68	0,99	<0,05	0,82	<0,05	3031,74	0,12	26,25	0,93	0,99	<0,05	0,91	<0,05
Caeté	683,50	0,19	8,28	0,68	0,99	>0,99	1,03	<0,05	2480,23	0,23	29,50	0,94	>0,99	<0,05	1,04	<0,05
Caixa de Areia	820,58	0,19	8,28	0,68	0,99	<0,05	1,35	<0,05	2759,57	0,18	29,57	0,91	>0,99	<0,05	1,15	<0,05
Capinópolis	744,29	0,13	8,49	0,68	0,99	<0,05	0,86	<0,05	3148,98	0,10	30,55	0,91	>0,99	<0,05	0,91	<0,05
Capitânea	581,89	0,16	8,40	0,68	0,99	<0,05	0,74	<0,05	3707,71	0,18	30,80	1,01	>0,99	<0,05	0,91	<0,05

Continua...

Estações	Eq _{CETESB}					IM	H ₀ : $\beta_1 = 1$		Eq _e					IM	H ₀ : $\beta_1 = 1$	
	K	a	b	c	R ²		p-valor	β_1	p-valor	K	a	b	c		R ²	p-valor
Capitão Enéias	671,37	0,13	8,43	0,68	0,99	<0,05	0,72	<0,05	8508,27	0,12	38,83	1,09	>0,99	<0,05	0,99	0,45
Carandaí	614,21	0,16	8,40	0,68	0,99	<0,05	0,88	<0,05	5112,07	0,13	33,77	1,07	>0,99	<0,05	0,88	<0,05
Caratinga	698,40	0,09	8,55	0,69	0,99	<0,05	0,73	<0,05	6358,09	0,13	38,80	1,07	>0,99	<0,05	0,94	<0,05
Carbonita	582,57	0,15	8,42	0,68	0,99	<0,05	0,75	<0,05	1997,64	0,13	22,06	0,90	>0,99	<0,05	0,79	<0,05
C. da Mata	696,80	0,16	8,33	0,68	0,99	0,75	0,94	<0,05	1319,40	0,16	13,19	0,79	>0,99	<0,05	1,04	<0,05
C. do Paranaíba	470,80	0,28	8,22	0,67	0,99	<0,05	1,06	<0,05	2034,34	0,26	23,46	0,92	>0,99	<0,05	1,25	<0,05
Cenibra	612,54	0,23	8,34	0,68	0,99	0,01	0,92	<0,05	3050,50	0,14	25,11	0,93	>0,99	<0,05	0,90	<0,05
Central de Minas	575,79	0,15	8,46	0,68	0,99	<0,05	0,73	<0,05	5635,82	0,17	37,03	1,08	>0,99	<0,05	0,96	<0,05
Colônia do Jaíba	570,98	0,10	8,50	0,69	0,99	<0,05	0,55	<0,05	5624,10	0,13	28,42	1,09	>0,99	<0,05	0,83	<0,05
C. do Mato Dentro	661,47	0,17	8,36	0,68	0,99	<0,05	0,81	<0,05	2637,21	0,18	28,52	0,91	>0,99	<0,05	0,93	<0,05
Congonhas	569,99	0,22	8,20	0,68	0,99	0,24	0,90	<0,05	3910,71	0,26	26,51	1,03	>0,99	<0,05	1,30	<0,05
Cel Pacheco	590,23	0,19	8,26	0,68	0,98	<0,05	0,86	<0,05	1731,95	0,22	20,71	0,89	0,97	<0,05	1,07	<0,05
Cristina	562,88	0,13	8,43	0,68	0,99	<0,05	0,72	<0,05	1493,56	0,13	15,59	0,87	>0,99	<0,05	0,81	<0,05
Delfim Moreira	502,86	0,17	8,34	0,68	0,99	0,96	1,06	<0,05	2265,15	0,17	22,46	0,95	>0,99	<0,05	1,27	<0,05
Desterro de Melo	618,83	0,26	8,29	0,68	0,99	<0,05	1,09	<0,05	4023,93	0,23	32,78	0,99	>0,99	<0,05	1,19	<0,05
Dom Cavati	575,79	0,15	8,46	0,68	0,99	<0,05	0,67	<0,05	3553,12	0,17	37,03	0,99	>0,99	<0,05	0,79	<0,05
Entre Rios de Minas	555,18	0,16	8,41	0,68	0,99	<0,05	0,74	<0,05	3517,20	0,20	25,53	1,02	>0,99	<0,05	1,03	<0,05
F. Curralinho	827,36	0,08	8,57	0,69	0,99	<0,05	0,82	<0,05	2800,10	0,08	24,94	0,91	>0,99	<0,05	0,83	<0,05
F. Juca Casemiro	601,84	0,19	8,29	0,68	0,99	<0,05	0,72	<0,05	5846,05	0,15	33,99	1,06	0,99	<0,05	0,86	<0,05
F. Laranjeiras	852,40	0,06	8,69	0,69	0,99	<0,05	0,60	<0,05	30521,96	0,09	62,74	1,32	0,99	<0,05	0,71	<0,05
F. Santa Rita	797,05	0,18	8,24	0,68	0,98	>0,99	0,97	<0,05	6577,32	0,15	32,27	1,03	0,99	<0,05	1,15	<0,05
Ferros	634,59	0,17	8,32	0,68	0,99	0,50	0,90	<0,05	1905,79	0,21	19,94	0,88	>0,99	<0,05	1,14	<0,05
Gouveia	577,67	0,17	8,37	0,68	0,99	<0,05	0,85	<0,05	4820,63	0,15	36,86	1,04	>0,99	<0,05	0,94	<0,05
Ibituruna	530,62	0,24	8,31	0,68	0,99	<0,05	0,92	<0,05	4786,68	0,24	33,03	1,05	>0,99	<0,05	1,19	<0,05
Iguatama	645,41	0,20	8,33	0,68	0,99	0,98	1,06	<0,05	3334,96	0,16	22,46	0,97	>0,99	<0,05	1,19	<0,05

Continua...

Estações	Eq _{CETESB}					IM	H ₀ : $\beta_1 = 1$			Eq _e					IM	H ₀ : $\beta_1 = 1$		
	K	a	b	c	R ²		p-valor	β_1	p-valor	K	a	b	c	R ²		p-valor	β_1	p-valor
Iraí de Minas	582,19	0,12	8,40	0,68	0,99	<0,05	0,66	<0,05	4141,77	0,12	26,79	0,99	>0,99	<0,05	0,99	0,51		
Itaobim	491,97	0,18	8,30	0,68	0,99	<0,05	0,82	<0,05	2592,17	0,17	24,23	0,96	>0,99	<0,05	1,03	<0,05		
Itinga	487,99	0,19	8,29	0,68	0,99	<0,05	0,75	<0,05	3890,31	0,17	29,58	1,03	>0,99	<0,05	0,95	<0,05		
Itumirim	600,79	0,21	8,32	0,68	0,99	0,20	0,93	<0,05	4371,18	0,22	34,73	1,03	>0,99	<0,05	1,06	<0,05		
Jacinto	484,47	0,22	8,24	0,68	0,99	<0,05	0,73	<0,05	3591,23	0,21	24,35	1,01	>0,99	<0,05	1,07	<0,05		
Janaúba	438,09	0,29	8,22	0,67	0,99	<0,05	1,02	0,27	3368,65	0,29	43,05	1,01	>0,99	<0,05	1,11	<0,05		
Jardim	795,50	0,05	8,74	0,69	0,99	<0,05	0,76	<0,05	1536,72	0,04	12,98	0,81	>0,99	<0,05	0,86	<0,05		
Juatuba	713,16	0,12	8,42	0,68	0,99	<0,05	0,73	<0,05	2302,83	0,12	23,53	0,88	0,99	<0,05	0,80	<0,05		
Juramento	554,05	0,20	8,26	0,68	0,99	>0,99	0,96	<0,05	3034,62	0,18	34,70	0,96	0,99	0,41	0,99	0,23		
Juvenília	554,05	0,20	8,26	0,68	0,99	>0,99	0,96	<0,05	2406,72	0,18	21,32	0,91	0,99	<0,05	1,23	<0,05		
Lagoa do Gouveia	652,25	0,13	8,46	0,68	0,99	<0,05	0,79	<0,05	1626,73	0,15	16,54	0,85	>0,99	<0,05	0,91	<0,05		
Lagoa Grande	655,33	0,21	8,23	0,68	0,99	0,05	0,99	0,37	4755,73	0,20	26,54	1,05	>0,99	<0,05	1,16	<0,05		
Lavras	553,70	0,30	8,17	0,67	0,99	<0,05	1,22	<0,05	5220,27	0,22	36,61	1,05	0,99	<0,05	1,19	<0,05		
Macaia	592,81	0,11	8,53	0,69	0,99	<0,05	0,70	<0,05	3656,17	0,11	27,65	1,01	>0,99	<0,05	0,85	<0,05		
Machado	576,70	0,15	8,39	0,68	0,99	<0,05	0,72	<0,05	2186,12	0,14	17,24	0,92	>0,99	<0,05	0,91	<0,05		
Md Deus de Minas	654,00	0,18	8,33	0,68	0,99	0,07	0,90	<0,05	2317,64	0,15	20,37	0,90	>0,99	<0,05	0,98	0,05		
Manga	566,32	0,13	8,39	0,68	0,99	<0,05	0,87	<0,05	2646,79	0,12	25,70	0,95	0,99	<0,05	>0,99	0,81		
Maria da Fé	570,78	0,15	8,38	0,68	0,99	<0,05	0,86	<0,05	4215,43	0,14	23,72	1,05	>0,99	<0,05	1,12	<0,05		
Mateus Leme	810,36	0,09	8,53	0,69	0,99	<0,05	0,91	<0,05	3721,40	0,09	26,85	0,94	>0,99	<0,05	1,10	<0,05		
Monte Alegre de Minas	624,69	0,15	8,42	0,68	0,99	<0,05	0,78	<0,05	5222,34	0,12	35,12	1,02	>0,99	<0,05	0,94	<0,05		
Morro do Pilar	630,86	0,28	8,24	0,67	0,99	<0,05	1,24	<0,05	1772,04	0,27	21,04	0,86	>0,99	<0,05	1,30	<0,05		
Mucuri	810,36	0,09	8,53	0,69	0,98	<0,05	0,80	<0,05	3721,40	0,09	26,85	0,94	0,99	<0,05	0,97	0,06		
Muzambinho	552,05	0,21	8,30	0,68	0,99	<0,05	0,73	<0,05	6581,15	0,21	32,01	1,10	>0,99	<0,05	1,03	0,01		
Papagaios	663,99	0,22	8,28	0,68	0,99	>0,99	1,03	<0,05	2653,63	0,17	23,54	0,90	>0,99	<0,05	1,13	<0,05		
Patos de Minas	632,97	0,15	8,43	0,68	0,99	<0,05	0,75	<0,05	2380,51	0,14	22,69	0,90	0,99	<0,05	0,91	<0,05		

Continua...

Estações	Eq _{CETESB}					IM	H ₀ : $\beta_1 = 1$			Eq _e					IM	H ₀ : $\beta_1 = 1$	
	K	a	b	c	R ²		p-valor	β_1	p-valor	K	a	b	c	R ²		p-valor	β_1
Pedra Azul	592,44	0,13	8,47	0,68	0,99	<0,05	0,70	<0,05	7118,08	0,12	40,99	1,08	>0,99	<0,05	0,97	<0,05	
Pedra de Maria da Cruz	642,87	0,11	8,38	0,68	0,98	0,06	0,91	<0,05	1729,89	0,08	16,16	0,83	0,99	<0,05	1,08	<0,05	
Pedro Leopoldo	764,70	0,10	8,55	0,69	0,99	<0,05	0,84	<0,05	1198,02	0,14	11,97	0,80	>0,99	<0,05	0,93	<0,05	
Piranga	682,40	0,15	8,41	0,68	0,99	0,01	0,88	<0,05	3293,61	0,15	28,87	0,95	>0,99	<0,05	0,98	0,01	
Pitangui	689,74	0,14	8,44	0,68	0,99	<0,05	0,88	<0,05	1944,28	0,14	17,57	0,88	>0,99	<0,05	>0,99	0,55	
Pium-Hi	588,71	0,11	8,54	0,69	0,99	<0,05	0,66	<0,05	3690,25	0,16	23,86	0,99	>0,99	<0,05	1,10	<0,05	
P. BR040 (Paracatu)	570,78	0,15	8,38	0,68	0,98	<0,05	0,62	<0,05	4215,43	0,14	23,72	1,05	0,99	0,01	1,06	<0,05	
P. BR040 (Prat a)	739,86	0,16	8,33	0,68	0,99	<0,05	0,81	<0,05	4197,54	0,18	26,33	0,99	>0,99	<0,05	1,05	<0,05	
Ponte do Linício	605,49	0,15	8,40	0,68	0,99	0,01	0,89	<0,05	2343,03	0,15	29,29	0,91	>0,99	<0,05	0,95	<0,05	
Ponte Nova	649,78	0,13	8,50	0,68	0,99	<0,05	0,67	<0,05	8566,17	0,12	41,61	1,12	>0,99	<0,05	0,84	<0,05	
Ponte Nova do Paraopeba	639,36	0,14	8,62	0,69	0,99	<0,05	0,72	<0,05	5371,91	0,12	33,38	1,03	>0,99	<0,05	0,93	<0,05	
Ponte Raul Soares	537,97	0,18	8,31	0,68	0,99	<0,05	0,76	<0,05	3339,48	0,10	29,47	0,97	>0,99	<0,05	0,79	<0,05	
Porto do Cavalo	689,34	0,15	8,40	0,68	0,99	<0,05	0,84	<0,05	2309,80	0,15	20,90	0,91	>0,99	<0,05	0,93	<0,05	
Porto Extrema	616,14	0,18	8,33	0,68	0,99	<0,05	0,85	<0,05	6544,16	0,19	37,37	1,09	>0,99	<0,05	1,10	<0,05	
Presidente Olegário	561,87	0,09	8,60	0,69	0,99	<0,05	0,56	<0,05	3710,48	0,11	24,53	1,02	>0,99	<0,05	0,80	<0,05	
Queiroz	372,44	0,40	8,35	0,68	0,99	<0,05	1,08	0,02	5550,16	0,39	49,94	1,12	>0,99	<0,05	1,28	<0,05	
Raul Soares	604,95	0,17	8,33	0,68	0,99	<0,05	0,84	<0,05	4404,42	0,14	29,07	1,01	0,99	<0,05	1,02	0,12	
Rocinha	707,32	0,14	8,44	0,68	0,99	0,99	1,04	<0,05	1939,31	0,14	19,85	0,86	>0,99	<0,05	1,16	<0,05	
Santa Juliana	557,21	0,23	8,25	0,68	0,99	0,80	0,99	0,34	2738,14	0,21	24,13	0,92	>0,99	<0,05	1,31	<0,05	
Santa Rosa	518,44	0,25	8,30	0,68	0,99	<0,05	0,93	<0,05	5032,87	0,21	29,02	1,05	>0,99	<0,05	1,27	<0,05	
Santana do Jacaré	572,45	0,16	8,40	0,68	0,99	<0,05	0,82	<0,05	6137,82	0,14	35,49	1,09	>0,99	<0,05	>0,99	0,62	
S. Antônio do Boqueirão	508,30	0,20	8,70	0,69	0,97	>0,99	1,05	<0,05	11369,58	0,11	23,83	1,21	0,99	<0,05	1,78	<0,05	
S. Antônio do Monte	725,09	0,11	8,48	0,69	0,99	<0,05	0,80	<0,05	2741,76	0,10	23,05	0,93	0,99	<0,05	0,88	<0,05	

Continua...

Estações	Eq _{CETESB}					IM				Eq _e				IM			
	K	a	b	c	R ²	p-valor	β_1	p-valor	K	a	b	c	R ²	p-valor	β_1	p-valor	
Santo Hipólito	483,05	0,20	8,34	0,68	0,99	<0,05	0,92	<0,05	2547,14	0,19	13,10	0,99	>0,99	<0,05	1,46	<0,05	
S. Francisco	628,38	0,12	8,47	0,68	0,99	<0,05	0,74	<0,05	3896,52	0,12	35,46	0,97	>0,99	<0,05	0,89	<0,05	
S. Gonçalo	620,67	0,13	8,40	0,68	0,99	<0,05	0,85	<0,05	1829,70	0,15	20,43	0,87	>0,99	<0,05	1,05	<0,05	
S. Gotardo	694,84	0,10	8,53	0,69	0,99	<0,05	0,62	<0,05	5854,98	0,14	29,53	1,04	>0,99	<0,05	0,98	0,22	
S. Lourenço	694,49	0,10	8,49	0,69	0,99	<0,05	0,81	<0,05	2561,36	0,16	16,19	0,96	>0,99	<0,05	1,07	<0,05	
S. Romão	636,72	0,16	8,38	0,68	0,99	<0,05	0,87	<0,05	5629,37	0,16	36,09	1,03	>0,99	<0,05	1,14	<0,05	
Serra Azul	728,23	0,09	8,55	0,69	0,99	<0,05	0,82	<0,05	8869,91	0,09	44,75	1,12	>0,99	<0,05	0,92	<0,05	
Seta Lagoas ANA	592,44	0,13	8,47	0,68	0,91	<0,05	0,69	<0,05	7118,08	0,12	40,99	1,08	0,98	<0,05	0,84	<0,05	
Sete Lagoas INMET	665,40	0,18	8,32	0,68	0,99	0,98	1,02	0,07	4676,03	0,17	32,90	1,02	>0,99	<0,05	1,15	<0,05	
Silvianópolis	685,87	0,20	8,26	0,68	0,99	<0,05	1,14	<0,05	2069,32	0,22	28,80	0,88	>0,99	<0,05	1,11	<0,05	
Tumiritinga	641,43	0,17	8,34	0,68	0,99	<0,05	0,85	<0,05	2522,50	0,21	30,73	0,92	>0,99	<0,05	0,98	0,02	
Uberaba	717,76	0,15	8,38	0,68	0,99	<0,05	0,89	<0,05	6077,97	0,15	37,02	1,05	>0,99	<0,05	1,02	0,01	
Unai	612,07	0,09	8,53	0,69	0,99	<0,05	0,60	<0,05	5464,53	0,11	33,12	1,05	>0,99	<0,05	0,85	<0,05	
Vau da Lagoa	592,44	0,13	8,47	0,68	0,99	<0,05	0,69	<0,05	7118,08	0,12	40,99	1,08	0,99	<0,05	0,91	<0,05	
Velho da Taipa	642,46	0,12	8,47	0,68	0,99	<0,05	0,66	<0,05	3885,65	0,11	24,93	>0,99	>0,99	<0,05	0,83	<0,05	
Vespasiano	642,46	0,12	8,47	0,68	0,99	<0,05	0,78	<0,05	3489,04	0,12	30,29	1,01	>0,99	<0,05	0,78	<0,05	
Vila Matias	854,15	0,09	8,60	0,69	0,99	<0,05	0,75	<0,05	4994,53	0,09	43,21	0,96	>0,99	<0,05	0,83	<0,05	
Vila Terra Branca	590,23	0,19	8,26	0,68	0,99	0,01	0,91	<0,05	1731,95	0,22	20,71	0,89	>0,99	<0,05	1,03	0,06	
Média	626,71	0,16	8,39	0,68	0,97	0,13	0,84	0,01	4177,45	0,16	28,67	0,98	0,98	<0,05	1,02	0,04	
Desvio Padrão	87,08	0,05	0,11	<0,05	0,02	0,31	0,14	0,06	3169,17	0,05	8,44	0,09	0,02	0,04	0,16	0,14	
Valor máximo	854,15	0,40	8,74	0,69	0,99	>0,99	1,35	0,37	30521,96	0,39	62,74	1,32	>0,99	0,41	1,78	0,81	
Valor mínimo	372,44	0,05	8,16	0,67	0,84	<0,05	0,55	<0,05	1198,02	0,04	11,97	0,79	0,90	<0,05	0,71	<0,05	

Os parâmetros das equações de chuvas intensas apresentaram grande variabilidade, seja entre as diferentes localidades ou para uma mesma localidade, quando estimados pelas duas metodologias testadas. De maneira geral, os parâmetros das Eq_{CETESB} foram os que menos variaram entre as estações. Também para as Eq_{CETESB} foram observados os menores valores dos coeficientes k , a , b e c (Tabela 15). Esses fatos ocorreram devido ao uso de cd comuns a todas as estações, excluindo as características locais das precipitações de menores durações.

Percebe-se o bom ajuste das equações Eq_{CETESB} e Eq_e aos dados desagregados. O coeficiente de determinação (R^2) foi sempre superior a 0,84 para o ajuste da Eq_{CETESB} e sempre maior que 0,90 para a Eq_e . Esses valores de R^2 garantem bom ajustamento das equações aos respectivos conjuntos de dados desagregados de chuvas intensas. Porém, esse ajuste não garante equivalência entre os dados observados e os dados estimados pelas equações RCDD.

Ainda sobre os resultados apresentados na Tabela 15, o teste IM, com significância de 5% de probabilidade (hipótese H_0 é aceita se $p\text{-valor} > 0,05$), apontou que apenas 22% das Eq_{CETESB} possuem diferença não significativa em relação às equações Eq_{PLUG} . Já para a Eq_e , essa porcentagem foi de somente 1%. Os resultados dos testes de equivalência entre os dados estimados e os dados observados também apontaram diferença significativa entre as Eq_{PLUG} e as equações Eq_{CETESB} e Eq_e ($H_0: \beta_1 = 1$ é aceita se $p\text{-valor} > 0,05$), para a maioria das situações. A equivalência entre as intensidades de precipitação preditas pela Eq_{CETESB} e os dados observados foi constatada em 5% das situações testadas, enquanto que, para a Eq_e essa equivalência foi observada em 11% dos casos.

De maneira geral, os testes de IM e de equivalência indicaram existir evidências suficientes para rejeitar a hipótese de equivalência entre a Eq_{PLUG} e as equações Eq_{CETESB} e Eq_e . Portanto, as estimativas da i_m por meio de equações de chuvas elaboradas pelo método de desagregação de chuvas RCDD (tanto com os cd_{CETESB} quanto com os cd_e) e dados observados são estatisticamente diferentes para a maior parte das estações em estudo.

Houve uma pequena diferença na proporção em que cada teste rejeitou a hipótese de igualdade de equações, devido à natureza de cada um dos

testes. O teste de IM testa se existe diferença significativa entre as somas dos quadrados das regressões ajustadas para cada método de obtenção das equações IDF (modelo completo) e a soma do quadrado da regressão do ajuste de uma equação comum, que pudesse representar o conjunto de dados observados e desagregados. Já o teste de equivalência, verifica se os dados observados e estimados por cada modelo variam em uma proporção 1:1, através do coeficiente angular da regressão entre esses dados.

Esse resultado é pioneiro em indicar que a metodologia RCDD para estabelecimento de equações de chuvas intensas não apresenta equivalência com os dados observados de i_m . O estudo feito por Damé et al. (2008) testou a equivalência de equações IDF obtidas via desagregação com cd_{CETESB} e equações IDF obtidas via dados pluviográficos de Pelotas, RS. Diferente dos resultados obtidos neste trabalho, os autores conferiram equivalência entre os dados obtidos por Eq_{PLUG} e estimados por Eq_{CETESB} , embora, com a análise de dados limitada a seis durações, três períodos de retorno (de até 10 anos) e para somente uma estação. Devido a diferença nos resultados obtidos no presente trabalho e no trabalho de Damé et al. (2008), faz-se necessário uma análise da equivalência entre dados observados e estimados para períodos de retorno e durações individualmente.

A Tabela 16 mostra a porcentagem de equivalências e a interpretação do índice BIAS, para cada período de retorno analisado individualmente, entre as i_m observadas e estimadas. O resultado dessa análise sugere que os cd_{CETESB} geram maior número de estimativas de i_m equivalentes às observadas nos menores períodos de retorno (TR = 2, 5 e 10 anos), mesma faixa em que Damé, Teixeira e Terra (2008) encontraram equivalência entre dados observados e estimados de i_m para Pelotas, RS. Já os cd_e geram estimativas equivalentes para períodos de retorno intermediários (TR = 5, 10 e 20 anos). Em relação às tendências, as Eq_{CETESB} apresentam tendências majoritárias em subestimar as i_m observadas, para todos os períodos de retorno, em proporção superior a 75% dos casos. Esse fato tem importância expressiva em termos práticos, uma vez que projetos hidráulicos baseados em equações obtidas via método RCDD, com cd_{CETESB} , podem não apresentar capacidade de suporte suficiente para a sua proposição. Já a Eq_e , apresentou tendências de superestimativa para os menores TRs (de 2 a 10 anos) e, a partir de TR = 50

anos, passou a subestimar as i_m . Em termos práticos, a tendência de subestimativa para períodos de retorno maiores pode ser considerada menos nociva, uma vez que os maiores TR já estão associados a maior segurança do projeto.

Tabela 16. Análise de equivalência para cada período de retorno e interpretação do índice BIAS quanto à tendência das equações

TR (anos)	Aceite da hipótese $H_0: \beta_1 = 1$ (em %)		Subestimativa (%)		Superestimativa (%)	
	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{CETESB}	Eq _e
2	21,6	9,5	75,9	19,8	24,1	80,2
5	11,2	12,1	85,3	25,9	14,7	74,1
10	10,3	14,7	87,9	39,7	12,1	60,3
20	8,6	16,4	86,2	49,1	13,8	50,9
50	8,6	8,6	82,8	56,9	17,2	43,1
100	9,5	6,9	81,9	60,3	18,1	39,7

Já a Tabela 17 mostra a porcentagem de equivalências e a interpretação do índice BIAS, para cada duração analisada individualmente, entre as i_m observadas e estimadas. As estimativas de i_m , obtidas pela Eq_{CETESB}, foram equivalentes aos dados observados de i_m , em maior proporção, nas durações de 240 minutos, 360 minutos e 720 minutos. Já a Eq_e mostrou um equilíbrio maior na porcentagem de equivalências, com destaque para as menores durações. Em relação às tendências das equações, novamente a Eq_{CETESB} se mostrou tendenciosa em subestimar a i_m , especialmente nas menores durações de chuva, enquanto a Eq_e apresentou um maior equilíbrio entre subestimar/superestimar a i_m . Uma vez mais, a Eq_e apresentou vantagens em termos práticos na estimativa da i_m de chuvas, uma vez que as chuvas de menores durações são as que apresentam maior i_m e sua estimativa adequada garante maior segurança aos projetos hidro-agrícolas.

Também é importante ressaltar que o número de equivalências, quando se utiliza os cd_e em detrimento aos cd_{CETESB} , aumentou em todas as durações de chuva. Outro detalhe é que o menor número de equivalências foi encontrado para a duração de 1440 minutos, justamente o primeiro coeficiente de desagregação ($cd_{24h/dia}$), cujo erro obtido nessa transformação vai se

propagando. Portanto, um dos principais fatores identificados que comprometem melhores estimativas de i_m pelo método RCDD é o $cd_{24h/dia}$.

Tabela 17. Análise de equivalência para cada duração e interpretação do índice BIAS quanto à tendência das equações

t (minutos)	Aceite da hipótese					
	H ₀ : $\beta_1 = 1$ (em %)		Subestimativa (%)		Superestimativa (%)	
	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{CETESB}	Eq _e
10	17.2	32.8	79.3	51.7	20.7	48.3
20	13.8	35.3	86.2	46.6	13.8	53.4
30	8.6	36.2	89.7	43.1	10.3	56.9
40	8.6	36.2	92.2	44.0	7.8	56.0
50	9.5	35.3	91.4	44.0	8.6	56.0
60	9.5	37.9	90.5	46.6	9.5	53.4
120	15.5	33.6	81.0	51.7	19.0	48.3
180	20.7	29.3	77.6	53.4	22.4	46.6
240	22.4	32.8	64.7	54.3	35.3	45.7
360	34.5	31.0	43.1	61.2	56.9	38.8
720	25.0	27.6	20.7	74.1	79.3	25.9
1440	13.8	21.6	89.7	25.0	10.3	75.0

Entre outras possíveis causas para que o método RCDD não apresente respostas equivalentes aos dados observados são a natureza de transformações que são estabelecidas no método e a influência de eventos discrepantes nos coeficientes de desagregação.

Com relação à natureza das transformações, a chuva máxima precipitada em um dia, associada a diferentes períodos de retorno, é transformada em chuvas de durações inferiores, aplicando-se os coeficientes de desagregação. Todavia, nem sempre a precipitação máxima diária anual proporciona as chuvas de maior intensidade de durações de 24 horas e, principalmente, as chuvas intensas de durações mais curtas. Essa transformação não caracteriza de maneira adequada as chuvas intensas das respectivas durações, observadas em cada localidade. Esse fato pode ser atribuído à maior variabilidade dos dados pluviométricos na série de dados, em relação aos pluviográficos. O CV médio entre as estações dos dados pluviométricos foi de 37,35%, com variações entre 23,11% e 68,01%, o que indica alta dispersão dos dados (CV entre 20% e 30%) ou dispersão muito alta

dos dados ($CV > 30\%$). Essas dispersões altas ou muito altas indicam eventos máximos com grande diferença de magnitudes em cada ano, e que nem sempre produzem a intensidade máxima em 1440 minutos. Sendo assim, o $cd_{24h/dia}$ não será representativo da verdadeira relação entre a chuva pluviográfica e a pluviométrica. As estatísticas de dispersão dos dados pluviométricos encontram-se na Tabela A2 (anexo).

Com relação à influência de eventos discrepantes, ou seja, os de magnitude mais altas ou mais baixas, esses podem influenciar na média das chuvas de diferentes durações que é usada para estabelecer os cds, especialmente quando a série de dados é relativamente curta. Ressalta-se que esses eventos discrepantes, em termos de magnitude, não podem ser classificados como *outliers*, uma vez que a análise de eventos extremos envolve, justamente, eventos de maiores/menores magnitudes, em relação à média. Porém, esses eventos são de ocorrência natural e associados a uma frequência de ocorrência.

As estatísticas de ajuste entre os dados observados e estimados de i_m encontram-se na Tabela 18. Essas estatísticas mostram boa exatidão e precisão das equações desenvolvidas através da metodologia RCDD, sejam com cd_{CETESB} ou com cd_e , em relação aos dados observados. A Eq_{CETESB} proporcionou correlações superiores a 0,91 com os dados observados, enquanto a Eq_e proporcionou correlações acima de 0,95. Segundo a classificação de Mukaka (2012), as correlações entre os dados estimados pelo método RCDD podem ser classificadas como muito fortes ($r > 0,90$). O índice de concordância de Willmott indicou boa exatidão, com valores muito próximos à unidade. Já o índice IC, que é um indicativo conjunto da exatidão e precisão do ajuste da equação, foram superiores a 0,94 para todas as equações. Isso indica desempenho ótimo do método RCDD, segundo classificação de Camargo; Sentelhas (1997). O melhor desempenho, no entanto, foi obtido pelas Eq_{PLUG} , devido a utilização dos dados observados no ajuste da equação de chuvas intensas. As estatísticas de ajuste entre os dados observados e estimados pelas equações RCDD para cada estação encontram-se na Tabela A3.

Tabela 18. Resumo das estatísticas de ajuste entre os dados observados e estimados pelas equações RCDD

Estatísticas de ajuste		r	d	IC
Eq _{PLUG}	Mínimo	0,981	0,9985	0,980
	Médio	0,997	>0,9999	0,997
	Máximo	0,998	>0,9999	0,998
Eq _{CETESB}	Mínimo	0,915	0,9951	0,911
	Médio	0,985	0,9989	0,984
	Máximo	0,997	0,9999	0,997
Eq _e	Mínimo	0,950	0,9977	0,948
	Médio	0,988	0,9996	0,987
	Máximo	0,998	>0,9999	0,998

Quando se compara as estatísticas r, d e IC das equações de chuvas intensas Eq_{CETESB} e Eq_e, percebe-se que, de maneira geral, o uso dos cd_e proporciona vantagens na estimativa da intensidade de chuvas intensas, uma vez que proporcionam maior proximidade com as características de cada local. Embora a equivalência com os dados observados de i_m não tenha sido confirmada, devido ao bom desempenho dessas estatísticas de ajuste, a análise dos erros, que cada equação de chuvas intensas proporciona, torna-se fator fundamental para verificar a viabilidade do método RCDD, uma vez que este método é uma alternativa para contornar a escassez de informações pluviográficas no Brasil.

A Tabela 19 mostra, considerando conjuntamente todas as combinações entre TR e t, para cada estação pluviográfica, os valores de EPAM, RQEM e EPE que as equações de chuvas intensas proporcionam. Quando se comparam os EPAMs obtidos pelas equações IDF, percebe-se que a Eq_{PLUG} proporciona erros menores para a maioria absoluta dos casos (95%). Quando se comparam exclusivamente as Eq_{CETESB} e as Eq_e, em 77% das estações as Eq_e mostraram melhor desempenho para estimar a i_m .

Tabela 19. Erro de predição absoluto médio, raiz do quadrado médio do erro e erro padrão da estimativa de cada estação analisada, obtidos pelas equações de chuvas intensas

Estação	EPAM (%)			RQME (mm h ⁻¹)			EPE (mm h ⁻¹)		
	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e
Acaiaca	8.721	16.247	11.983	3.930	16.497	9.465	0.136	0.180	0.133
Acesita	6.888	12.699	7.149	5.163	13.365	6.423	0.095	0.156	0.093
Aiuruoca	9.607	19.873	12.207	4.025	7.932	7.452	0.154	0.262	0.160
Alto da Boa Vista	5.653	25.345	15.565	5.212	35.787	16.116	0.077	0.289	0.183
Andrelândia	6.166	13.615	8.283	4.369	9.863	5.838	0.081	0.169	0.108
Araçuaí	18.059	23.670	15.636	6.796	21.232	22.210	0.253	0.274	0.218
Araguari	8.892	14.632	12.727	3.889	14.050	13.729	0.132	0.177	0.148
Araxá	10.724	17.552	8.170	4.740	14.607	5.992	0.133	0.203	0.107
Assaraí	5.746	18.584	11.016	4.005	19.555	7.484	0.074	0.211	0.152
Barra do Cuité	5.904	15.401	24.709	3.035	7.785	23.193	0.091	0.236	0.289
Barra do Jequitaiá	12.817	18.396	13.651	5.179	20.891	8.863	0.191	0.232	0.168
Boca da Caatinga	5.329	17.928	13.078	2.932	14.436	7.706	0.077	0.216	0.155
Bom Jardim de Minas	7.812	15.861	17.417	3.500	17.684	16.962	0.114	0.189	0.191
Brás Pires	6.839	19.362	11.871	3.337	20.524	8.874	0.099	0.219	0.143
Buritis	6.914	13.733	37.452	4.504	6.708	35.622	0.088	0.201	0.417
Cachoeira da Manteiga	7.118	21.777	18.209	4.861	18.894	13.389	0.101	0.268	0.282
Cachoeira do Paredão	7.188	16.809	13.286	3.740	13.142	7.724	0.101	0.200	0.156
Cachoeira dos Óculos	6.131	16.270	13.635	4.672	16.277	11.109	0.075	0.184	0.154
Cachoeira Escura	9.128	11.710	7.426	4.040	7.762	6.048	0.136	0.140	0.099
Caeté	7.741	8.427	10.994	3.887	5.927	7.421	0.126	0.123	0.147
Caixa de Areia	7.802	38.198	19.612	3.501	25.863	12.163	0.116	0.403	0.214

Continua...

Estação	EPAM (%)			RQME (mm h ⁻¹)			EPE (mm h ⁻¹)		
	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{PLUG}	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{CETESB}	Eq _{PLUG}
Capinópolis	6.268	12.253	10.468	3.654	13.303	11.092	0.085	0.151	0.129
Capitânea	9.866	18.187	10.867	4.980	22.036	8.989	0.133	0.218	0.130
Capitão Enéias	7.374	24.202	15.533	4.629	26.718	11.065	0.107	0.279	0.206
Carandaí	5.988	14.817	16.533	3.058	9.753	10.462	0.095	0.182	0.200
Caratinga	6.461	20.188	10.525	3.678	22.489	7.512	0.095	0.230	0.130
Carbonita	5.860	16.579	17.222	3.931	20.111	17.426	0.073	0.196	0.186
Carmo da Mata	14.975	14.571	10.257	5.776	7.723	7.529	0.224	0.221	0.155
Carmo do Paranaíba	9.662	13.514	13.931	3.384	11.612	21.170	0.158	0.164	0.193
Cenibra	6.584	12.495	15.502	4.104	10.808	10.707	0.093	0.148	0.182
Central de Minas	6.557	22.272	12.380	3.833	21.963	5.505	0.089	0.246	0.158
Colônia do Jaíba	9.183	30.463	19.122	5.075	40.721	18.172	0.128	0.350	0.213
Conc. do Mato Dentro	11.692	30.591	24.537	5.334	18.990	11.813	0.169	0.391	0.307
Congonhas	8.381	21.624	25.089	4.464	10.139	25.767	0.114	0.279	0.281
Cel Pacheco	7.546	11.585	8.186	4.273	12.526	8.451	0.113	0.149	0.099
Cristina	6.826	22.401	22.550	3.695	21.053	15.497	0.100	0.242	0.252
Delfim Moreira	7.381	15.292	23.113	2.949	4.634	14.904	0.095	0.205	0.246
Desterro de Melo	6.691	12.795	13.188	3.541	15.846	18.853	0.095	0.164	0.162
Dom Cavati	4.982	26.377	19.294	4.316	29.131	18.271	0.070	0.294	0.207
Entre Rios de Minas	7.204	17.862	8.781	3.060	20.782	5.375	0.115	0.211	0.133
F. Curralinho	10.051	18.943	18.040	4.322	18.670	17.928	0.150	0.239	0.212
F. Juca Casemiro	9.173	20.061	15.261	5.317	28.234	16.486	0.129	0.231	0.173
F. Laranjeiras	10.034	31.040	30.268	9.360	43.162	32.903	0.131	0.353	0.336
F. Santa Rita	5.444	13.970	21.142	4.922	6.954	17.752	0.083	0.203	0.245
F. São Mateus	5.570	18.458	8.324	3.535	21.198	5.982	0.075	0.209	0.113

Continua...

Estação	EPAM (%)			RQME (mm h ⁻¹)			EPE (mm h ⁻¹)		
	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{PLUG}	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{CETESB}	Eq _{PLUG}
Ferros	6.105	13.009	9.670	3.017	8.330	12.029	0.093	0.176	0.119
Gouveia	5.619	14.437	12.071	3.170	11.781	6.488	0.078	0.166	0.149
Ibituruna	5.706	14.355	13.983	3.665	10.596	18.132	0.084	0.172	0.172
Iguatama	7.062	16.477	20.296	3.481	6.389	15.319	0.126	0.238	0.236
Iraí de Minas	5.012	24.867	8.535	4.851	28.688	7.629	0.060	0.278	0.118
Itaobim	3.973	18.684	5.660	3.328	13.173	4.379	0.052	0.224	0.074
Itinga	11.271	18.329	10.884	4.272	19.543	7.066	0.170	0.212	0.139
Itumirim	7.588	10.996	9.096	3.387	8.726	7.114	0.116	0.131	0.130
Jacinto	6.695	22.650	9.087	4.935	23.314	8.187	0.092	0.264	0.133
Janaúba	7.810	13.369	9.427	4.297	10.368	11.433	0.103	0.174	0.124
Jardim	6.364	19.920	17.442	3.827	20.568	15.579	0.078	0.231	0.205
Juatuba	8.005	22.204	19.818	5.382	26.641	21.206	0.116	0.255	0.215
Juramento	13.327	11.981	10.874	7.713	5.605	4.555	0.198	0.172	0.146
Juvenília	9.015	11.981	19.600	3.712	5.605	17.614	0.157	0.172	0.239
Lagoa do Gouveia	8.764	19.984	15.748	3.433	17.281	8.774	0.148	0.219	0.185
Lagoa Grande	22.269	21.773	11.168	7.267	10.911	18.063	0.310	0.303	0.159
Lavras	12.516	23.704	17.592	4.882	24.531	17.244	0.176	0.296	0.201
Macaia	7.197	20.445	14.699	3.706	23.201	14.302	0.099	0.241	0.171
Machado	10.669	22.335	11.189	4.222	24.495	10.988	0.163	0.247	0.130
Madre de Deus de Minas	4.620	12.905	6.526	4.011	9.297	5.697	0.062	0.161	0.091
Manga	6.079	17.708	12.883	3.040	9.867	6.204	0.093	0.221	0.162
Maria da Fé	5.674	19.576	15.613	2.955	10.804	9.426	0.074	0.249	0.183
Mateus Leme	9.541	18.556	20.556	5.954	12.623	14.344	0.143	0.244	0.264
Monte Alegre de Minas	4.551	20.355	9.178	3.243	18.825	7.793	0.063	0.230	0.109

Continua...

Estação	EPAM (%)			RQME (mm h ⁻¹)			EPE (mm h ⁻¹)		
	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{PLUG}	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{CETESB}	Eq _{PLUG}
Morro do Pilar	7.171	19.176	17.356	4.099	24.089	27.566	0.105	0.239	0.217
Mucuri	8.260	24.367	18.347	4.714	20.281	12.944	0.120	0.306	0.252
Muzambinho	13.650	17.772	17.354	6.283	26.998	10.896	0.193	0.214	0.210
Papagaios	6.426	10.657	13.921	3.950	5.892	12.271	0.103	0.170	0.178
Patos de Minas	6.780	19.336	13.662	4.638	22.366	11.178	0.091	0.218	0.157
Pedra Azul	5.471	24.141	9.924	4.350	24.105	7.292	0.066	0.269	0.124
Pedra de Maria da Cruz	8.483	17.007	21.406	2.956	8.800	11.925	0.140	0.253	0.308
Pedro Leopoldo	4.993	16.038	11.885	3.738	15.237	8.128	0.073	0.195	0.133
Piranga	7.755	12.949	9.175	3.512	10.073	5.262	0.115	0.150	0.116
Pitangui	6.820	13.969	8.160	3.305	10.399	5.119	0.098	0.181	0.104
Pium-Hi	5.351	22.151	11.542	3.252	27.008	8.985	0.069	0.251	0.135
Ponte BR-040 (Paracatu)	16.335	25.677	23.275	9.867	35.766	21.844	0.201	0.278	0.294
Ponte BR-040 (Prata)	7.586	18.424	12.793	5.870	20.293	9.886	0.107	0.230	0.191
Ponte do Linício	4.701	13.538	8.496	2.981	9.495	5.951	0.062	0.161	0.101
Ponte Nova	8.527	24.569	18.735	4.237	30.944	16.413	0.122	0.274	0.209
Ponte Nova do Paraopeba	6.377	22.454	12.453	4.287	24.771	9.252	0.085	0.251	0.152
Ponte Raul Soares	8.040	18.967	21.715	4.923	20.474	20.379	0.107	0.217	0.242
Porto do Cavalo	8.649	15.687	13.010	4.877	15.738	10.894	0.113	0.199	0.169
Porto Extrema	8.481	14.274	12.139	3.682	13.359	8.996	0.124	0.169	0.143
Presidente Olegário	6.230	35.558	26.266	4.129	38.953	20.933	0.090	0.379	0.295
Presidente Juscelino	7.164	25.368	13.082	3.655	12.207	7.641	0.107	0.332	0.163
Queiroz	14.606	30.164	24.883	6.058	23.653	33.400	0.186	0.420	0.332
Raul Soares	4.946	12.964	11.673	3.730	13.511	7.566	0.063	0.161	0.152
Rocinha	7.631	13.233	16.411	2.978	5.287	11.980	0.124	0.191	0.198

Continua...

Estação	EPAM (%)			RQME (mm h ⁻¹)			EPE (mm h ⁻¹)		
	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{PLUG}	Eq _{PLUG}	Eq _{CETESB}	Eq _e	Eq _{CETESB}	Eq _{PLUG}
Santa Juliana	11.070	12.763	20.402	3.496	7.222	24.933	0.193	0.168	0.246
Santa Rosa	5.194	21.666	22.145	3.809	10.039	22.854	0.066	0.292	0.243
Santana do Jacaré	7.255	15.040	9.585	2.988	13.596	4.213	0.107	0.174	0.146
S. Antônio do Boqueirão	12.780	39.488	74.750	4.197	7.139	45.893	0.170	0.571	0.912
S. Antônio do Monte	5.149	16.776	15.406	3.381	17.247	12.416	0.069	0.204	0.178
S. Hipólito	7.292	26.115	38.584	2.621	8.670	28.207	0.117	0.329	0.426
São Francisco	6.683	23.598	15.084	4.640	21.924	14.172	0.087	0.276	0.209
São Gonçalo	11.013	15.943	7.772	3.095	11.309	5.635	0.180	0.180	0.092
São Gotardo	7.403	25.390	10.556	4.770	36.630	9.784	0.104	0.294	0.156
São Lourenço	6.848	16.414	13.918	3.483	16.818	7.851	0.105	0.210	0.170
São Romão	8.723	14.789	15.895	4.215	10.927	13.100	0.132	0.191	0.189
Serra Azul	8.105	17.451	16.867	3.100	15.984	9.747	0.134	0.208	0.210
Seta Lagoas ANA	14.297	27.539	21.897	5.648	26.792	12.834	0.201	0.302	0.291
Sete Lagoas INMET	7.047	14.490	14.857	2.895	5.841	11.497	0.107	0.196	0.158
Silvianópolis	14.367	15.176	15.136	5.137	15.413	12.783	0.251	0.190	0.171
Tumiritinga	5.870	16.314	10.130	4.068	14.222	6.114	0.098	0.186	0.122
Uberaba	9.192	13.373	9.091	4.794	12.227	5.827	0.123	0.166	0.126
Unai	5.009	29.465	17.205	4.118	35.378	15.818	0.068	0.329	0.190
Vau da Lagoa	5.043	18.365	15.785	4.525	25.404	14.190	0.065	0.210	0.192
Velho da Taipa	7.277	22.074	18.757	4.757	31.206	18.575	0.100	0.262	0.219
Vespasiano	9.672	18.787	24.687	3.829	17.404	17.512	0.140	0.211	0.297
Vila Matias	8.558	22.821	18.194	4.921	26.576	19.658	0.110	0.264	0.200
Média	8.073	18.928	15.618	4.272	17.297	13.040	0.116	0.230	0.190
Desvio Padrão	2.972	5.727	8.030	1.176	8.550	7.189	0.045	0.067	0.094
Máximo	22.269	39.488	74.750	9.867	43.162	45.893	0.310	0.571	0.912
Mínimo	3.973	8.427	5.660	2.621	4.634	4.213	0.052	0.123	0.074

Os erros proporcionados pelas equações de chuvas intensas, representados pelo EPAM, RQME e EPE, seguiram padrão semelhante. De maneira geral, a Eq_{PLUG} apresentou os menores erros médios e menores amplitude de erros, o que confirma a confiabilidade desse método de obtenção de chuvas intensas. A Eq_{CETESB} apresentou o pior desempenho médio em termos de erro, porém, apresentou menor amplitude de variação desses erros em relação a Eq_e.

Na minoria dos casos em que a Eq_{CETESB} foi melhor que a Eq_e, os erros foram muito próximos, com exceção da estação Santo Antônio do Boqueirão. Dentre os possíveis motivos para essa ocorrência, destaca-se a existência de coeficientes de desagregação específicos que não caracterizam as precipitações locais de menores durações. No caso dessa estação propriamente dita, a análise de equivalência, considerando cada tempo de duração de chuva individualmente, foi constatada diferenças de estimativas para i_m de chuvas de menores durações, além de coeficientes de desagregação muito próximos uns dos outros, indicando que chuvas semelhantes em termos de magnitude são representantes de diversas durações diferentes.

A estimativa da intensidade máxima média de chuvas apresenta grandes dificuldades devido à grande variabilidade espacial e temporal de ocorrência de chuvas intensas (Mello; Viola, 2012; Braga et al., 2018), incorrendo, muitas vezes, em erros de predição com altas magnitudes. Alguns autores utilizaram os mesmos índices de erro e/ou estatísticas de ajuste usados neste estudo para verificar se o método RCDD é aceitável ou não em termos práticos. Pereira et al. (2014) avaliaram as equações de chuvas intensas geradas através da desagregação com cd_{CETESB} e cd_e através do índice d e encontraram variação maior do que a encontrada neste estudo. Damé et al (2008) e Caldeira et al. (2015) encontraram uma variação de EPE maior que a encontrada neste estudo, quando testaram a metodologia RCDD, com cd_{CETESB} . Todos esses autores optaram por concluir sobre a aceitação dos erros, como sendo de baixa magnitude. Por esse motivo, pode-se considerar que a estimativa da i_m obtida neste estudo, pelas equações de chuvas geradas pelo RCDD, mostram resultados satisfatórios.

A não coincidência em termos de dia de ocorrência da maior chuva pluviométrica diária anual e da chuva mais intensa em 24 horas, pode ser considerada como uma das grandes fontes de erro do método RCDD. Esta afirmativa pode ser comprovada por meio da aplicação do método RCDD, utilizando como chuva máxima de um dia aquela que ocorreu no dia exato de ocorrência da chuva máxima de 24 horas (pluviográfica). Nesse cenário, há aumento no número de equivalências pelo teste de IM, obtidas pelo método RCDD com cd_e , e redução dos erros obtidos. A equivalência entre a Eq_{PLUG} e a Eq_e aumentou de 1% para 14% dos casos. O EPAM médio passou de 15,41% para 13,17%, com variações entre 5,21% e 38,22%, ou seja, variações menores em relação às obtidas na aplicação do método RCDD original (entre 5,66% e 74,75%). A RQME e o EPE também responderam de forma semelhante ao EPAM em termos de ganho. Já para as Eq_{CETESB} , o número de equivalências pelo teste de IM foi reduzido de 19% para 16% dos casos, e os erros aumentaram em termos médios e em termos de amplitude. A tendência do número de equivalências, pelo teste de equivalência (teste 1:1), foi praticamente a mesma para a Eq_e (11% dos casos) e de redução para a Eq_{CETESB} (5% dos casos). Os resultados dessa reanálise estão na Tabela A4 (anexo).

Isso ocorre porque o $cd_{e24h/dia}$ torna-se mais representativo em termos de relação entre informações pluviográficas e pluviométricas, estima de maneira mais fidedigna a precipitação máxima de 24 horas, sendo isso transmitido às demais transformações. No entanto, a informação da chuva anual mais intensa, com 24 horas de duração, não pode ser obtida via pluviômetro, o que impossibilita o conhecimento a respeito de sua data de ocorrência em locais sem aparelhos pluviógrafos. Ainda, os demais cds podem não representar bem as relações das chuvas de menores durações, uma vez que chuvas de durações menores, normalmente associadas a eventos convectivos, geralmente não ocorrem no mesmo dia da chuva máxima de um dia, normalmente associadas a eventos frontais. Sendo assim, o $cd_{24h/dia}$ não apresenta um elo direto com a natureza de chuvas de curta duração (convectivas).

A Figura 8 mostra os EPAM, RQME e EPE relacionados a cada combinação individual entre t e TR. Assim como esperado, as Eq_{PLUG}

obtiveram o melhor desempenho na estimativa de chuvas intensas devido ao ajuste da equação ser feito com base em dados observados, seguida das Eq_e , desenvolvidas com cd_e , que proporcionam maior similaridade entre a intensidade de chuva estimada e observada.

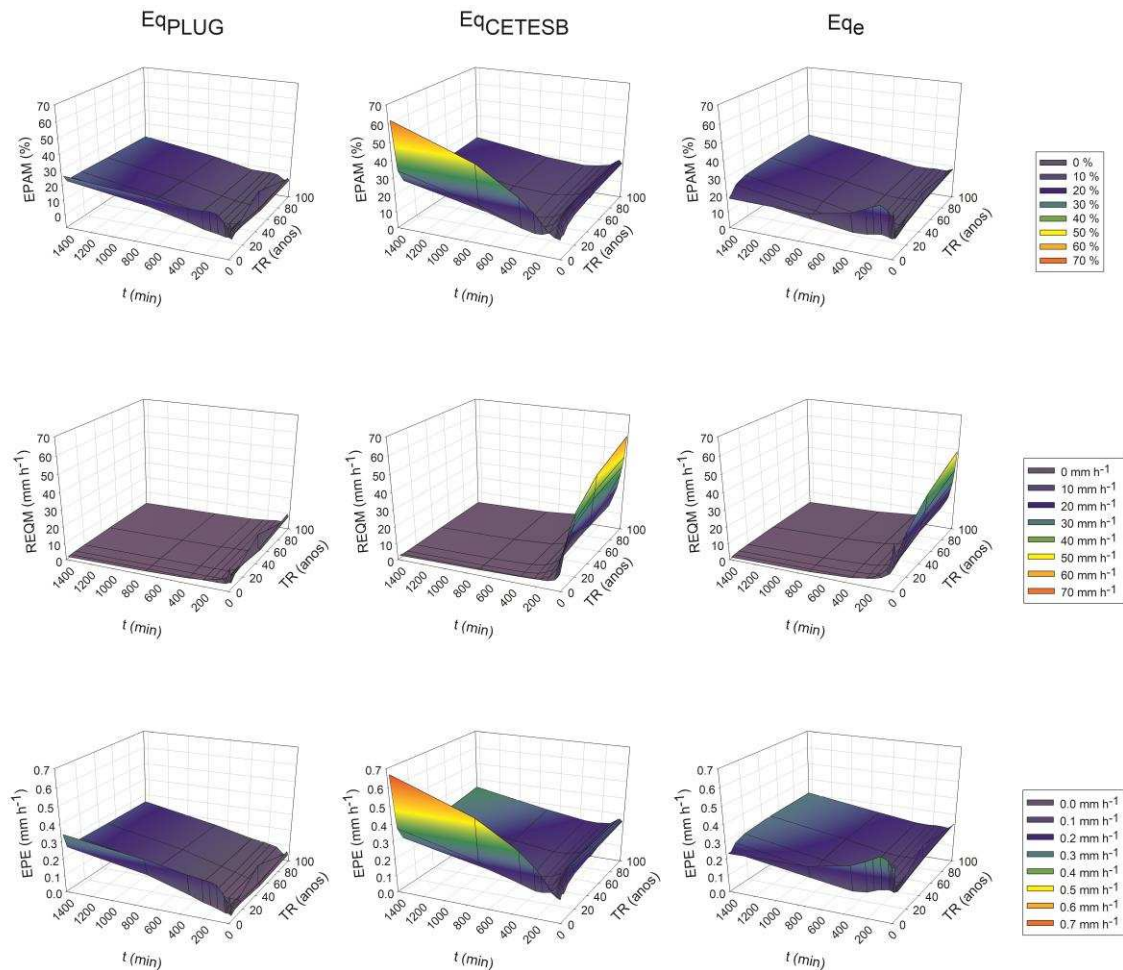


Figura 8. EPAM, REMQ e EPE de cada combinação de período de retorno (TR) e tempo de duração para as equações Eq_{PLUG} , Eq_{CETESB} e Eq_e .

Os comportamentos do EPAM e do EPE foram semelhantes entre si, para cada uma das equações. A Eq_{CETESB} proporcionou os maiores EPAMs e EPEs em chuvas de maiores durações e baixo período de retorno. Já a RQME foi maior em períodos de retorno maiores e em durações menores. Para as Eq_{PLUG} e Eq_e , os maiores valores de EPAM e EPE foram observados nas menores durações de chuvas, com os menores períodos de retorno, enquanto que a RQME foi maior para as menores durações de chuva, associadas a maiores períodos de retorno.

Essa diferença no comportamento dos diferentes índices se deve à forma de cálculo dos mesmos (equações 4.6, 4.7 e 4.8), no qual a RQME constitui a diferença entre os dados observados e estimados, relacionado ao número de observações, enquanto que no EPAM e EPE representa a diferença entre os dados observados e estimados em relação aos próprios dados observados. Eventos de maiores durações apresentam magnitude de i_m menores, em relação a eventos de menores durações, o que contribui para uma menor diferença entre os dados observados e estimados. Sendo assim, os maiores erros de EPAM (em porcentagem) tendem a ser observados em chuvas de alta duração, as quais apresentam menores i_m e uma diferença pequena em termos de magnitude.

A distribuição espacial dos erros de predição absolutos (EPA) das Eq_{PLUG} , Eq_{CETESB} e Eq_e para algumas combinações de t e TR encontram-se na Figura 9 ($t = 10, 120$ e 1440 minutos e $TR = 10$ anos) e na Figura 10 ($t = 10, 120$ e 1440 minutos e $TR = 100$ anos). É perceptível a menor proporção de pontos avermelhados e/ou alaranjados (indicativos de maiores erros) nas Eq_{PLUG} e Eq_e . A Eq_{CETESB} proporcionou os maiores erros para praticamente todas as situações.

Também fica evidente o fato de que nas maiores durações de chuva encontram-se os maiores EPA, devido as menores i_m observadas nessas durações, no qual qualquer pequena diferença em termos de magnitude proporcionam erros em porcentagem de EPA mais relevantes. Quando se compara a mesma duração de chuva, os maiores erros percentuais foram observados para o período de retorno de 100 anos, o que indica que os maiores erros percentuais estão associados a maiores períodos de retorno.

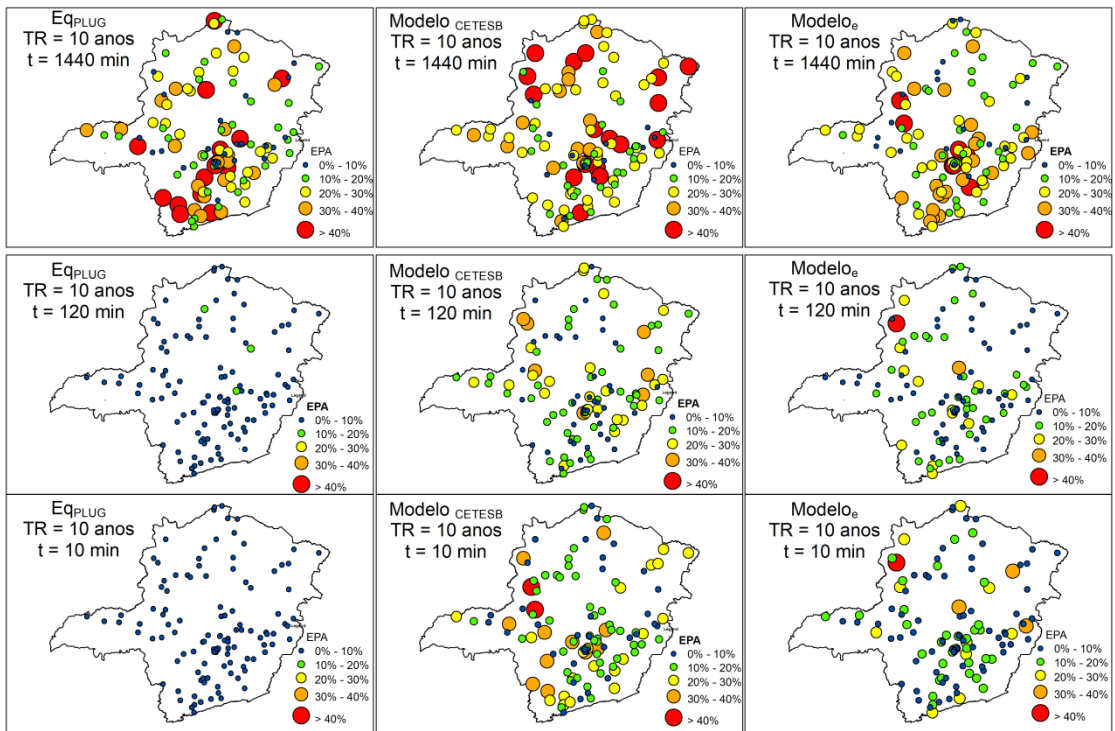


Figura 9. Distribuição espacial do erro de predição absoluto (EPA) obtido pelas equações de chuvas intensas Eq_{PLUG} , Eq_{CETESB} e Eq_e , para o período de retorno de 10 anos e durações de 1440 minutos, 120 minutos e 10 minutos.

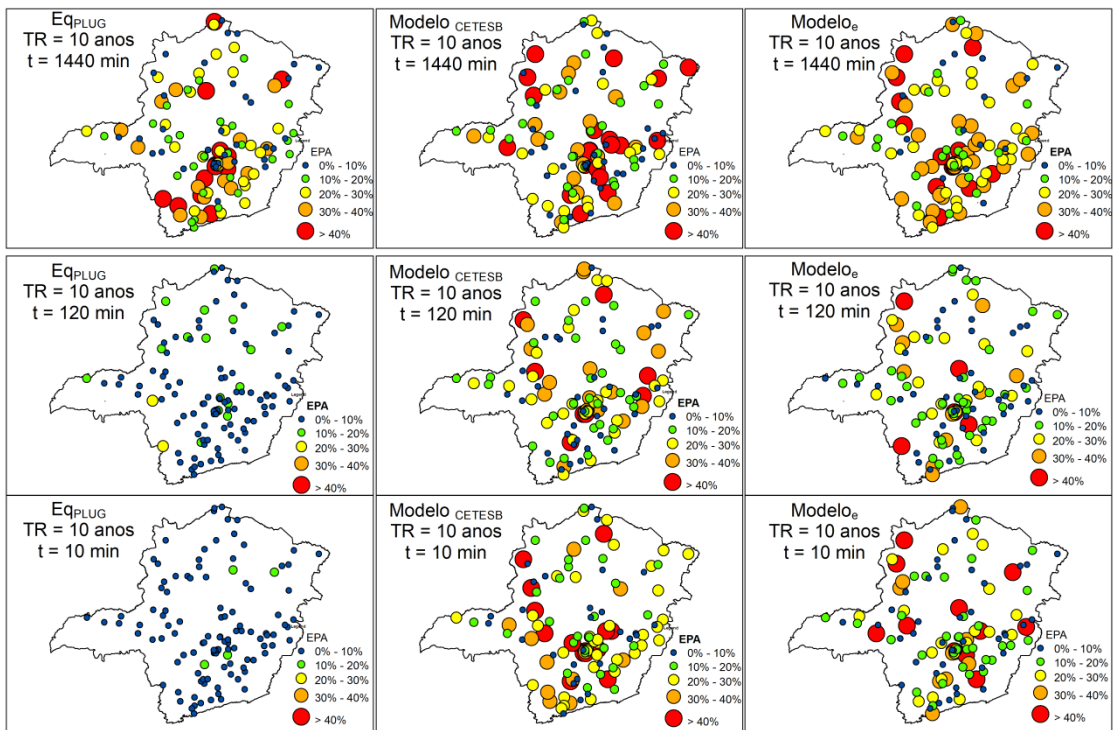


Figura 10. Distribuição espacial do erro de predição absoluto (EPA) obtido pelas equações de chuvas intensas Eq_{PLUG} , Eq_{CETESB} e Eq_e , para o período de retorno de 100 anos e durações de 1440 minutos, 120 minutos e 10 minutos.

Atualmente, existem ferramentas como o software Plúvio 2.1, que fornece equações de chuvas intensas para o estado do Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo, através da interpolação individual de cada um dos parâmetros das equações de chuvas intensas disponíveis. No entanto, essa interpolação gera estimativas de i_m com erros de predição médios consideráveis, entre -200% e 45% (Almeida, 2017). Outros trabalhos que especializaram os parâmetros de chuva, como o desenvolvido no Espírito Santo (Cecílio et al., 2009) e Rio de Janeiro (Braga et al., 2018), encontraram erros entre 14,5 e 60%, muito superiores aos encontrados neste estudo, o que favorece a técnica de desagregação de chuvas.

Recentemente, trabalhos mostraram que a interpolação das i_m , e o posterior estabelecimento dos parâmetros das equações IDF (feito pelo Plúvio 2.1), gera melhores resultados na estimativa das equações de chuvas intensas (Xavier et al., 2014; Almeida, 2017b). Almeida (2017b), aplicando tal metodologia, com a mesma base de dados pluviográficos utilizada neste trabalho, obteve valores médios de EPAM inferiores a 10%. Valores similares foram encontrados no mesmo trabalho para o Espírito Santo e Rio de Janeiro. Para o Espírito Santo, Xavier et al. (2014) encontraram valores médios de EPAM inferiores a 14%. Todos os trabalhos citados, portanto, mostraram EPAM menores que os obtidos no presente estudo. Nesse sentido, a interpolação pode ser a ferramenta mais apropriada na estimativa de chuvas, em relação ao método RCDD.

No entanto, ressalta-se que, em alguns estados brasileiros, a disponibilidade de informações pluviográficas, ou de estações pluviográficas, com possibilidade para análise, tem densidade muito inferior a encontrada no estado de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro (Mello; Silva, 2013), o que poderia influir de maneira negativa na qualidade da interpolação. Outra questão importante é que há variações consideráveis em termos de erros obtidos por diferentes interpoladores, o que exige um esforço na avaliação do melhor método de interpolação (Almeida, 2017).

Convém finalizar ressaltando que a metodologia RCDD apresenta fácil aplicação, o que facilita o desenvolvimento e a disponibilização de equações IDF. Portanto, as metodologias de desagregação de chuvas são importantes ferramentas na estimativa de chuvas intensas e, apesar de não serem

equivalentes aos dados observados, oferecem erros aceitáveis que podem viabilizar a sua utilização. Coeficientes de desagregação específicos tendem a apresentar melhorias ao método de desagregação de chuvas, sendo sua utilização recomendada sempre em situações em que estão disponíveis e não há equações de chuvas intensas advindas de dados pluviográficas na região de interesse. Os coeficientes de desagregação da CETESB (1979), apesar de apresentarem erros de maior magnitude em relação aos coeficientes locais, podem ser utilizados na carência de informações de natureza local. Porém, devido a sua tendência em subestimar as intensidades máximas de chuva, recomenda-se o uso de períodos de retorno mais conservadores, para garantir o suporte da obra hidro-agrícola a ser desenvolvida.

4.4. Conclusões

O método de desagregação de chuvas RCDD não gera equações IDF equivalentes às equações IDF geradas por pluviográficos, seja com a utilização de coeficientes da CETESB (1979) ou com coeficientes específicos. Porém, as equações geradas via método RCDD estimam a i_m que, em relação às i_m observadas, apresentam boa exatidão e precisão, além de erros aceitáveis na estimativa de chuvas intensas. A utilização de coeficientes de desagregação locais deve ser preferida, uma vez que proporciona melhores estimativas de i_m .

O método RCDD é, portanto, uma alternativa para suprir a necessidade de informações de i_m em locais com informações pluviográficas escassa.

5. CONCLUSÕES GERAIS

5.1. Visão Geral da tese

Essa tese de doutorado avaliou o principal método de desagregação de chuvas utilizado no Brasil. O método das relações de chuvas de diferentes durações foi avaliado desde as suas premissas, os resultados que proporciona e a sua viabilidade em termos de utilização.

Foi constatado que a natureza dos dados de precipitação máxima de diferentes durações, utilizados na metodologia, não atende a uma das premissas do método RCDD. Diferentes localidades apresentam diferença nas relações de chuvas intensas, ou seja, nos coeficientes de desagregação (cDs), sendo necessária a modificação do método RCDD. Essa modificação envolve o uso de informações locais ou a partir de regionalização adequada, que realmente contemple as características das chuvas locais e da verificação das tendências e sua influência no desempenho do método, a fim de se obter estimativas mais satisfatórias de chuvas intensas.

O método RCDD não estima chuvas intensas equivalentes às observadas. Apesar disso, os erros proporcionados pelo método são aceitáveis para estimar intensidades máximas de chuvas, o que viabiliza a sua utilização em regiões com poucas informações pluviográficas, seja com os cds propostos pela CETESB (1979) ou com cds específicos. Porém, equações provenientes de dados pluviográficos devem ser preferidas, devido ao melhor desempenho.

O uso de coeficientes de desagregação específico tende a melhorar o desempenho do método RCDD. Esses coeficientes devem ser preferidos, quando disponíveis, em detrimento aos coeficientes de desagregação estabelecidos pela CETESB (1979).

5.2. Conclusões

Conclui-se que os métodos de desagregação são importantes ferramentas para suprir a necessidade de informações sobre chuvas intensas. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados na utilização do método, para incorrer em menores erros de estimativa dessas chuvas.

As estimativas do método RCDD não apresentaram equivalência em relação aos dados observados, seja com o uso de coeficientes de desagregação generalizados ou locais. A análise local deve ser preferida, uma vez que contempla as características particulares das precipitações, que por sua vez, proporcionam ganho na estimativa da intensidade de chuvas.

5.3. Recomendações para pesquisas futuras

Recomenda-se a realização de novos estudos que visem estabelecer relações de chuvas de diferentes durações e equações de chuvas intensas em locais onde essas informações ainda são inexistentes. O desenvolvimento de relações de chuvas intensas de diferentes durações, e de equações de chuvas intensas, com a utilização de séries históricas mais longas em relação as já existentes, pode favorecer o desenvolvimento dos métodos de desagregação de chuvas.

Técnicas de interpolação de dados espaciais podem ser utilizadas para disponibilizar os coeficientes de desagregação em regiões desprovidas de informações dessa natureza. Dessa forma, seria possível desenvolver metodologias de desagregação de chuvas em locais onde há a demanda de informações de chuvas intensas, porém com baixa densidade de estações pluviográficas para fornecer essas informações.

A regionalização dos coeficientes de desagregação também pode favorecer a utilização do método RCDD em termos de aplicabilidade. Para tal, estudos utilizando técnicas de agrupamento para estabelecer regiões homogêneas em termos de chuvas intensas são necessários.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, K.N.; REIS, J.A.T.; MENDONÇA, A.S.F. Emprego dos métodos de Chow Gumbel e Bell para formulação de equações de chuvas intensas – uma avaliação de desempenho. **Ambiente & Água**, v.12; n. 2, p. 203-2014, 2017a.

ALMEIDA, L.T. **Espacialização de chuvas intensas: uma nova proposta** Viçosa, MG: UFV, 2017, 76p. Dissertação de Mestrado – Mestrado em Meteorologia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa, 2017.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

ALVES, A.V.P.; SANTOS, G.B.S.S.; MENEZES FILHO, F.C.M.; SANCHES, L. Análise dos métodos de estimativa para os parâmetros das distribuições de Gumbel e GEV em eventos de precipitações máximas na cidade de Cuiabá-MT. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.6, n.1, p. 32-43, 2013.

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

ÁVILA, L.F.; MELLO, C.R.; Yanagi, S. S.N.M.; SACRAMENTO NETO, O.B. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 4, p.247-256, 2014.

BACK, A.J. Relações Intensidade-Duração-Frequência de chuvas intensas de Chapecó, estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, n. 4, p. 575-581, 2006.

BACK, Á. J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 170–175, 2009.

BACK, A.J. Relações intensidade-duração-frequência de chuvas intensas de Urussanga, SC. **Irriga**, v.15, n. 2, p. 119-130, 2010.

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

BACK, A.J.; POLA, A.C. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações de Videira, Santa Catarina. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 22, p. 125-135, 2016.

BELL, F.C. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. **Journal of the Hydraulics Division**, v. 95, n.1, p. 311-327, 1969.

BELTRAME, L., LANNA, A. L.E., LOUZADA, J. A .S. 1991. **Chuvas Intensas**. Porto Alegre : Instituto de Pesquisa Hidráulica da UFRGS.

BERTONI, J.C., TUCCI, E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M.(Org.). **Hidrologia**. Porto Alegre: EDUSP; (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4), 1993. p. 177-231.

BESCOW, S.; NORTON, L.D.; MELLO, C.R. Hydrological prediction in a tropical watershed dominated by oxisols using distributed hydrological model. **Water Resources Management**, v. 27, p. 341-363, 2013.

BRAGA, R.N.S.; da HORA, M.; LYRA, G.B.; NASCENTES, A.L. Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para a cidade do Rio de Janeiro. **Revista Ambiente e Água**, v.13, n.1, p. 1-14, 2018.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F. & SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. 3 edição. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 120p.

CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C.R.; FARIA, L.C.; SOUZA, M.R.; GUEDES, H.A.S. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental*, v. 19, n.3, p. 203-2015a.

CALDEIRA, T.L.; BESCOW, S. MELLO, C.R.; VARGAS, M.M.; GUEDES, H.A.S.; FARIA, L.C. Daily rainfall disaggregation: na analysis for the Rio Grande do Sul state. **Revista Scientia Agrarian**, n.3, v.16, p.1-21, 2015b.

CAMARGO, A.P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

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

CAMPOS, A.R.; SANTOS, G.G.; ANJOS, J.C.R.; ZAMBONI, D.C.S; 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.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise De Chuvas Intensas a Partir Da Desagregação Das Chuvas Diárias De Lages E De Campos Novos (Sc). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 131–140, 1998.

CARDOSO, C. O.; BERTOL, I.; SOCCOL, O. J.; SAMPAIO, C.A.P. Generation of Intensity Duration Frequency Curves and Intensity Temporal Variability Pattern of Intense Rainfall for Lages/SC. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 57, n. 2, p. 274-283, 2014.

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

CECÍLIO, R.A.; XAVIER, A.C.; PRUSKI, F.F.; HOLLANDA, M.P.; PEZZOPANE, J.E.M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.4, n.3, p.82-92, 2009.

CHEN, C. Rainfall Intensity – duration – frequency formulas. **Journal of Hydraulic Engineering** – ASCE, v. 109, n. 12 p. 21, 1983.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986. 452 p.

CUNHA, P.C.R.; NASCIMENTO, J.L.; SILVEIRA, P.M.; ALVES JUNIOR, J. Eficiência de métodos para o calculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da evapotranspiração de referência. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.2, p. 114-122, 2013.

DAMÉ, R.C.F. **Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência**. 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-freqüência para Pelotas – RS. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, 2008.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S.; ROSSKOFF, J.L.C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 46–54, 2010.

DAMÉ, R.C.F.; GANDRA-TEIXEIRA, C.F.A.; VILLELA, F.A.; SANTOS, J.P.; WINKLER, A.S. Analysis of the relationship intensity, duration, frequency of disaggregated daily rainfall in southern rio grande do sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 660-670, 2014.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA-GANDRA, C.F.A.; GUEDES, H.A.S.; SILVA, G.M.; SILVEIRA, S.C.R. Intensity-duration-frequency relationships: stochastic modeling and disaggregation of daily rainfall in the Lagoa Mirim watershed, rio grande do sul, brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 3, p. 492-502, 2016.

DENARDIN, J.; FREITAS, P. L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 10, p. 1409-1416, 1982.

DUPONT, B.S., ALLEN, D.L. **Revision of the Rainfall Intensity Duration Curves for the Commonwealth of Kentucky**. Kentucky Transportation Center, College of Engineering, University of Kentucky, USA, 2000, 47p.

ELSEBALE, I.H. Developing rainfall intensity-duration-frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. **Engineering Sciences**, n. 24, p. 131-140, 2012.

DELLACORT, R; MARTINS, J.A.; INOUE, M.H.; FREITAS, P.L.; COLETTI, A.J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n.2, p. 193-200, 2011.

DENARDIN, J.L., FREITAS, P.L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.17, n.10, p.1409-1416, 1982.

FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná**. Curitiba: Gráfica Vicentina Editora, 2011.

FRANCO, C.S.; MARQUES, R.F.P.V.; OLIVEIRA, A.S.; OLIVEIRA, L.F.C. 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. 735–735, 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.

GENOVEZ, A. M.; R. C. F. PEGORARO. Análise e avaliação de equações de chuvas Intensas generalizadas. **XVIII Congresso Latinoamericano de Hidráulica**, IAHR, Oaxaca, México, v. 1, p. 369-79, 1998.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas intensas no Estado de São Paulo: estudos existentes e análise comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 45–58, 2000.

HERNANDEZ, V. “**Ainda as equações de chuvas intensas - pode-se generalizar?**” IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, p. 193-203, 1991.

HOPKINS, W. G. Correlation coefficient: a new view of statistics. 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015. Pesquisa Nacional por amostra de domicílios – 2015. Rio de Janeiro:IBGE. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98887.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2017.

JUNQUEIRA JUNIOR, J.A.; GOMES, N.M.; MELLO, C.R.; SILVA, A.M. Precipitação provável para a região de Madre de Deus, Alto Rio Grande: modelos de probabilidades e valores característicos. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.3, p. 842-850, 2007.

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

KOUTSOYIANNIS, D.; KOZONIS, D.; MANETAS, A. A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. **Journal of Hidrology**, n. 206, p.118-135, 1998.

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.

MAIA, E.; SIQUEIRA, D.L.; SILVA, F.F.; PATERNELLI, L.A.; SALOMÃO, L.C.C. Método de comparação de modelos de regressão não lineares em bananeiras. **Ciência Rural**, v.39, n.5, p.1380-1386, 2009.

MARQUES, R.F.P.V.; MELLO, C.R.; SILVA, A.M.; FRANCO, C.S.; OLIVEIRA, A.S. Performance of the probability distribution models applied to heavy rainfall daily events. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, n. 4, p. 335-342, 2014.

MELLO, C.R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:925-933, 2003a.

MELLO, C. R.; SILVA, A.M.; LIMA, J.M.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, M.S. 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, 2003b.

MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C.; CURI, N.; MELLO, J.M.; VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. Erosividade mensal e anual da chuva no estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MELLO, C.R.; SILVA, A.M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 68-74, 2008.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 455p.

MELLO, C.R; VIOLA, M.R. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 44, 2012.

MILANESI, M.A.; GALVANI, E. Efeito orográfico na ilha de São Sebastião (Ilhabela – SP). **Revista Brasileira de Climatologia**, n.9, p.68-79, 2011.

MORUZZI, R.B.; OLIVEIRA, S.C. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: método e aplicação. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 13, p. 59-68, 2009.

MUKAKA, M.M. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

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

OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; BARBOSA, F.O.A.; ROMÃO, P.A.; CARVALHO, D.F. Estimativa Das Equações De Chuvas Intensas Para Algumas Localidades No Estado De Goiás Pelo Método Da Desagregação De Chuvas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 30, n. 1, p. 23–27, 2000.

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

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

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

OLIVEIRA, L.F.C.; FIOREZE, A.P.; MEDEIROS, A.M.M.; SILVA, M.A.S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p. 1186-1192, 2010.

OLIVEIRA, E.A. **Métodos para análise de concordância: estudo de simulação e aplicação a dados de evapotranspiração**. Piracicaba, SP: Esalq-USP, 2016, 177p. Tese de Doutorado – Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica - Universidade de São Paulo, 2016.

OSBORN, H.B., LANE, L.J., MYERS, V.A. Rainfall watershed relationships for southwestern thunderstorms . **Transactions of the ASAE**, Michigan, USA, v.23, n.1, p.82-87, 1980.

PENNER, G.C.; LIMA, M.P. Comparação entre métodos de determinação da equação de chuvas intensas para a cidade de Ribeirão Preto. **Geociências**, v.35, n.4, p.542-559, 2016.

PEREIRA, S.B.; FIETZ, C.R.; PEIXOTO, P.P.P; SOBRINHO, T.A.; SANTOS, F.M. **Equação de intensidade, duração e frequência da precipitação para a região de dourados, MS**: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 44, EMBRAPA, 2007, 18p. Disponível em: <<http://www.cpao.embrapa.br/publicacoes>>. Acesso em: 1 de jun. 2012.

PEREIRA, S.B.; NÓIA, C.P.Z.; ALMEIDA, R.A.; COELHO, C.D. Method adjustment and equation set of maximum rainfall intensity, duration and frequency in the Mato Grosso do Sul State. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 716-726, 2014.

- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba, Ed. FEALQ, 1985. 451p.
- PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas; DNOS, 1957. 420p.
- PINTO, F.A. **Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos**. Viçosa, MG: UFV, 1995, 87p. Tese de Doutorado – Doutorado em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- PINTO, F.R.L. **Equações de intensidade-duração-freqüência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo: Estimativa e especialização**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 70p. Dissertação Mestrado.
- POSSAS, J.M.C.; CORREA, M.M.; MOURA, G.B.A.; LOPES, P.M.O.; CALDAS, A.M.; FONTES JUNIOR, R.V.P. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso no estado de **Pernambuco**. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 993–998, 2012.
- PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.2/3, p.247-253, 2004.
- PRUSKI, F.F. **Conservação de solo e água – Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa:Ed. UFV, 2013. 279p.
- PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D. **Escoamento Superficial**. Viçosa:Ed. UFV, 2014.
- REGAZZI, A.J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear. **Revista Ceres**, v.50, n. 287, p. 9-26, 2003.
- RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840p.
- ROBAINA, A.D.; PEITER, M.X. Modelo de desagregação e de geração de chuvas intensas no RS. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 21.; SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, 1., 1992, Santa Maria. Anais... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p.746 53.
- SAMPAIO, M.V. **Especialização dos coeficientes das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do rio grande do sul**. Santa Maria, RS: UFSM, 2011, 156p. Tese de doutorado – Doutorado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- SANTOS, G.G.; FIGUEIREDO, C.C.; OLIVEIRA, L.F.C.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-freqüência de chuvas para o estado de Mato grosso do

Sul. **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, suplemento, p. 899–905, 2009.

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

SANTOS, G.G.; GRIEBELER, N.P.; OLIVEIRA, L.F.C.; Chuvvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n.2, p. 115–123, 2010.

SENN, R. S.; XAVIER, A. C.; LIMA, J. S. S.; CECÍLIO, R. A. Metodologias para estimativa dos parâmetros da equação de chuvas intensas no estado do Espírito Santo. **Engenharia na Agricultura**, v. 18, p. 496-503, 2010.

SILVA, D.D.; VALVERDE, A.E.; PRUSKI, F.F.; GONÇALVES, R.A.B. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o estado São Paulo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 7, n.2, p. 70-87, 1999.

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

SILVA, D.D.; PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; GOMES FILHO, R.R.; LANA, A.M.Q.; BAENA, L.G.N. Equações de intensidade-duração-freqüência da precipitação pluvial para o estado de Tocantins. **Engenharia na Agricultura - Viçosa** v. 11, n. 31, p. 7–14 , 2003.

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

SILVA, C.B.; OLIVEIRA, L.F.C. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas extremas na região nordeste do Brasil. **Revista brasileira de Climatologia**, v. 20, p. 267-283, 2017.

SILVA NETO, V.L.; VIOLA, M.R.; SILVA, D.D.; PEREIRA, S.B.; GIONGO, M. Desagregação de chuvas diárias para o estado do Tocantins. **Ambiente e Água**, v. 12, n. 4, p. 605-617, 2017.

SO, B.J.; KIM, J.Y.; KNOW, H.H.; LIMA, C.H.R. Stochastic Extreme Downscaling Model for an Assessment of Changes in Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curves over South Korea using Multiple Regional Climate Models. **Journal of Hydrology**, v. 553, p. 321-337, 2017.

SOUZA, R. O. R. D. M.; SCARAMUSSA, P.H.M.; AMARAL, M.A.C.; PEREIRA NETO, J.A.; PANJOTA, A.V.; SEDEKCK, 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, I.L.S.; AMORÍM, R.S.S.; TORRES, G.N. Calibração do modelo de Bell para estimativa de chuvas intensas para sete estações meteorológicas de Mato Grosso. **Geografia**, v.41, n.3, p.429-446, 2016.

SVENSSON, C.; CLARKE, R.T.; JONES, D.A. An experimental comparison of methods for estimating rainfall intensity-duration-frequency relations from fragmentary records. **Journal of Hydrology**, n. 341, p. 79-89, 2007.

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.

TESTIK, F.Y.; GEBRENICHAEL, M. **Rainfall: State of the Science**; American Geophysical Union: Washington, DC, USA, 2013.

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

VALVERDE, A.E.; LEITE, H.G.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. Momentos-L: teoria e aplicação em hidrologia. *Revista Árvore*, v.28, n.6, p. 927-933, 2004.

VIANELLO, R. L. e ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2012, 460 p.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1975. 245p.

WAGESHO, N.; CLAIRE, M. Analysis of rainfall intensity-duration-frequency relationship for Rwanda. **Journal of Water Resource and Protection**, n. 8, p. 706-723, 2016.

WMO. **Guide to hydrological practices**, World Meteorological Organization, n.68, v.1, 2008, 296p.

XAVIER, A. C.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; LIMA, J. S. S. Methodology for spatialization of intense rainfall equation parameters. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.3, p.485-495, maio/jun. 2014.

7. ANEXOS

Tabela A1. Estações utilizadas em cada análise, localização, período e número de anos analisados

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Arinos	1546000	15° 54' 53"	46° 06' 24"	1981-1993	13	ANA	SIM	NÃO
Buritis	1546001	15° 36' 58"	46° 24' 49"	1980-1989 1991-1993 1999	14	ANA	SIM	SIM
Fazenda Limeira	1647008	16° 22' 32"	47° 13' 57"	1982-1989 1994-1997 1999	13	ANA	SIM	NÃO
Fazenda o Resfriado	1646004	16° 30' 08"	46° 39' 41"	1982-1990 1993-1999	16	ANA ANA	SIM	NÃO
Porto dos Porções	1646000	16° 49' 47"	46° 19' 20"	1981-1986 1988-1990 1993-1999	17	ANA	SIM	NÃO
Porto Extrema	1746001	17° 01' 29"	46° 00' 45"	1975 1978-1999	23	ANA	SIM	SIM
Santa Rosa	1746002	17° 15' 17"	46° 28' 30"	1975-1986 1988-1999 1994-1999	24	ANA	SIM	SIM

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Santo Antônio do Boqueirão	1646003	16° 31' 45"	46° 43' 23"	1981-1990	16	ANA	SIM	SIM
				1994-1999				
				1975-1986				
Unai	1646001	16° 21' 05"	46° 53' 23"	1988-1989	15	ANA	SIM	SIM
				1999				
Cachoeira da Manteiga	1645009	16° 39' 25"	45° 04' 51"	1981-1999	19	ANA	SIM	SIM
Cachoeira do Paredão	1745001	17° 06' 40"	45° 26' 16"	1982-1999	18	ANA	SIM	SIM
Capitânea	1444001	14° 25' 23"	44° 29' 01"	1981-1986	18	ANA	SIM	SIM
				1988-1999				
Carinhanha (BA)	1443002	14° 18' 16"	43° 46' 05"	1981-1986	17	ANA	SIM	NÃO
				1989-1999				
Fazenda Porto Alegre (BA)	1444017	14° 16' 60"	44° 31' 18"	1981-1986	18	ANA	SIM	NÃO
				1988-1999				
Juvenília	1444004	14° 15' 46"	44° 09' 39"	1981-1986	18	ANA	SIM	SIM
				1988-1999				
Manga	1443001	14° 45' 24"	43° 55' 56"	1976-1999	24	ANA	SIM	SIM
Pedra de Maria da Cruz	1544017	15° 36' 02"	44° 23' 45"	1981-1990	17	ANA	SIM	SIM
				1993-1999				
Porto do Cavalo	1745007	17° 01' 37"	45° 32' 26"	1978-1999	22	ANA	SIM	SIM

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
São Francisco	1544012	15° 56' 58"	44° 52' 05"	1980-1999	20	ANA	SIM	SIM
São Gonçalo	1444000	14° 18' 49"	44° 27' 37"	1976-1986 1988-1999	23	ANA	SIM	SIM
São Romão	1645000	16° 22' 18"	45° 04' 58"	1978-1986 1988-1999	22	ANA	SIM	SIM
Boca da Caatinga	1443000	14° 47' 11"	43° 33' 05"	1978-1986 1988 1990-1999	20	ANA	SIM	SIM
Capitão Enéias	1643020	16° 19' 20"	43° 42' 54"	1978-1990 1993-1999	20	ANA	SIM	SIM
Colônia do Jaíba	1543002	15° 20' 28"	43° 40' 31"	1978-1986 1988-1990 1993-1999	19	ANA	SIM	SIM
Fazenda Correntes	1744034	17° 14' 20"	44° 27' 17"	1987-1993 1997 1976-1986	8	ANA	SIM	SIM
Janaúba	1543013	15° 46' 32"	43° 16' 47"	1988-1989 1991-1999	22	ANA	SIM	SIM
Santo Hipólito	1844001	18° 18' 00"	44° 13' 22"	1978 1980-1999	21	ANA	SIM	SIM
Canoeiros	1845021	18° 02' 18"	45° 31' 25"	1974-1999	26	ANA	SIM	NÃO

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Lagoa do Gouveia	1845004	18° 50' 29"	45° 51' 05"	1975-1986 1988-1999	24	ANA	SIM	SIM
Pium-Hi	2045012	20° 27' 43"	45° 56' 42"	1975-1985 1987-1995 1997-1999	23	ANA	SIM	SIM
Ponte BR-040 (Paracatu)	1746007	17° 29' 53"	46° 34' 51"	1981-1986 1988-1999	18	ANA	SIM	SIM
Ponte BR-040 (Rio Prata)	1746006	17° 39' 37"	46° 21' 47"	1978-1986 1988-1999	21	ANA	SIM	SIM
Presidente Olegário	1846005	18° 24' 45"	46° 25' 19"	1974-1999	26	ANA	SIM	SIM
São Gotardo	1946009	19° 18' 55"	46° 02' 40"	1974-1999	26	ANA	SIM	SIM
Caeté	1943010	19° 54' 02"	43° 40' 03"	1975-1986 1988-1999	24	ANA	SIM	SIM
Gouveia	1843002	18° 27' 56"	43° 44' 35"	1974-1986 1988-1999	25	ANA	SIM	SIM
Papagaios	1944049	19° 25' 42"	44° 43' 11"	1975-1999	25	ANA	SIM	SIM
Pedro Leopoldo	1944009	19° 38' 04"	44° 03' 12"	1987-1999	13	ANA	SIM	SIM
Pitangui	1944032	19° 41' 04"	44° 52' 44"	1974-1985 1987-1999	25	ANA	SIM	SIM

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Ponte Raul Soares	1943049	19° 33' 41"	43° 55' 04"	1980-1996 1998	18	ANA	SIM	SIM
Presidente Juscelino	1844009	18° 38' 38"	44° 02' 53"	1978-1986 1988-1999	22	ANA	SIM	SIM
Vau da Lagoa	1943035	19° 13' 08"	43° 35' 17"	1976-1986 1988-1999	23	ANA	SIM	SIM
Velho da Taipa	1944021	19° 41' 46"	44° 55' 46"	1980-1986 1989-1999	18	ANA	SIM	SIM
Vespasiano	1943009	19° 41' 14"	43° 55' 15"	1973-1986 1988-1992 1994-1999	27	ANA	SIM	SIM
Caixa de Areia	1943022	19° 56' 42"	43° 54' 45"	1975-1999	25	ANA	SIM	SIM
Carmo da Mata	2044042	20° 33' 45"	44° 52' 03"	1975-1986 1988-1999	24	ANA	SIM	SIM
Congonhas	2043013	20° 31' 19"	43° 49' 48"	1973-1999	27	ANA	SIM	SIM
Entre Rios de Minas	2044007	20° 39' 40"	44° 04' 14"	1973-1999	27	ANA	SIM	SIM
Iguatama	2045002	20° 10' 44"	45° 42' 01"	1981-1986 1988-1999	18	ANA	SIM	SIM
Lagoa Grande	2043002	20° 10' 45"	43° 56' 34"	1985-1999	15	ANA	SIM	SIM
Santo Antônio do Monte	2045013	20° 05' 04"	45° 17' 48"	1974-1999	26	ANA	SIM	SIM

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Fazenda Laranjeiras	2044041	20° 06' 08"	44° 29' 05"	1991-1999	9	ANA	SIM	SIM
Fazenda Santa Rita	1944062	19° 58' 58"	44° 29' 32"	1988-1999	12	ANA	SIM	SIM
Jardim	2044052	20° 02' 42"	44° 24' 28"	1982-1999 1980-1983	18	ANA	SIM	SIM
Juatuba	1944027	19° 57' 20"	44° 20' 04"	1986-1990 1993-1999	16	ANA	SIM	SIM
Mateus Leme	1944048	19° 59' 30"	44° 25' 26"	1981-1982 1986-1999	16	ANA	SIM	SIM
Serra Azul	2044054	20° 05' 12"	44° 25' 38"	1987-1999	13	ANA	SIM	SIM
Cristina	2245065	22° 12' 39"	45° 16' 02"	1975-1986 1988-1999	24	ANA	SIM	SIM
Delfim Moreira	2245064	22° 31' 00"	45° 17' 00"	1974-1992 1994-1999	25	ANA	SIM	SIM
Ibituruna	2144023	21° 08' 37"	44° 44' 19"	1974-1986 1988-1998	24	ANA	SIM	SIM
Itumirim	2144005	21° 19' 16"	44° 52' 23"	1973-1999	27	ANA	SIM	SIM
Macaia	2144026	21° 08' 42"	44° 54' 49"	1973-1991 1995-1999	24	ANA	SIM	SIM
Maria da Fé	2245088	22° 19' 04"	45° 22' 04"	1974-1999	26	ANA	SIM	SIM
Santana do Jacaré	2045004	20° 54' 18"	45° 07' 30"	1973-1986 1988-1999	26	ANA	SIM	SIM
Silvianópolis	2245089	22° 02' 03"	45° 50' 00"	1974-1999	26	ANA	SIM	SIM

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Aiuruoca	2144018	21° 58' 47"	44° 36' 09"	1974-1999	26	ANA	SIM	SIM
Andrelândia	2144019	21° 44' 19"	44° 18' 21"	1975-1986 1988-1999	24	ANA	SIM	SIM
Bom Jardim de Minas	2144001	21° 56' 52"	44° 11' 37"	1975-1999 1976-1986	25	ANA	SIM	SIM
Carandaí	2043018	20° 57' 21"	43° 48' 03"	1988-1990 1993-1999	21	ANA	SIM	NÃO
Fazenda Juca Casemiro	2145008	21° 52' 12"	45° 15' 44"	1973-1986 1989-1999	25	ANA ANA	SIM	SIM
Madre de Deus de Minas	2144007	21° 29' 03"	44° 19' 36"	1975-1986 1988-1999	24	ANA	SIM	SIM
Monte Alegre de Minas	1848000	18° 52' 20"	48° 52' 10"	1975-1986 1988-1999	24	ANA	SIM	SIM
Araguari	1848010	18° 38' 00"	48° 12' 00"	1974-1986 1988-1999	25	ANA	SIM	SIM
Carmo do Paranaíba	1846001	19° 00' 12"	46° 18' 22"	1974-1999	26	ANA	SIM	SIM
Fazenda São Mateus	1946007	19° 31' 00"	46° 34' 16"	1973-1986 1988-1999	26	ANA	SIM	SIM

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Santa Juliana	1947001	19° 18' 57"	47° 31' 34"	1975-1986 1988-1999	24	ANA	SIM	SIM
Serra do Salitre	1946008	19° 06' 46"	46° 41' 18"	1974-1999	26	ANA	SIM	NÃO
Muzambinho	2146030	21° 22' 50"	46° 31' 08"	1990-1998	9	ANA	SIM	SIM
Acaiaca	2043009	20° 21' 45"	43° 08' 38"	1973-1986 1988-1999	26	ANA	SIM	SIM
Brás Pires	2043026	20° 50' 51"	43° 14' 31"	1974-1991 1994-1999	24	ANA	SIM	SIM
Cachoeira dos Óculos	1942031	19° 48' 57"	42° 28' 37"	1986-1999	14	ANA	SIM	SIM
Desterro de Melo	2143003	21° 08' 57"	43° 31' 12"	1976-1986 1988-1999	23	ANA	SIM	SIM
Fazenda Três Marias	2042033	20° 01' 00"	42° 34' 00"	1986-1987 1989-1999	13	ANA	SIM	NÃO
Piranga	2043010	20° 41' 26"	43° 17' 58"	1975-1999	25	ANA	SIM	SIM
Ponte Nova	2042018	20° 23' 05"	42° 54' 10"	1974-1986 1988-1999	25	ANA	SIM	SIM
Raul Soares	2042008	20° 06' 13"	42° 26' 24"	1973-1986 1988-1999	26	ANA	SIM	SIM
Itamaraju (BA)	1739005	17° 02' 43"	39° 32' 37"	1975-1986 1988-1999	24	ANA	SIM	NÃO
Cenibra	1942030	19° 18' 59"	42° 23' 46"	1987-1999	13	ANA	SIM	SIM
Conceição do Mato Dentro	1943002	19° 01' 00"	43° 26' 39"	1973-1999	27	ANA	SIM	SIM

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Ferros	1943003	19° 15' 01"	43° 00' 52"	1972 1974-1999	27	ANA	SIM	SIM
Morro do Pilar	1943025	19° 13' 03"	43° 22' 27"	1974-1999	26	ANA	SIM	SIM
Mucuri	1741001	17° 35' 47"	41° 29' 34"	1973-1999	27	ANA	SIM	SIM
Naque Velho	1942032	19° 11' 19"	42° 25' 22"	1986-1999	14	ANA	SIM	NÃO
Vila Matias	1841001	18° 34' 29"	41° 55' 04"	1973-1986	14	ANA	SIM	SIM
Aracê (ES)	2041020	20° 22' 00"	41° 03' 40"	1976-1986 1988-1999	23	ANA	SIM	NÃO
Caldeirão (ES)	1940020	19° 57' 18"	40° 44' 30"	1976-1999	24	ANA	SIM	NÃO
Santa Cruz do Caparaó (ES)	2041017	20° 19' 22"	41° 42' 15"	1975-1986 1988-1999	24	ANA	SIM	NÃO
Alto Rio Novo (ES)	1941012	19° 03' 33"	41° 01' 39"	1976-1986 1988-1999	23	ANA	SIM	NÃO
Cedrolândia (ES)	1840010	18° 48' 53"	40° 41' 27"	1976-1999	24	ANA	SIM	NÃO
Colatina (ES)	1940006	19° 32' 00"	40° 38' 45"	1976-1986	11	ANA	SIM	NÃO
Córrego da Boa Esperança (ES)	1840019	18° 42' 00"	40° 26' 30"	1976-1986 1988-1999	23	ANA	SIM	NÃO
Pancas (ES)	1940009	19° 13' 13"	40° 51' 12"	1976-1999	24	ANA	SIM	NÃO

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Assaraí	1941006	19° 35' 35"	41° 27' 23"	1973-1999	27	ANA	SIM	SIM
Barra do Cuité	1941005	19° 03' 42"	41° 31' 58"	1974-1999	26	ANA	SIM	SIM
Central de Minas	1841018	18° 45' 47"	41° 18' 30"	1976-1999 1973-1986	24	ANA	SIM	NÃO
Dom Cavati	1942008	19° 22' 23"	42° 06' 16"	1988 1991-1999	24	ANA	SIM	SIM
Ecoporanga (ES)	1840013	18° 21' 57"	40° 50' 26"	1976-1995 1997-1999	23	ANA	SIM	NÃO
Patrimônio Santa Luzia do Norte (ES)	1840015	18° 12' 21"	40° 36' 15"	1976-1999	24	ANA	SIM	NÃO
Tumiritinga	1841011	18° 58' 35"	41° 38' 25"	1974-1999 1973-1986	26	ANA	SIM	SIM
Itaobim	1641001	16° 34' 06"	41° 30' 11"	1988-1999	26	ANA	SIM	SIM
Itapebi (BA)	1539006	15° 56' 54"	39° 31' 26"	1975-1999	25	ANA	SIM	NÃO
Jacinto	1640000	16° 08' 19"	40° 17' 25"	1973-1980 1982-1999	26	ANA	SIM	SIM
Carbonita	1742008	17° 31' 57"	43° 00' 44"	1973-1986 1992-1999	22	ANA	SIM	SIM
Itinga	1641010	16° 37' 05"	41° 46' 03"	1977-1999	23	ANA	SIM	SIM
Mendanha	1843003	18° 06' 48"	43° 31' 13"	1973-1999	27	ANA	SIM	NÃO
Vila Terra Branca	1743002	17° 18' 46"	43° 12' 28"	1974-1986 1988-1999	25	ANA	SIM	SIM

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Acesita	1942009	19° 32' 00"	42° 38' 00"	1974-1985	12	ANA	SIM	SIM
Barra do Escuro	1645010	16° 17' 00"	45° 14' 00"	1978-1987	10	ANA	SIM	SIM
Barra do Jequitaiá	1744020	17 04'00"	44° 48' 00"	1980-1989	10	ANA	SIM	SIM
Cachoeira Escura	1942001	19° 23' 00"	42° 22' 00"	1973-1987	15	ANA	SIM	SIM
Pedreira	2044018	20° 02' 08"	44° 23' 12"	1979-1982 1984-1987	8	ANA	SIM	NÃO
Queiroz	2044049	20° 01' 50"	44° 24' 46"	1971-1979	9	ANA	SIM	SIM
Sete Lagoas	1944029	19° 27' 00"	44° 14' 00"	1972-1980	9	ANA	SIM	SIM
Aimorés	1941017	19° 29' 00"	41° 04' 00"	1983-1999 1986-1991	16	INMET	SIM	NÃO
Araçuaí	1642000	16° 52' 00"	42° 04' 00"	1994-1996 1999	10	INMET	SIM	SIM
Araxá	1946015	19° 34' 00"	46° 56' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	SIM
Arinos	1546008	15° 54' 00"	46° 03' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	NÃO
Bambuí	2045023	20° 00' 00"	45° 59' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	NÃO
Barbacena	2143055	21° 15' 00"	43° 46' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	NÃO
Belo Horizonte (309)	1943063	19° 56' 00"	43° 56' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	NÃO
Caldas		21° 55' 00"	46° 23' 00"	1988-1999 1986-1988	12	INMET	SIM	NÃO
Caparaó	2041044	20° 31' 00"	41° 52' 00"	1990-1999	13	INMET	SIM	NÃO
Capinópolis	1849017	18° 41' 00"	49° 34' 00"	1982-1999	18	INMET	SIM	SIM
Caratinga	1942021	19° 48' 00"	42° 09' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	SIM
Caxambu	2144036	21° 59' 00"	44° 57' 00"	1984-1999	16	INMET	SIM	NÃO

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Conceição do Mato Dentro	1943059	19° 02' 00"	43° 26' 00"	1986-1999	14	INMET	SIM	SIM
Coronel Pacheco	2143061	21° 33' 00"	43° 15' 00"	1991-1999	9	INMET	SIM	SIM
Diamantina	1843009	18° 15' 00"	43° 36' 00"	1986-1999	14	INMET	SIM	NÃO
Espinosa	1442025	14° 56' 00"	42° 49' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	NÃO
Florestal	1944051	19° 52' 00"	44° 25' 00"	1986-1999	14	INMET	SIM	NÃO
Formoso	1446003	14° 56' 00"	46° 15' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	NÃO
Governador Valadares	1841015	18° 51' 00"	41° 56' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	NÃO
Ituiutaba	1849020	18° 58' 00"	49° 21' 00"	1986-1999	14	INMET	SIM	NÃO
Itamarandiba	1742016	17° 51' 00"	42° 51' 00"	1986-1999	14	INMET	SIM	NÃO
				1980-1983				
Januária	1544006	15° 29' 00"	44° 22' 00"	1986-1995	16	INMET	SIM	NÃO
				1998-1999				
João Pinheiro	1746012	17° 42' 00"	46° 10' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	NÃO
				1986-1995				
Juiz de Fora	2143056	21° 46' 00"	43° 21' 00"	1997-1999	13	INMET	SIM	NÃO
Juramento	1643024	16° 47' 00"	43° 43' 00"	1987-1999	13	INMET	SIM	SIM
Lavras	2145036	21° 14' 00"	45° 00' 00"	1981-1999	19	INMET	SIM	SIM
Machado	2145033	21° 40' 00"	45° 55' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	SIM
Mocimbinho	1544029	15° 03' 00"	44° 01' 00"	1986-1995	13	INMET	SIM	NÃO
				1997-1999				
Montes Claros	1643009	16° 43' 00"	43° 52' 00"	1982-1999	18	INMET	SIM	NÃO
Paracatu	1746013	17° 13' 00"	46° 52' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	NÃO

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
Patos de Minas	1846018	18° 36' 00"	46° 31' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	NÃO
Pedra Azul	1641008	16° 00' 00"	41° 17' 00"	1983-1999	17	INMET	SIM	SIM
Pirapora	1744025	17° 21' 00"	44° 57' 00"	1982-1999	18	INMET	SIM	NÃO
Pompeu	1945022	19° 13' 00"	45° 00' 00"	1986-1999	14	INMET	SIM	NÃO
Salinas	1642019	16° 10' 00"	42° 17' 00"	1982-1999	18	INMET	SIM	NÃO
São João Del Rey	2144032	21° 08' 00"	44° 16' 00"	1986-1992 1994-1999	13	INMET	SIM	NÃO
São Lourenço	2245107	22° 06' 00"	45° 01' 00"	1986-1999	14	INMET	SIM	SIM
Bonfim	2044046	20° 20' 00"	44° 15' 00"	1977-1999	23	CEMIG	SIM	NÃO
Capim Branco	1848013	18° 45' 00"	48° 16' 00"	1978-1999	22	CEMIG	SIM	NÃO
Coromandel	1847014	18° 28' 00"	47° 12' 00"	1975-1999	25	CEMIG	SIM	NÃO
Emborcação	1847041	18° 28' 00"	47° 50' 00"	1980-1999	20	CEMIG	SIM	NÃO
Fazenda Buritis II	1747002	17° 25' 00"	47° 31' 00"	1976-1999	24	CEMIG	SIM	NÃO
Fazenda das Pedras	1845026	18° 00' 00"	45° 06' 00"	1981-1999	19	CEMIG	SIM	NÃO
Grão Mogol	1642029	16° 34' 00"	42° 54' 00"	1986-1998	13	CEMIG	SIM	NÃO
Luz	1945012	19° 49' 00"	45° 42' 00"	1975-1999	25	CEMIG	SIM	NÃO
Nova Ponte	1947021	19° 07' 00"	47° 40' 00"	1986-1999	14	CEMIG	SIM	NÃO
Pai Joaquim	1947013	19° 29' 00"	47° 31' 00"	1977-1998	22	CEMIG	SIM	NÃO
Porto Indaiá	1845022	18° 42' 00"	45° 35' 00"	1977-1999	23	CEMIG	SIM	NÃO
Porto Pará	1945017	19° 18' 00"	45° 05' 00"	1973-1999	27	CEMIG	SIM	NÃO
Salto Grande	1942025	19° 08' 00"	42° 42' 00"	1981-1999	19	CEMIG	SIM	NÃO
São Gonçalo do Abaeté	1845011	18° 21' 00"	45° 50' 00"	1974-1999	26	CEMIG	SIM	NÃO

Continua...

Estação	Código	Latitude	Longitude	Período	Nº de Anos de Registros	Rede	Análise de tendência	Análise da desagregação
São Gonçalo do Rio Acima	2043063	20° 02' 00"	43° 34' 00"	1990-1999	10	CEMIG	SIM	NÃO
São José dos Buritis	1845028	18° 43' 00"	45° 11' 00"	1987-1999	13	CEMIG	SIM	NÃO
São Simão	1950007	19° 01' 00"	50° 28' 00"	1973-1999	27	CEMIG	SIM	NÃO
Três Marias	1845009	18° 10' 00"	45° 18' 00"	1975-1999	25	CEMIG	SIM	NÃO
Volta Grande	2048042	20° 02' 00"	48° 14' 00"	1977-1999	23	CEMIG	SIM	NÃO

Tabela A2. Estatísticas de dispersão dos dados pluviométricos

Estações	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)
Acaiaca	79.8	26.0	32.6	142.2	40.8
Acesita	96.2	32.6	33.9	186.2	67.4
Aiuruoca	78.2	29.8	38.1	137.5	29.6
Alto da Boa Vista	76.7	23.0	30.0	124.8	38.0
Andrelândia	83.7	32.6	39.0	182.7	36.8
Araçuaí	53.2	23.5	44.2	103.6	14.4
Araguari	81.5	44.4	54.4	181.0	12.5
Araxá	73.8	17.5	23.7	109.0	39.8
Assaraí	72.2	25.5	35.3	139.4	33.5
Barra do Cuité	69.6	27.8	39.9	135.0	18.5
Barra do Jequitáí	65.7	23.2	35.4	100.5	12.3
Boca da Caatinga	68.6	28.6	41.7	142.7	13.4
Bom Jardim de Minas	75.4	24.0	31.7	131.7	37.6
Brás Pires	70.6	26.6	37.7	144.5	22.0
Buritis	69.0	24.1	34.8	116.4	25.0
Cachoeira da Manteiga	63.7	33.8	53.1	141.3	8.0
Cachoeira do Paredão	68.4	18.6	27.2	98.0	25.0
Cachoeira dos Óculos	78.1	24.1	30.8	125.2	44.5
Cachoeira Escura	84.6	30.3	35.8	161.2	48.7
Caeté	95.1	51.8	54.5	288.4	34.0
Caixa de Areia	93.8	46.4	49.5	237.2	22.1
Capinópolis	84.4	24.1	28.6	128.4	42.0
Capitânea	73.1	25.2	34.4	137.6	41.0
Capitão Enéias	70.3	31.8	45.3	174.0	24.2
Carandaí	72.2	24.8	34.3	125.1	30.6
Caratinga	78.1	19.8	25.3	119.5	39.3
Carbonita	72.6	21.2	29.2	119.4	38.0
Carmo da Mata	74.4	33.4	44.9	156.5	22.1
Carmo do Paranaíba	74.8	38.4	51.4	172.4	32.8
Cenibra	96.3	30.2	31.4	162.6	45.0
Central de Minas	70.6	28.2	40.0	147.0	30.4
Colônia do Jaíba	60.2	23.7	39.5	99.0	4.3
Conceição do Mato Dentro	77.2	27.5	35.7	150.3	33.1
Congonhas	61.8	24.5	39.6	109.8	10.5
Coronel Pacheco	77.3	36.7	47.5	170.7	39.8
Cristina	78.8	37.6	47.7	152.4	28.3
Delfim Moreira	52.5	17.2	32.8	98.2	20.4
Desterro de Melo	94.6	37.4	39.5	203.0	42.0
Dom Cavati	82.8	33.0	39.9	186.5	30.2

Continua...

Estações	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)
Entre Rios de Minas	69.5	26.4	38.0	141.4	20.6
F. Curralinho	81.2	28.2	34.7	123.4	28.6
F. Juca Casemiro	77.2	30.1	39.0	132.0	4.6
F. Laranjeiras	78.5	31.0	39.5	112.5	36.2
F. Santa Rita	85.6	41.0	47.8	164.5	41.9
F. São Mateus	62.1	18.7	30.1	123.6	25.0
Ferros	81.2	28.3	34.9	186.0	35.2
Gouveia	73.2	25.1	34.2	117.0	26.0
Ibituruna	73.8	30.8	41.7	183.0	39.0
Iguatama	67.8	30.5	44.9	134.3	31.4
Iraí de Minas	65.3	20.4	31.2	110.0	31.0
Itaobim	63.4	17.9	28.3	114.0	29.5
Itinga	60.2	23.8	39.6	121.4	19.3
Itumirim	84.2	31.1	37.0	191.0	28.6
Jacinto	58.3	23.4	40.2	110.6	19.8
Janaúba	70.1	33.9	48.3	167.3	34.6
Jardim	79.2	22.4	28.2	113.6	30.0
Juatuba	79.2	26.4	33.3	124.7	40.5
Juramento	77.7	22.8	29.4	105.0	45.0
Juvenília	62.5	33.8	54.0	133.3	24.4
Lagoa do Gouveia	81.3	31.8	39.2	173.2	12.0
Lagoa Grande	82.0	31.5	38.4	148.2	40.3
Lavras	81.9	40.3	49.2	202.0	45.0
Macaia	63.9	16.0	25.0	92.3	31.0
Machado	70.4	24.5	34.7	149.0	37.8
Madre de Deus de Minas	83.4	27.3	32.7	145.1	37.3
Manga	60.9	21.3	35.0	104.4	23.2
Maria da Fé	61.8	22.2	35.9	121.8	26.0
Mateus Leme	69.3	26.3	37.9	109.0	33.8
Monte Alegre de Minas	76.0	20.7	27.2	131.8	42.0
Morro do Pilar	88.1	41.4	47.0	257.4	39.5
Mucuri	66.3	25.8	39.0	139.8	8.2
Muzambinho	70.4	31.2	44.2	149.0	33.7
Papagaios	78.5	32.9	41.9	161.1	19.0
Patos de Minas	80.8	28.7	35.5	137.6	44.6
Pedra Azul	66.1	17.9	27.1	114.0	44.6
Pedra de Maria da Cruz	57.1	23.2	40.7	100.2	26.4
Pedro Leopoldo	83.4	29.9	35.9	141.5	34.5
Piranga	82.9	22.3	26.9	133.2	34.0
Pitangui	78.4	22.4	28.5	130.0	35.7

Continua...

Estações	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)
Pium-hi	77.0	23.2	30.2	123.4	38.9
P. BR-040 (Paracatu)	88.2	32.5	36.8	174.8	42.0
P. BR-040 (Rio Prata)	67.4	38.6	57.3	173.4	3.3
Ponte do Linício	72.6	23.7	32.6	127.0	38.6
Ponte Nova	80.3	19.8	24.7	117.5	36.0
Ponte Nova do Paraopeba	83.7	26.1	31.2	133.0	31.0
Ponte Raul Soareas	62.8	21.3	34.0	98.3	28.0
Porto do Cavalo	77.2	31.4	40.7	132.6	15.1
Porto Extrema	76.0	24.6	32.4	139.4	37.4
Presidente Olegário	85.0	27.5	32.4	147.2	33.0
Presidente Juscelino	67.1	20.8	30.9	112.8	38.0
Queiroz	72.3	19.8	27.3	105.8	37.9
Raul Soares	71.8	30.3	42.2	160.0	20.6
Rocinha	74.7	23.3	31.2	111.0	27.6
Santa Juliana	70.6	29.4	41.6	143.8	29.8
Santa Rosa	68.1	19.4	28.5	127.2	43.0
Santana do Jacaré	70.0	22.0	31.5	121.3	26.7
S. Antônio do Boqueirão	32.5	22.1	68.0	87.2	11.4
S. Antônio do Monte	80.1	22.4	27.9	121.0	44.4
Santo Hipólito	49.0	24.0	48.9	123.0	16.1
São Francisco	60.4	18.2	30.2	106.2	35.0
São Gonçalo	72.3	21.7	30.0	120.0	29.2
São Gotardo	72.4	21.3	29.4	127.4	28.3
São Lourenço	75.1	25.0	33.3	131.7	35.0
São Romão	67.6	26.4	39.1	137.1	33.2
Serra Azul	80.4	31.2	38.8	154.9	32.5
Seta Lagoas ANA	89.6	43.0	48.0	167.0	32.0
Sete Lagoas INMET	82.5	28.0	33.9	147.7	40.9
Silvianópolis	85.8	40.3	46.9	213.1	28.0
Tumiritinga	85.3	32.7	38.4	178.7	37.8
Uberaba	88.4	28.3	32.0	157.0	46.0
Unai	66.3	20.6	31.1	100.4	33.4
Vau da Lagoa	80.9	27.4	33.9	155.0	40.3
Velho da Taipa	68.9	25.7	37.3	127.6	16.1
Vespasiano	85.3	46.4	54.4	210.8	38.2
Vila Matias	91.7	21.2	23.1	136.2	56.6
Vila Terra Branca	76.2	28.7	37.7	165.3	30
Média	74.4	27.7	37.3	141.4	30.5
Desvio Padrão	10.2	6.9	8.1	33.7	11.8
CV (%)	13.7	25.1	21.7	23.8	38.6
Máximo	96.3	51.8	68	288.4	67.4
Mínimo	32.5	16	23.1	87.2	3.3

Tabela A3. Estatísticas de ajuste entre dados de intensidades máximas de chuvas observadas e estimadas pelas equações RCDD

Estações	Eq _{PLUG}			Eq _{CETESB}			Eq _e		
	r	d	IC	r	d	IC	r	d	IC
Acaiaca	0,997	>0,999	0,997	0,995	0,999	0,995	0,991	>0,999	0,991
Acesita	0,996	>0,999	0,996	0,987	>0,999	0,987	0,995	>0,999	0,995
Aiuruoca	0,997	>0,999	0,997	0,992	>0,999	0,992	0,992	>0,999	0,992
Alto da Boa Vista	0,997	>0,999	0,997	0,981	0,997	0,978	0,978	>0,999	0,978
Andrelândia	0,996	>0,999	0,996	0,991	>0,999	0,990	0,993	>0,999	0,993
Araçuaí	0,991	>0,999	0,991	0,949	0,998	0,948	0,964	0,999	0,963
Araguari	0,997	>0,999	0,997	0,985	>0,999	0,985	0,996	>0,999	0,995
Araxá	0,997	>0,999	0,997	0,987	0,999	0,986	0,994	>0,999	0,994
Assaraí	0,997	>0,999	0,997	0,991	0,999	0,990	0,990	>0,999	0,990
Barra do Cuieté	0,998	>0,999	0,998	0,985	>0,999	0,985	0,994	0,999	0,994
Barra do Jequitaí	0,995	>0,999	0,995	0,981	0,999	0,980	0,995	>0,999	0,995
Boca da Caatinga	0,998	>0,999	0,998	0,989	0,999	0,988	0,987	>0,999	0,987
Bom Jardim de Minas	0,997	>0,999	0,997	0,986	0,999	0,985	0,987	0,999	0,986
Brás Pires	0,998	>0,999	0,998	0,992	0,999	0,990	0,991	>0,999	0,991
Buritit	0,996	>0,999	0,996	0,991	>0,999	0,991	0,982	0,999	0,981
Cach. da Manteiga	0,996	>0,999	0,996	0,980	0,999	0,979	0,980	>0,999	0,980
Cach. do Paredão	0,997	>0,999	0,997	0,994	0,999	0,993	0,995	>0,999	0,995
Cach. dos Óculos	0,996	>0,999	0,996	0,992	0,999	0,992	0,987	>0,999	0,986
Cach. Escura	0,997	>0,999	0,997	0,995	>0,999	0,995	0,995	>0,999	0,995
Caeté	0,997	>0,999	0,997	0,995	>0,999	0,994	0,993	>0,999	0,993
Caixa de Areia	0,997	>0,999	0,997	0,994	0,999	0,993	0,996	>0,999	0,996
Capinópolis	0,997	>0,999	0,997	0,989	>0,999	0,988	0,985	>0,999	0,984
Capitânea	0,996	>0,999	0,996	0,989	0,999	0,987	0,994	>0,999	0,994
Capitão Enéias	0,997	>0,999	0,997	0,975	0,998	0,973	0,980	>0,999	0,980
Carandaí	0,998	>0,999	0,998	0,996	>0,999	0,996	0,992	>0,999	0,992
Caratinga	0,997	>0,999	0,997	0,979	0,998	0,978	0,993	>0,999	0,993
Carbonita	0,997	>0,999	0,997	0,992	0,999	0,990	0,985	0,999	0,984
Carmo da Mata	0,997	>0,999	0,997	0,991	>0,999	0,991	0,991	>0,999	0,991
C. do Paranaíba	0,997	>0,999	0,997	0,977	>0,999	0,977	0,984	0,999	0,983
Cenibra	0,997	>0,999	0,997	0,990	>0,999	0,989	0,993	>0,999	0,993
Central de Minas	0,997	>0,999	0,997	0,989	0,998	0,988	0,996	>0,999	0,996
Colônia do Jaíba	0,996	>0,999	0,996	0,972	0,995	0,967	0,982	0,999	0,981
C. do Mato Dentro	0,996	>0,999	0,996	0,991	0,999	0,990	0,992	>0,999	0,991
Congonhas	0,997	>0,999	0,997	0,995	>0,999	0,995	0,994	0,999	0,993
Cel Pacheco	0,997	>0,999	0,997	0,994	>0,999	0,994	0,990	>0,999	0,990
Cristina	0,997	>0,999	0,997	0,990	0,998	0,988	0,987	0,999	0,986
Delfim Moreira	0,996	>0,999	0,996	0,995	>0,999	0,995	0,995	0,999	0,995
Desterro de Melo	0,997	>0,999	0,997	0,975	>0,999	0,974	0,990	>0,999	0,990
Dom Cavati	0,997	>0,999	0,997	0,983	0,998	0,981	0,995	0,999	0,994
Entre Rios de Minas	0,998	>0,999	0,998	0,996	0,999	0,995	0,997	>0,999	0,997

Continua...

Estações	Eq _{PLUG}			Eq _{CETESB}			Eq _e		
	r	d	IC	r	d	IC	r	d	IC
F. Curralinho	0,997	>0,999	0,997	0,963	0,999	0,962	0,964	0,999	0,963
F. Juca Casemiro	0,997	>0,999	0,997	0,993	0,998	0,991	0,989	>0,999	0,988
F. Laranjeiras	0,990	>0,999	0,990	0,915	0,996	0,911	0,950	0,998	0,948
F. Santa Rita	0,997	>0,999	0,997	0,996	>0,999	0,996	0,988	>0,999	0,988
F. São Mateus	0,998	>0,999	0,998	0,996	0,999	0,995	0,997	>0,999	0,997
Ferros	0,998	>0,999	0,998	0,997	>0,999	0,997	0,996	>0,999	0,995
Gouveia	0,998	>0,999	0,998	0,993	>0,999	0,992	0,994	>0,999	0,994
Ibituruna	0,997	>0,999	0,997	0,986	>0,999	0,985	0,991	>0,999	0,990
Iguatama	0,997	>0,999	0,997	0,997	>0,999	0,997	0,994	>0,999	0,994
Iraí de Minas	0,996	>0,999	0,996	0,991	0,997	0,988	0,990	>0,999	0,990
Itaobim	0,997	>0,999	0,997	0,996	0,999	0,995	0,996	>0,999	0,996
Itinga	0,996	>0,999	0,996	0,993	0,999	0,992	0,993	>0,999	0,993
Itumirim	0,998	>0,999	0,998	0,991	>0,999	0,991	0,995	>0,999	0,995
Jacinto	0,996	>0,999	0,996	0,995	0,999	0,994	0,996	>0,999	0,996
Janaúba	0,996	>0,999	0,995	0,979	>0,999	0,979	0,989	>0,999	0,989
Jardim	0,997	>0,999	0,997	0,963	0,998	0,962	0,960	0,999	0,959
Juatuba	0,996	>0,999	0,996	0,968	0,998	0,966	0,972	0,999	0,971
Juramento	0,997	>0,999	0,997	0,994	>0,999	0,994	0,995	>0,999	0,995
Juvenília	0,997	>0,999	0,997	0,994	>0,999	0,994	0,994	0,999	0,993
Lagoa do Gouveia	0,998	>0,999	0,998	0,994	0,999	0,993	0,994	>0,999	0,994
Lagoa Grande	0,996	>0,999	0,996	0,978	>0,999	0,978	0,985	>0,999	0,984
Lavras	0,995	>0,999	0,995	0,965	0,999	0,964	0,992	>0,999	0,992
Macaia	0,997	>0,999	0,997	0,982	0,998	0,980	0,979	0,999	0,979
Machado	0,997	>0,999	0,997	0,993	0,998	0,991	0,991	>0,999	0,991
Md. Deus de Minas	0,997	>0,999	0,997	0,997	>0,999	0,996	0,995	>0,999	0,995
Manga	0,997	>0,999	0,997	0,985	>0,999	0,985	0,987	>0,999	0,987
Maria da Fé	0,998	>0,999	0,998	0,997	>0,999	0,996	0,995	>0,999	0,994
Mateus Leme	0,991	>0,999	0,991	0,965	>0,999	0,964	0,969	>0,999	0,969
Monte Alegre de Minas	0,998	>0,999	0,998	0,991	0,999	0,990	0,992	>0,999	0,992
Morro do Pilar	0,997	>0,999	0,997	0,980	0,999	0,979	0,986	0,999	0,985
Mucuri	0,996	>0,999	0,996	0,968	0,999	0,967	0,970	>0,999	0,970
Muzambinho	0,995	>0,999	0,995	0,991	0,998	0,989	0,989	>0,999	0,989
Papagaios	0,997	>0,999	0,997	0,995	>0,999	0,995	0,995	>0,999	0,995
Patos de Minas	0,996	>0,999	0,996	0,986	0,999	0,985	0,986	>0,999	0,986
Pedra Azul	0,996	>0,999	0,996	0,986	0,998	0,984	0,990	>0,999	0,990
Pedra de Maria da Cruz	0,997	>0,999	0,997	0,985	>0,999	0,985	0,970	>0,999	0,969
Pedro Leopoldo	0,997	>0,999	0,997	0,981	0,999	0,980	0,992	>0,999	0,991
Piranga	0,997	>0,999	0,997	0,996	>0,999	0,996	0,994	>0,999	0,994
Pitangui	0,998	>0,999	0,998	0,995	>0,999	0,995	0,994	>0,999	0,994
Pium-Hi	0,998	>0,999	0,998	0,993	0,997	0,990	0,997	>0,999	0,997
P. BR-040 (Paracatu)	0,981	0,999	0,980	0,975	0,997	0,972	0,983	>0,999	0,983

Continua...

Estações	Eq _{PLUG}			Eq _{CETESB}			Eq _e		
	r	d	IC	r	d	IC	r	d	IC
P. BR-040 (P Prata)	0,996	>0,999	0,996	0,988	0,999	0,988	0,991	>0,999	0,991
P. do Linício	0,998	>0,999	0,998	0,990	>0,999	0,989	0,994	>0,999	0,994
P. Nova	0,997	>0,999	0,997	0,982	0,998	0,980	0,987	0,999	0,986
P. Nova do Paraopeba	0,997	>0,999	0,997	0,990	0,998	0,988	0,990	>0,999	0,990
P. Raul Soareas	0,996	>0,999	0,996	0,988	0,999	0,987	0,965	0,999	0,963
Porto do Cavalo	0,996	>0,999	0,996	0,989	0,999	0,988	0,986	>0,999	0,986
Porto Extrema	0,998	>0,999	0,997	0,993	>0,999	0,993	0,997	>0,999	0,997
Presidente Olegário	0,998	>0,999	0,998	0,983	0,995	0,979	0,986	0,999	0,985
Presidente Juscelino	0,997	>0,999	0,997	0,992	>0,999	0,992	0,992	>0,999	0,992
Queiroz	0,996	>0,999	0,996	0,938	0,999	0,937	0,955	0,999	0,954
Raul Soares	0,997	>0,999	0,997	0,997	0,999	0,996	0,990	>0,999	0,990
Rocinha	0,997	>0,999	0,997	0,995	>0,999	0,995	0,992	>0,999	0,991
Santa Juliana	0,997	>0,999	0,997	0,989	>0,999	0,989	0,993	0,999	0,992
Santa Rosa	0,997	>0,999	0,997	0,984	>0,999	0,984	0,994	0,999	0,993
Santana do Jacaré	0,998	>0,999	0,998	0,995	0,999	0,994	0,996	>0,999	0,996
S. Antônio do Boqueirão	0,994	>0,999	0,994	0,992	>0,999	0,992	0,971	0,998	0,968
S. Antônio do Monte	0,998	>0,999	0,998	0,985	0,999	0,984	0,982	>0,999	0,982
S. Hipólito	0,998	>0,999	0,998	0,985	>0,999	0,985	0,994	0,999	0,993
São Francisco	0,996	>0,999	0,996	0,971	0,998	0,969	0,971	0,999	0,971
São Gonçalo	0,997	>0,999	0,997	0,995	>0,999	0,995	0,996	>0,999	0,996
São Gotardo	0,997	>0,999	0,997	0,975	0,996	0,971	0,988	>0,999	0,988
São Lourenço	0,998	>0,999	0,998	0,986	0,999	0,985	0,994	>0,999	0,994
São Romão	0,996	>0,999	0,996	0,995	>0,999	0,995	0,992	>0,999	0,992
Serra Azul	0,998	>0,999	0,998	0,972	0,999	0,971	0,982	>0,999	0,982
Seta Lagoas ANA	0,994	>0,999	0,993	0,960	0,998	0,957	0,986	0,999	0,985
Sete Lagoas INMET	0,998	>0,999	0,998	0,993	>0,999	0,992	0,998	>0,999	0,998
Silvianópolis	0,992	>0,999	0,992	0,980	>0,999	0,980	0,987	>0,999	0,986
Tumiritinga	0,997	>0,999	0,997	0,987	0,999	0,987	0,995	>0,999	0,994
Uberaba	0,997	>0,999	0,997	0,982	>0,999	0,982	0,994	>0,999	0,994
Unaí	0,997	>0,999	0,997	0,972	0,996	0,969	0,981	0,999	0,981
Vau da Lagoa	0,996	>0,999	0,996	0,988	0,998	0,986	0,985	>0,999	0,984
Velho da Taipa	0,997	>0,999	0,997	0,982	0,997	0,979	0,977	0,999	0,976
Vespasiano	0,997	>0,999	0,997	0,988	0,999	0,987	0,987	0,999	0,986
Vila Matias	0,996	>0,999	0,996	0,950	0,998	0,948	0,969	0,999	0,968
Vila Terra Branca	0,996	>0,999	0,996	0,992	>0,999	0,992	0,986	>0,999	0,986
Serra Azul	0,998	>0,999	0,998	0,972	0,999	0,971	0,982	>0,999	0,982
Média	0,997	1,000	0,996	0,985	0,999	0,984	0,988	1,000	0,987
Desvio Padrão	0,002	0,000	0,002	0,013	0,001	0,013	0,009	0,000	0,010
Valor máximo	0,998	1,000	0,998	0,997	1,000	0,997	0,998	1,000	0,998
Valor mínimo	0,981	0,999	0,980	0,915	0,995	0,911	0,950	0,998	0,948

Tabela A4. Resultados obtidos pelo método RCDD quando se utiliza a chuva pluviométrica do dia de ocorrência da chuva de 24 horas com maior intensidade

Método de desagregação	RCDD com coeficientes da CETESB (1979)									RCDD com coeficientes específicos								
	Erros			Ajuste			I.M	H0: $\beta_1 = 1$		Erros			Ajuste			I.M	H0: $\beta_1 = 1$	
	Estações	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	IC	p-valor	β_1	p-valor	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	IC	p-valor	β_1
Acaiaca	16,89	10,89	0,02	0,97	>0,99	0,98	0,10	0,93	<0,05	8,58	5,64	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,97	<0,05
Acesita	19,40	21,44	0,03	0,91	>0,99	0,95	<0,05	1,03	0,27	6,52	7,42	0,01	0,99	>0,99	0,99	<0,05	1,03	<0,05
Aiuruoca	23,47	14,89	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,92	<0,05	8,64	5,22	0,01	0,99	>0,99	>0,99	0,03	0,99	0,35
Alto da Boa Vista	29,11	34,41	0,04	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,67	<0,05	16,07	16,83	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,85	<0,05
Andrelândia	19,74	15,43	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,99	0,79	6,63	8,39	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,08	<0,05
Araçuaí	30,08	26,53	0,04	0,79	>0,99	0,89	<0,05	0,71	<0,05	16,49	12,89	0,02	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,95	0,02
Araguari	27,93	29,72	0,04	0,89	>0,99	0,94	<0,05	1,20	<0,05	12,10	13,66	0,02	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,15	<0,05
Araxá	22,05	19,59	0,03	0,90	>0,99	0,95	<0,05	0,79	<0,05	10,22	7,46	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,94	<0,05
Assaraí	22,88	16,45	0,04	0,93	>0,99	0,96	0,89	1,08	<0,05	9,39	9,76	0,02	0,97	>0,99	0,98	<0,05	0,99	0,71
Barra do Cuité	22,73	15,09	0,03	0,90	>0,99	0,95	<0,05	0,93	<0,05	14,02	13,83	0,02	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,18	<0,05
Barra do Jequitáí	26,42	28,58	0,04	0,86	>0,99	0,93	<0,05	0,68	<0,05	22,39	19,02	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,81	<0,05
Boca da Caatinga	20,07	9,88	0,03	0,95	>0,99	0,98	0,11	1,02	0,32	8,52	7,97	0,01	>0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,11	<0,05
Bom Jardim de Minas	20,92	11,67	0,03	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,99	0,61	8,01	6,29	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,94	<0,05
Brás Pires	20,50	14,56	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,89	<0,05	9,08	6,54	0,01	>0,99	>0,99	>0,99	0,04	1,07	<0,05
Buritis	23,64	21,66	0,03	0,89	>0,99	0,94	<0,05	0,78	<0,05	18,30	17,65	0,02	0,95	>0,99	0,98	<0,05	0,80	<0,05
Cachoeira da Manteiga	23,27	17,77	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,86	<0,05	9,95	8,25	0,02	0,99	>0,99	>0,99	0,26	1,08	<0,05
Cachoeira do Paredão	26,35	27,67	0,04	0,89	>0,99	0,94	<0,05	0,68	<0,05	20,25	20,29	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,78	<0,05
Carmo da Mata	42,97	94,46	0,07	0,34	0,99	0,58	<0,05	1,63	0,02	12,50	66,51	0,02	0,28	0,99	0,53	<0,05	1,06	0,76
Carmo do Paranaíba	36,95	45,39	0,06	0,86	>0,99	0,93	<0,05	1,47	<0,05	33,91	53,30	0,06	0,89	>0,99	0,94	<0,05	1,63	<0,05

Continua...

Método de desagregação	RCDD com coeficientes da CETESB (1979)										RCDD com coeficientes específicos								
	Erros		Ajuste			I.M		H0: $\beta_1 = 1$			Erros		Ajuste			I.M		H0: $\beta_1 = 1$	
	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	IC	p-valor	β_1	p-valor	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	IC	p-valor	β_1	p-valor	
Cenibra	18,28	16,45	0,03	0,93	>0,99	0,96	0,89	1,08	<0,05	11,54	9,76	0,02	0,97	>0,99	0,98	<0,05	0,99	0,71	
Central de Minas	19,62	14,51	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,92	<0,05	9,40	7,78	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,08	<0,05	
Colônia do Jaíba	31,70	35,19	0,04	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,62	<0,05	19,00	17,73	0,03	0,96	>0,99	0,98	<0,05	0,83	<0,05	
Conceição do Mato Dentro	31,64	20,25	0,05	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,82	<0,05	20,44	16,32	0,03	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,85	<0,05	
Congonhas	25,13	25,55	0,03	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,71	<0,05	15,09	12,20	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,89	<0,05	
Coronel Pacheco	25,06	22,60	0,04	0,93	>0,99	0,97	<0,05	1,17	<0,05	21,94	34,30	0,04	0,94	>0,99	0,97	<0,05	1,34	<0,05	
Cristina	31,89	35,92	0,05	0,90	>0,99	0,94	<0,05	1,35	<0,05	21,35	36,42	0,03	0,95	>0,99	0,97	<0,05	1,42	<0,05	
Delfim Moreira	14,63	8,53	0,02	0,96	>0,99	0,98	<0,05	0,89	<0,05	11,22	3,38	0,02	0,99	>0,99	0,99	0,01	0,99	0,19	
Desterro de Melo	17,29	24,87	0,03	0,90	>0,99	0,95	<0,05	1,15	<0,05	13,34	19,20	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	1,20	<0,05	
Dom Cavati	22,16	16,57	0,03	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,95	0,03	5,21	4,19	0,01	0,99	>0,99	>0,99	0,03	1,01	0,03	
Entre Rios de Minas	18,96	15,26	0,03	0,95	>0,99	0,97	<0,05	0,86	<0,05	8,41	5,21	0,02	>0,99	>0,99	>0,99	0,30	1,05	<0,05	
F, Curralinho	20,63	16,58	0,03	0,91	>0,99	0,95	<0,05	0,90	<0,05	14,76	14,72	0,02	0,97	>0,99	0,98	<0,05	0,85	<0,05	
F, Juca Casemiro	22,54	23,73	0,03	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,79	<0,05	10,11	8,43	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,93	<0,05	
F, Laranjeiras	28,21	36,84	0,04	0,83	>0,99	0,91	<0,05	0,69	<0,05	27,67	29,02	0,04	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,75	<0,05	
F, Santa Rita	25,15	26,72	0,04	0,92	>0,99	0,96	<0,05	1,15	<0,05	22,51	38,87	0,04	0,93	>0,99	0,96	<0,05	1,32	<0,05	
F, São Mateus	25,38	24,36	0,03	0,97	>0,99	0,99	<0,05	0,70	<0,05	10,56	8,86	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,90	<0,05	
Ferros	18,17	1>0,99	0,03	0,96	>0,99	0,98	0,02	0,99	0,65	7,18	8,43	0,01	>0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,10	<0,05	
Gouveia	20,07	14,34	0,03	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,90	<0,05	12,57	6,84	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,94	<0,05	
Ibituruna	19,95	16,10	0,03	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,98	0,46	13,02	19,85	0,02	0,97	>0,99	0,98	<0,05	1,20	<0,05	
Iguatama	15,18	10,91	0,02	0,96	>0,99	0,98	0,21	1,04	0,02	12,31	12,17	0,02	0,99	>0,99	0,99	<0,05	1,13	<0,05	
Iraí de Minas	28,11	26,47	0,04	0,95	>0,99	0,97	<0,05	0,70	<0,05	7,43	6,99	0,01	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,98	0,07	

Continua...

Método de desagregação	RCDD com coeficientes da CETESB (1979)										RCDD com coeficientes específicos								
	Erros			Ajuste			I.M	H0: $\beta_1 = 1$			Erros			Ajuste			I.M	H0: $\beta_1 = 1$	
	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	IC	p-valor	β_1	p-valor	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	IC	p-valor	β_1	p-valor	
Itaobim	23,84	15,78	0,03	0,96	>0,99	0,98	<0,05	0,80	<0,05	6,31	5,62	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,95	<0,05	
Itinga	21,89	18,65	0,03	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,79	<0,05	10,02	5,83	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,95	<0,05	
Itumirim	16,90	14,34	0,02	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,99	0,52	8,59	4,88	0,02	>0,99	>0,99	>0,99	0,31	1,04	<0,05	
Jacinto	30,09	29,95	0,04	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,67	<0,05	14,30	10,63	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,90	<0,05	
Janaúba	21,91	23,51	0,04	0,89	>0,99	0,94	<0,05	1,15	<0,05	12,13	16,99	0,02	0,97	>0,99	0,99	<0,05	1,19	<0,05	
Jardim	21,60	16,56	0,03	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,84	<0,05	15,58	13,84	0,02	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,88	<0,05	
Juatuba	21,90	20,43	0,03	0,91	>0,99	0,95	<0,05	0,85	<0,05	13,05	12,62	0,02	0,99	>0,99	0,99	<0,05	0,88	<0,05	
Juramento	22,76	16,45	0,04	0,93	>0,99	0,96	0,89	1,08	<0,05	20,32	9,76	0,03	0,97	>0,99	0,98	<0,05	0,99	0,71	
Juvenília	17,93	17,89	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	1,10	<0,05	18,01	27,70	0,03	0,97	>0,99	0,99	<0,05	1,35	<0,05	
Lagoa do Gouveia	16,70	12,32	0,02	0,95	>0,99	0,97	0,08	0,99	0,67	10,36	6,67	0,01	0,99	>0,99	>0,99	0,03	1,05	<0,05	
Lagoa Grande	27,65	21,20	0,05	0,88	>0,99	0,94	<0,05	1,03	0,40	11,18	16,78	0,02	0,97	>0,99	0,99	<0,05	1,14	<0,05	
Lavras	29,14	38,01	0,04	0,85	>0,99	0,92	<0,05	1,29	<0,05	22,23	33,78	0,04	0,93	>0,99	0,96	<0,05	1,34	<0,05	
Macaia	24,27	21,28	0,03	0,95	>0,99	0,97	<0,05	0,73	<0,05	15,76	14,79	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,82	<0,05	
Machado	26,44	16,90	0,04	0,97	>0,99	0,98	<0,05	0,82	<0,05	9,83	6,33	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,96	<0,05	
Madre de Deus de Minas	16,56	8,94	0,03	0,97	>0,99	0,99	0,23	0,96	<0,05	5,80	4,89	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	>0,99	0,82	
Manga	22,66	12,86	0,03	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,88	<0,05	13,44	5,87	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,95	<0,05	
Maria da Fé	22,23	11,13	0,03	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,86	<0,05	9,79	4,80	0,02	0,99	>0,99	>0,99	0,20	1,03	<0,05	
Mateus Leme	20,16	15,49	0,03	0,91	>0,99	0,95	<0,05	0,89	<0,05	14,15	7,81	0,02	0,97	>0,99	0,99	<0,05	1,01	0,64	
Monte Alegre de Minas	25,17	20,90	0,03	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,79	<0,05	8,45	6,48	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,94	<0,05	
Morro do Pilar	15,51	23,95	0,03	0,92	>0,99	0,96	<0,05	1,17	<0,05	9,58	15,29	0,01	0,98	>0,99	0,99	<0,05	1,14	<0,05	
Mucuri	28,29	25,71	0,04	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,73	<0,05	16,73	11,45	0,02	0,97	>0,99	0,99	<0,05	0,90	<0,05	

Continua...

Método de desagregação	RCDD com coeficientes da CETESB (1979)									RCDD com coeficientes específicos										
	Erros			Ajuste			I.M	H0: $\beta_1 = 1$			Erros			Ajuste			I.M	H0: $\beta_1 = 1$		
	Estações	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	IC	p-valor	β_1	p-valor	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	c	p-valor	β_1	p-valor	
Muzambinho	20,97	20,49	0,03	0,96	>0,99	0,98	<0,05	0,81	<0,05	15,70	11,68	0,02	0,97	>0,99	0,99	<0,05	1,04	0,01		
Papagaios	17,21	13,31	0,03	0,94	>0,99	0,97	0,02	0,94	<0,05	9,39	4,68	0,01	0,99	>0,99	>0,99	0,58	1,01	0,16		
Patos de Minas	17,64	15,59	0,03	0,93	>0,99	0,97	<0,05	1,01	0,80	7,04	6,54	0,01	0,99	>0,99	0,99	<0,05	1,03	<0,05		
Pedra Azul	27,41	23,51	0,04	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,73	<0,05	9,46	6,49	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,94	<0,05		
Pedra de Maria da Cruz	23,06	11,34	0,04	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,94	<0,05	21,14	11,86	0,04	0,94	>0,99	0,97	<0,05	1,08	<0,05		
Pedro Leopoldo	16,31	10,24	0,03	0,96	>0,99	0,98	0,22	0,98	0,27	11,46	7,41	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,94	<0,05		
Piranga	19,44	14,71	0,03	0,95	>0,99	0,97	<0,05	0,87	<0,05	14,31	9,87	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,90	<0,05		
Pitanguí	16,94	8,18	0,03	0,97	>0,99	0,99	0,28	0,97	0,01	6,81	3,71	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,99	0,34		
Pium-Hi	19,23	20,41	0,03	0,99	>0,99	0,99	0,89	0,79	<0,05	7,67	11,50	0,01	0,97	>0,99	0,98	0,96	1,02	0,23		
Ponte BR-040	13,71	8,56	0,03	0,99	>0,99	0,99	0,89	0,94	<0,05	11,65	11,50	0,02	0,97	>0,99	0,98	<0,05	1,02	0,23		
Ponte BR-040 (Ponte da Prata)	21,33	22,13	0,03	0,95	>0,99	0,97	<0,05	0,81	<0,05	8,90	8,11	0,01	0,99	>0,99	>0,99	0,15	1,06	<0,05		
Ponte do Linício	18,38	12,43	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,97	0,16	6,45	3,64	0,01	>0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,97	<0,05		
Ponte Nova	27,26	30,64	0,04	0,88	>0,99	0,94	<0,05	0,70	<0,05	20,17	18,18	0,03	0,96	>0,99	0,98	<0,05	0,83	<0,05		
Ponte Nova do Paraopeba	22,49	14,91	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,96	0,06	9,41	8,49	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,08	<0,05		
Ponte Raul Soares	23,45	21,58	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	0,77	<0,05	15,89	13,21	0,02	0,99	>0,99	0,99	<0,05	0,85	<0,05		
Porto do Cavalo	16,89	9,96	0,03	0,97	>0,99	0,98	0,21	0,95	<0,05	9,74	6,99	0,01	0,99	>0,99	0,99	<0,05	0,96	<0,05		
Porto Extrema	19,30	16,44	0,03	0,93	>0,99	0,97	<0,05	0,86	<0,05	8,96	3,92	0,02	0,99	>0,99	>0,99	0,26	1,01	0,01		
Presidente Olegário	24,50	23,53	0,03	0,96	>0,99	0,98	<0,05	0,73	<0,05	16,99	7,24	0,02	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,94	<0,05		
Presidente Juscelino	28,41	15,36	0,05	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,89	<0,05	11,19	8,49	0,02	0,99	>0,99	0,99	<0,05	0,93	<0,05		
Queiroz	26,08	25,85	0,04	0,87	>0,99	0,93	<0,05	0,75	<0,05	15,15	13,98	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,85	<0,05		
Raul Soares	16,92	9,24	0,03	0,97	>0,99	0,99	0,35	0,95	<0,05	12,41	10,63	0,02	0,99	>0,99	0,99	<0,05	1,11	<0,05		

Continua...

Método de desagregação	RCDD com coeficientes da CETESB (1979)									RCDD com coeficientes específicos								
	Erros			Ajuste			I.M	H0: $\beta_1 = 1$		Erros			Ajuste			I.M	H0: $\beta_1 = 1$	
	Estações	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	IC	p-valor	β_1	p-valor	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	IC	p-valor	β_1
Rocinha	12,99	8,53	0,02	0,98	>0,99	0,99	0,35	1,08	<0,05	8,94	8,23	0,01	0,99	>0,99	0,99	<0,05	1,09	<0,05
Santa Juliana	19,18	14,74	0,03	0,94	>0,99	0,97	<0,05	1,02	0,30	14,97	24,38	0,02	0,97	>0,99	0,98	<0,05	1,28	<0,05
Santa Rosa	25,21	19,83	0,03	0,96	>0,99	0,98	<0,05	0,77	<0,05	6,66	4,05	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	>0,99	0,44
Santana do Jacaré	19,07	14,66	0,03	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,85	<0,05	9,49	3,78	0,02	0,99	>0,99	>0,99	0,20	0,99	0,03
Santo Antônio do Boqueirão	26,04	12,78	0,04	0,90	>0,99	0,95	<0,05	0,92	<0,05	33,11	36,65	0,05	0,94	>0,99	0,97	<0,05	1,58	<0,05
Santo Antônio do Monte	20,44	17,74	0,03	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,83	<0,05	17,47	14,45	0,02	0,96	>0,99	0,98	<0,05	0,85	<0,05
Santo Hipólito	17,65	7,30	0,03	0,97	>0,99	0,99	0,40	0,94	<0,05	22,21	18,78	0,03	0,98	>0,99	0,99	<0,05	1,28	<0,05
São Francisco	27,09	20,83	0,04	0,94	>0,99	0,97	<0,05	0,76	<0,05	9,86	12,29	0,01	0,99	>0,99	0,99	<0,05	0,85	<0,05
São Gonçalo	17,65	10,13	0,03	0,96	>0,99	0,98	0,01	0,99	0,53	8,11	9,55	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,12	<0,05
São Gotardo	29,35	35,37	0,04	0,92	>0,99	0,95	<0,05	0,64	<0,05	18,89	21,73	0,02	0,96	>0,99	0,98	<0,05	0,80	<0,05
São Lourenço	19,46	7,15	0,03	0,99	>0,99	0,99	0,92	0,95	<0,05	12,47	6,74	0,02	0,99	>0,99	0,99	0,04	1,05	<0,05
São Romão	20,03	12,82	0,03	0,95	>0,99	0,97	<0,05	0,93	<0,05	9,72	14,04	0,02	0,98	>0,99	0,99	<0,05	1,14	<0,05
Serra Azul	19,47	17,32	0,03	0,90	>0,99	0,95	<0,05	1,05	0,06	11,63	9,36	0,02	>0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,12	<0,05
Seta Lagoas	16,37	17,32	0,02	0,90	>0,99	0,95	<0,05	1,05	0,06	17,29	9,36	0,03	>0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,12	<0,05
Sete Lagoas	19,33	13,20	0,03	0,93	>0,99	0,96	<0,05	1,02	0,31	10,42	6,75	0,01	>0,99	>0,99	>0,99	0,03	1,08	<0,05
Silvianópolis	20,11	17,82	0,03	0,89	>0,99	0,94	<0,05	1,03	0,31	22,53	13,78	0,03	0,97	>0,99	0,99	<0,05	1,13	<0,05
Tumiritinga	16,88	17,67	0,02	0,91	>0,99	0,96	<0,05	1,03	0,30	8,19	6,40	0,01	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	1,04	<0,05
Uberaba	20,11	18,37	0,03	0,88	>0,99	0,94	<0,05	0,97	0,19	8,39	6,11	0,01	0,99	>0,99	>0,99	0,01	1,04	<0,05
Unaí	29,40	28,81	0,04	0,92	>0,99	0,96	<0,05	0,69	<0,05	14,98	12,78	0,02	0,97	>0,99	0,99	<0,05	0,88	<0,05
Vau da Lagoa	16,08	6,65	0,03	0,99	>0,99	0,99	0,90	0,97	0,01	8,25	7,56	0,01	0,98	>0,99	0,99	<0,05	0,99	0,55
Velho da Taipa	19,71	13,88	0,03	0,97	>0,99	0,98	<0,05	0,88	<0,05	8,94	6,56	0,01	0,99	>0,99	>0,99	0,01	1,03	<0,05
Vespasiano	40,69	65,57	0,06	0,85	>0,99	0,92	<0,05	1,70	<0,05	38,22	53,91	0,06	0,88	>0,99	0,94	<0,05	1,58	<0,05
Vila Matias	26,57	29,25	0,04	0,82	>0,99	0,91	<0,05	0,77	<0,05	19,94	21,53	0,03	0,95	>0,99	0,97	<0,05	0,79	<0,05

Continua...

Método de desagregação	RCDD com coeficientes da CETESB (1979)									RCDD com coeficientes específicos								
	Erros			Ajuste			I.M	H0: $\beta_1 = 1$		Erros			Ajuste			I.M	H0: $\beta_1 = 1$	
	Estações	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	c	p-valor	β_1	p-valor	EPAM	RQME	EPE	R ²	d	c	p-valor	β_1
Vila Terra Branca	19,36	10,89	0,03	0,97	>0,99	0,98	0,10	0,93	<0,05	15,32	5,64	0,02	0,99	>0,99	>0,99	<0,05	0,97	<0,05
Média	22,55	2<0,05	0,03	0,92	>0,99	0,96	0,08	0,93	0,08	13,17	12,89	0,02	0,97	>0,99	0,98	0,04	1,03	0,06
Desvio Padrão	5,59	11,42	0,01	0,06	<0,05	0,04	0,22	0,19	0,18	5,95	10,47	0,01	0,07	<0,05	0,04	0,13	0,16	0,18
Valor máximo	43,57	94,46	0,07	0,99	>0,99	0,99	0,92	1,70	0,80	38,22	66,51	0,06	>0,99	>0,99	>0,99	0,96	1,63	0,82
Valor mínimo	12,99	6,65	0,02	0,34	0,99	0,58	<0,05	0,62	<0,05	5,21	3,38	0,01	0,28	0,99	0,53	<0,05	0,75	<0,05