

EQUAÇÃO PARA OS COEFICIENTES DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVA

André Luiz Lopes da Silveira

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Caixa Postal 15029 - CEP 91501-970 Porto Alegre, RS
silveira@if.ufrgs.br

RESUMO

Esta nota técnica apresenta uma equação analítica para os coeficientes de desagregação dos totais de chuva, máxima de 24 horas de duração, em totais correspondentes para durações menores. Uma expressão matemática original, obtida empiricamente, mostrou-se mais precisa que uma função logarítmica. O ajuste foi realizado com coeficientes generalizados para o Brasil, entretanto a expressão matemática ajustou-se, igualmente, bem com dados regionais do Rio Grande do Sul. A síntese dos coeficientes de desagregação, na forma de uma equação, facilita o manuseio destes em calculadoras programáveis, planilhas eletrônicas, e códigos de programação. Portanto, propicia maior rapidez e automatização de cálculo de chuvas de projeto para locais que dispõem somente de dados diários.

INTRODUÇÃO

A desagregação de totais de chuva, máxima de 24 horas de duração em totais correspondentes para durações menores, é freqüentemente realizada com os chamados coeficientes de desagregação de chuvas. Esta prática é usada, normalmente, para estabelecer relações de intensidade-duração-freqüência (IDF) em locais que dispõem somente de dados diários medidos com pluviômetros convencionais (Bertoni & Tucci, 1993).

Os coeficientes de desagregação disponíveis, na literatura técnico-científica do país, são apresentados na forma de tabelas e, também, como índices em cascata (por exemplo, dois coeficientes multiplicativos sucessivos para desagregar uma chuva de 24 horas na chuva de 1 hora). A síntese de todos os coeficientes na forma de uma equação facilitaria, então, o manuseio destes em calculadoras programáveis, planilhas eletrônicas, e códigos de programação.

Aparentemente, o ajuste de uma equação deste tipo é uma questão banal, mas a inflexão peculiar da curva dos coeficientes com a duração exige a busca de uma expressão matemática dife-

rente da função logarítmica, que seria a escolha óbvia pelo aspecto da referida curva.

O objetivo desta nota técnica é apresentar, portanto, a partir de coeficientes de desagregação de chuvas médios do Brasil (DAEE/CETESB, 1980), uma equação obtida empiricamente que retorna, com pequeno erro, o valor do coeficiente de desagregação da chuva máxima - para durações inferiores a 24 horas - em função da altura de chuva máxima de 24 horas.

A equação obtida, ao permitir o cálculo do coeficiente de desagregação a partir da chuva de 24 horas, exclui, por consequência, o coeficiente de desagregação que multiplica a chuva máxima diária (dado do pluviômetro) para obter a correspondente chuva máxima de (quaisquer) 24 horas.

Apresenta-se, a seguir detalhes de obtenção desta equação simples, mas inédita, de desagregação de chuvas.

OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO

Várias tabelas com coeficientes de desagregação são encontradas em diversas publicações, mas a presente nota técnica baseia-se naqueles apresentados por DAEE/CETESB (1980) e Beltrame et al. (1991).

Na Tabela 1 são reproduzidos os coeficientes de desagregação do Brasil calculados por DAEE/CETESB (1980), a partir do estudo de chuvas intensas do clássico estudo de Pfafstetter (1957), que abrangeu todo o território nacional. Os valores da Tabela 1 são relações médias de precipitação máxima com períodos de retorno entre 2 e 100 anos obtidas das curvas IDF deste último autor. Pode-se notar, um grupo de índices relativos a durações menores que 30 min e outro para durações iguais ou superiores a 1 hora. O coeficiente, que relaciona a chuva de 30 min com a chuva de 1 hora, é o elo entre os dois grupos.

Conforme a Tabela 1, para se obter a chuva de 5 min a partir da chuva de 24 horas, a seqüência de coeficientes em cascata é igual a 0,42 multiplicado por 0,74 e por 0,34. Ou seja, a chuva máxima de 5 min corresponde, com duas casas decimais, a 0,11 (ou 11%) da chuva máxima de 24

Tabela 1. Coeficientes de desagregação do Brasil (DAEE/CETESB, 1980).

Relação de durações	Relação de chuvas
5 min / 30 min	0,34
10 min / 30 min	0,54
15 min / 30 min	0,70
20 min / 30 min	0,81
25 min / 30 min	0,91
30 min / 1 h	0,74
1 h / 24 h	0,42
6 h / 24 h	0,72
8 h / 24 h	0,78
10 h / 24 h	0,82
12 h / 24 h	0,85

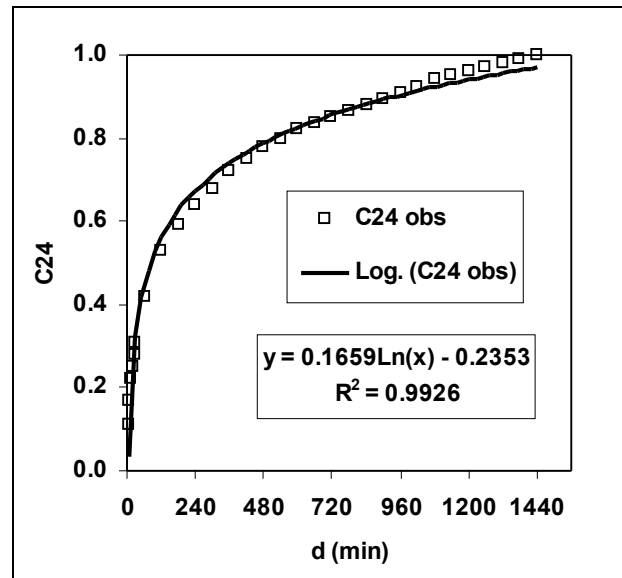
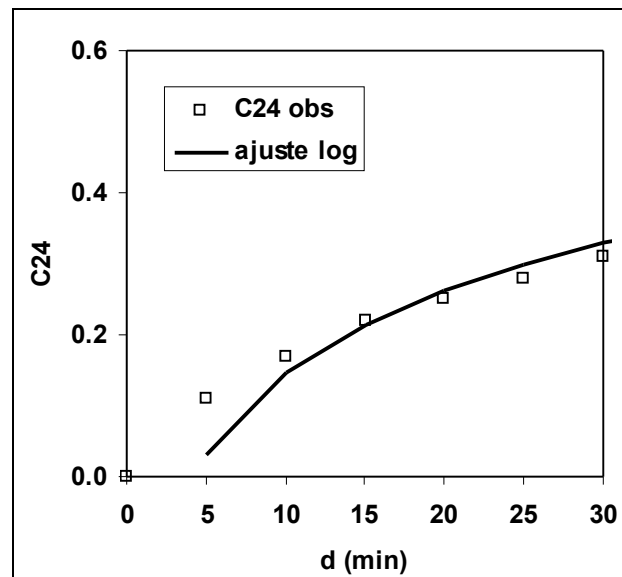
horas. Pode-se estabelecer coeficientes similares a este 0,11 para as outras durações da Tabela 1, que chamaremos nesta nota técnica de coeficientes diretos de desagregação. Isto foi feito e estes coeficientes foram notados por C24 obs na Tabela 2. A presença do “24”, nesta denominação, lembra que se trata de um coeficiente direto de desagregação a partir da chuva máxima de 24 horas.

Em seguida, os pontos de C24 obs, e respectivas durações, foram plotados em papel milimetrado, para delinear a curva destes coeficientes diretos de desagregação e efetuar uma interpolação gráfica para outras durações. Esta interpolação teve o objetivo de gerar mais coeficientes de desagregação para representar bem a curvatura da função e, assim, permitir um melhor ajuste de uma equação matemática.

Desta forma, passaram a estar disponíveis para ajuste os coeficientes diretos das durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 60 minutos e, a partir desta, de 60 em 60 minutos até 1440 minutos (24 horas). Nas Figuras 1 e 2, estes coeficientes, são considerados como coeficientes diretos de desagregação observados, mantendo-se a notação C24 obs.

O aspecto da curva dos C24 obs, em função da duração, é claramente logarítmico e o ajuste realizado aparentemente é bom, com alto coeficiente de determinação de $R^2 = 0,993$, conforme mostra a Figura 1. Nesta figura, C24 (= y na equação de ajuste) é o coeficiente direto de desagregação (com valor entre 0 e 1) e d (= x na equação de ajuste) corresponde à duração em minutos.

Entretanto, uma análise mais acurada do ajuste da Figura 1, cuja ampliação mostrada na Figura 2 permite, mostra que a equação logarítmica subestima muito o coeficiente da duração de 5 minutos (cerca de 71%, pela análise dos dados) e o da duração de 10 minutos (cerca de 14%). Para a maioria das outras durações, há erros de 5 a 6%.

**Figura 1. Ajuste logarítmico.****Figura 2. Ajuste logarítmico até 30 min.**

As Figuras 1 e 2 mostram que os erros ou desvios do ajuste logarítmico decorrem da peculiar inflexão da curva dos pontos referentes aos coeficientes diretos de desagregação, que faz com que a curva logarítmica ajustada subestime-os abaixo da duração de 15 minutos e acima de 16 horas (960 min), havendo efeito contrário para as durações intermediárias.

Este ajuste insatisfatório de uma função logarítmica estimulou à procura de uma outra expressão matemática, que desse melhor ajuste geral que esta curva, e que representasse melhor o coe-

ficiente de desagregação das durações de 5 e 10 minutos, no extremo inferior da curva.

Durante o processo especulativo de busca de uma expressão matemática condizente, notou-se que os logaritmos naturais dos coeficientes diretos de desagregação observados (C24 obs), plotados com os logaritmos naturais de suas respectivas durações, é que se ajustavam muito bem à função logarítmica, com $R^2 = 0,999$ (Figura 3).

O ajuste bi-logarítmico da Figura 3 tornou possível o estabelecimento de uma equação que fornece um excelente ajuste. Reproduzindo-se o ajuste da Figura 3 tem-se:

$$\ln C24 = 1,5091 \ln(\ln d) - 3,0033$$

Algumas manipulações algébricas e propriedades dos logarítmicos permitem reescrevê-la como:

$$\ln C24 = 1,5091 \ln\left(\frac{\ln d}{7,3165}\right)$$

Finalmente, isolando-se C24, obteve-se para os coeficientes de desagregação diretos derivados da tabela do DAEE/CETESB (1980), a equação abaixo, onde optou-se por arredondar os parâmetros na casa decimal:

$$C24(d) = e^{1,5 \ln\left(\frac{\ln d}{7,3}\right)} \quad (1)$$

onde d é a duração (min) a que se refere o coeficiente de desagregação C24.

A Equação (1) retorna o valor de 0,104 para d = 5 min quando o valor real visto mais acima era de 0,11. A Tabela 2 mostra todos os valores calculados.

Observando-se, na Figura 4, uma ampliação análoga à da Figura 2, pode-se perceber uma significativa melhoria no ajuste para as menores durações. A comparação dos ajustes é feita com mais detalhe no item seguinte.

A Equação (1), que representa o ajuste bi-logarítmico, vale recordar, reproduz os coeficientes diretos de desagregação obtidos a partir dos coeficientes de desagregação em cascata médios para o Brasil, fornecidos por DAEE/CETESB (1980).

A experiência mundial tem demonstrado que estes coeficientes são, notavelmente, semelhantes para regimes pluviométricos diversos (ver DAEE/CETESB, 1980), por isso não se faz usualmente uma diferenciação climatológica regional, apesar de se esperar haver pequenas diferenças. Por exemplo, os coeficientes médios de desagregação

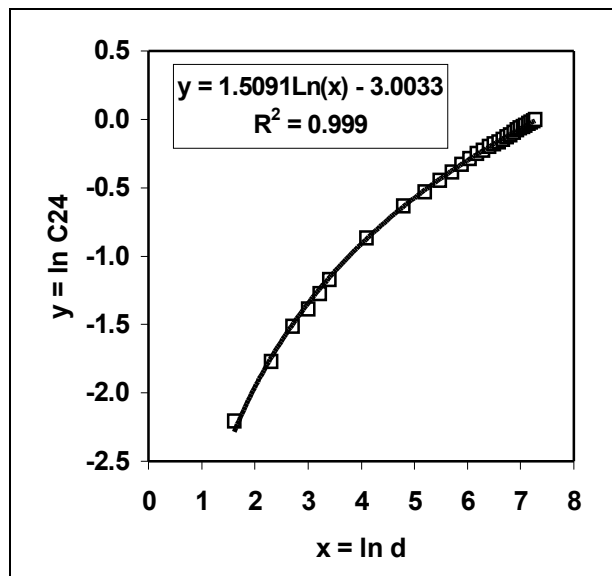


Figura 3. Ajuste bi-logarítmico.

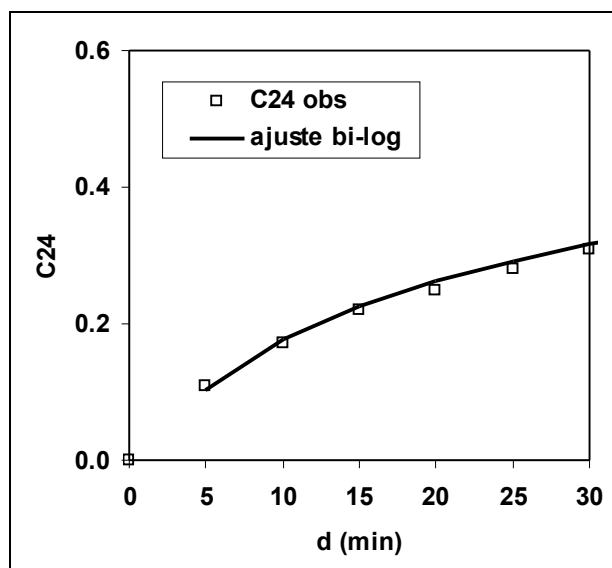


Figura 4. Ajuste bi-logarítmico até 30 min.

gação de chuvas provenientes do estudo de chuvas intensas de Beltrame et al. (1991) para o Rio Grande do Sul, são pouco diferentes dos relativos ao Brasil inteiro. A Equação (1) para o Rio Grande do Sul teria o parâmetro 1,5 mudado para 1,4 e o parâmetro 7,3 para 7,5.

De qualquer forma, não foi objetivo desta nota técnica estudar eventuais diferenças regionais, sazonais ou de tipo de chuva nos coeficientes de desagregação de chuvas, tema que ainda carece de estudos específicos. O objetivo, conforme colocado anteriormente, foi o de definir uma equação, no caso a Equação (1), capaz de calcular, com pequeno erro, o valor do coeficiente de desa-

gregação com base naqueles fornecidos pelo DAEE/CETESB (1980).

No item seguinte, dando seguimento ao propósito principal desta nota técnica, é apresentada uma pequena análise da precisão da Equação (1).

AVALIAÇÃO DA EQUAÇÃO

A Equação (1) pode ser avaliada de maneira simples, comparando-se os erros dos seus valores em relação aos coeficientes C24 observados, que são derivados da tabela dos coeficientes em cascata do DAEE/CETESB (1980), apresentados na Tabela 1. Observe-se que esta avaliação não considera os erros de estimação dos C24 observados, restringindo-se apenas ao ajuste matemático da Equação (1).

Os erros do ajuste, mostrados na Tabela 2, consideram o arredondamento do resultado da Equação (1) nas três casas decimais. A magnitude dos erros é pequena. O erro percentual máximo é de 5,5% e há erros absolutos máximos de apenas 0,013 (durações de 20 e 25 min) no coeficiente C24 calculado e arredondado.

Graficamente, na Figura 5, pode-se comparar o grau de precisão da Equação (1) com o da equação logarítmica.

O melhor ajuste da equação proposta (Equação (1), ajuste bi-logarítmico) sobre o ajuste logarítmico é evidente para toda a faixa de variação de C24, não se restringindo às pequenas durações, conforme indicou a comparação antes realizada com as Figuras 2 e 4.

A Tabela 2 e a Figura 5 autorizam que seja sugerida a aplicação da Equação (1) em substituição à tabela do DAEE/CETESB (1980), quando isto convier ao usuário.

CONCLUSÃO

Foi obtida uma equação empírica que retorna com boa precisão os valores dos coeficientes médios de desagregação da chuva máxima de 24 horas no Brasil, fornecidos por DAEE/CETESB (1980). A equação reproduz, com erros inferiores a 6% os coeficientes resultantes da cascata de coeficientes de desagregação apresentados por DAEE/CETESB (1980).

O aspecto da equação decorre de um ajuste bi-logarítmico (ajuste logarítmico aplicado aos logaritmos dos coeficientes e durações). A expressão resultante é original e mais precisa que uma

Tabela 2. Coeficientes C24 do Brasil, observados e calculados.

Duração	C24 obs	C24 equação	erro (%)
5 min	0,11	0,104	-5,5
10 min	0,17	0,177	+4,1
15 min	0,22	0,226	+2,7
20 min	0,25	0,263	+5,2
25 min	0,28	0,293	+4,6
30 min	0,31	0,318	+2,6
1 h	0,42	0,420	0
6 h	0,72	0,724	+0,6
8 h	0,78	0,778	-0,3
10 h	0,82	0,820	0
12 h	0,85	0,856	+0,7

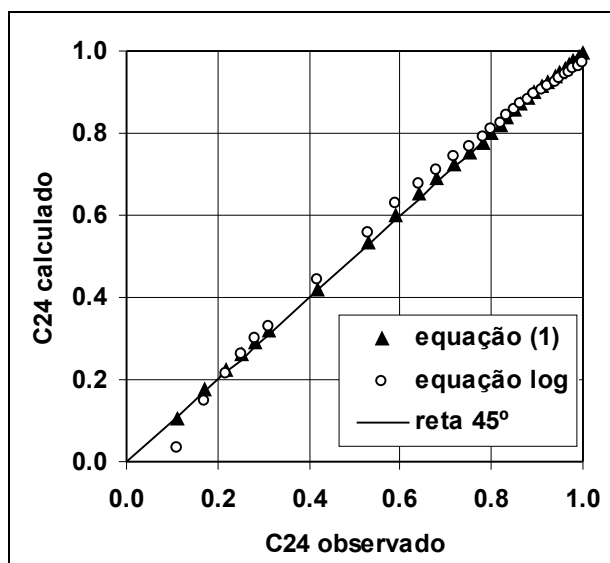


Figura 5. Grau de precisão da Equação (1).

equação logarítmica bem ajustada, sobretudo para as durações de 5 e 10 minutos.

A equação obtida pode substituir os coeficientes tabelados do DAEE/CETESB (1980), além de permitir uma flexibilidade de cálculo para qualquer outra duração (exceto abaixo de 5 min). Propicia também uma aplicação mais fácil em calculadoras programáveis, planilhas eletrônicas e códigos de programação.

Com pequena mudança nos parâmetros, apontada no texto desta nota técnica, a equação proposta gera também coeficientes de desagregação com boa precisão para o Rio Grande do Sul, com base nos dados de Beltrame et al. (1991).

AGRADECIMENTOS

O autor agradece apoio dos projetos do REHIDRO da FINEP e PRONEX (IPH/UFRGS, MCT/MEC) e a concessão de bolsas pelo CNPq.

REFERÊNCIAS

- BELTRAME, L.; LANNA, A. E.; LOUZADA, J. A. (1991) *Chuvas Intensas (RS)*, IPH-UFRGS, Porto Alegre.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. (1993) Precipitação, In: TUCCI, C. E. M. (org.), *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, Editora da Universidade, Porto Alegre, p. 177-241.
- DAEE/CETESB (1980) *Drenagem Urbana, Manual de Projeto*, Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento, São Paulo.
- PFAFSTETTER, O. (1957) *Chuvas Intensas no Brasil*, Departamento Nacional de Obras de Saneamento, Ministério do Interior, Rio de Janeiro.

Equation for Rainfall Disaggregation Coefficients

ABSTRACT

This technical note presents an analytical equation for the disaggregation coefficients of maximum 24-hour duration rainfall totals, in corresponding totals for shorter durations. An original mathematical expression, empirically obtained, proved more precise than a logarithmic function. The fit was performed using generalized coefficients for Brazil, but the mathematical expression was fitted equally well to the regional data of the state of Rio Grande do Sul. The disaggregation coefficients, synthesized in the form of an equation, make it easier to handle them in programmable calculators, electronic spreadsheets and programming codes. Thus it provides greater speed and automation to calculate design rainfalls for sites that only have daily data.