

Aplicação do modelo Bandini, para extensão de séries hidrológicas básicas, à bacia do rio Apiaí-Guaçu

Eng. Paulo Roberto de Meilo (1)
Eng. Valter Gomes Gonçalves (2)

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma aplicação à bacia do rio Apiaí-Guaçu no Estado de São Paulo, da metodologia proposta pelo Prof. Alfredo Bandini na parte inicial desta publicação (I). Tal método constitui-se num refinamento do demonstrado no texto "Nova Metodologia para Geração e Extensão de Séries Hidrológicas Básicas", publicado em 1982, pela 12.ª Diretoria Regional do Departamento Nacional de Obras de Saneamento (II); se utiliza somente da relação entre os valores acumulados de afluxo e deflúvio dentro de períodos previamente escolhidos (subciclos), e se destina à extensão de dados hidrometeorológicos visando aproveitamentos regularizados dos recursos hídricos. Os bons resultados obtidos demonstram a sua real aplicabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Entre os profissionais ligados à área de recursos hídricos, a dificuldade maior encontrada é certamente a ausência de dados hidrometeorológicos. Com o objetivo de oferecer um instrumento que auxilie na resolução de problemas relativos a essa área, Bandini nos apresentou um método estatístico para a geração e extensão de séries hidrológicas visando aproveitamentos regularizados (II). Posteriormente esse método foi aperfeiçoado (I).

A fundamental diferença entre o método ora apresentado e o inicialmente usado na bacia semi-árida do rio Pajeú (II) (III) está na divisão em subciclos, e não mais de acordo com o ano civil, da série hidrológica básica, que no caso em estudo — bacia do rio Apiaí-Guaçu — conta com 13 anos. Essa nova divisão dos períodos hidrológicos proporciona, como se com-

provará mais adiante, um refinamento, ou seja, uma maior aproximação do modelo com as nuances do ano hidrológico.

2 BACIA ESCOLHIDA

Para a montagem de um caso-exemplo e levando-se em conta a área de atuação da 12.ª DR do DNOS, optou-se pela bacia hidrográfica do rio Apiaí-Guaçu, afluente do rio Paranapanema. Utilizou-se como seção pluviométrica, limitante da bacia, a do posto de prefixo 5E-8 (DAEE), latitude 23°48'S e longitude 48°35'W, situado no município de Buri, na 4.ª zona hidrográfica do Estado de São Paulo, Brasil. A área de contribuição da bacia é de 2.086 km² (fig. 1).

Tal bacia, em virtude de sua área relativamente grande, apresenta características físicas variadas ao longo de sua extensão. Isso fica evidenciado principalmente no que diz respeito às suas características topográficas e geológicas, pois, enquanto aproximadamente a metade de sua área a montante se caracteriza por um relevo bem acidentado (serra de Paranapiacaba) onde predominam rochas não transformadas, mais a jusante destaca-se o arenito e a topografia é mais branda; divisões semelhantes ocorrem com o clima que de montante para jusante passa de mais para menos úmido, com a vegetação que de matas e capoeiras nas áreas altas, passa a ter na região mais baixa, áreas reflorestadas, agrícolas, e de campos naturais (V) (VII).

3 DADOS PLUVIOMÉTRICOS HIDROMÉTRICOS

Os dados pluviométricos e hidrométricos foram compilados de Boletins Pluviométrico e Fluviométrico publicados pela Divisão de Hidrologia do DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica da Secretaria de Obras

e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (V) (VI).

Entretanto como faltavam dados pluviométricos em alguns postos para o período de 1970 a 1982, foi mister, para completar a série hidrológica de 13 anos, utilizar-se de princípios de correlação que achamos interessante resumir no Apêndice, uma vez que os casos considerados são os que com maior frequência se apresentam. Convém frisar (fig. 1), que existem postos pluviométricos que somente foram usados para completar dados.

Desse modo conseguiu-se dados contemporâneos de afluxo e deflúvio necessários à aplicação do modelo (tabelas 1, 2 e 3).

Usando-se o método de Thiessen e a série completa de 13 anos de dados pluviométricos, calculou-se as precipitações mensais na bacia.

Em seguida transformou-se esses valores em unidades de vazão (m³/s), apenas com o objetivo de uniformizar as unidades presentes no trabalho, afluxo e deflúvio (tabela 4).

4 METODOLOGIA APERFEIÇOADA

4.1 — Definição dos subciclos

Em virtude das modificações introduzidas no método se fez necessário construir a fig. 2 onde lançamos nas ordenadas as vazões de deflúvio Q e as vazões de afluxo Q_{ar} , tiradas das tabelas 3 e 4, respectivamente, na sucessão natural dos tempos.

Fez-se necessária ainda, a construção da curva de duração (fig. 3) das vazões de afluxo.

De posse das figs. 2 e 3 chegamos ao ponto chave do modelo. Devíamos definir limites que possibilitassem a separação da série hidrológica em subciclos. No caso estudado, após criteriosa análise, julgamos oportuno dividir o ciclo $T = 156$ meses, em três tipos de subciclos: chuvoso, pouco chuvoso e seco. Para isso foi mister definir os limites $Q_{af_{mi}}$ e $Q_{af_{mi}}^*$.

(1 e 2) Do Ministério do Interior — Departamento Nacional de Obras de Saneamento — 12.ª Diretoria Regional.

O primeiro limite foi definido calculando-se a média aritmética das vazões de afluxo no período T, e verificando-se se esse valor estava compreendido na faixa proposta por Bandini (I). Encontramos como valor médio $\overline{Q_{ar}} = 93,35 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondente a 44%, o que significa dizer que 44% das precipitações mensais na bacia estavam acima do valor médio, portanto período chuvoso.

Devíamos adotar como segundo limite Q_{af}^* , o valor de afluxo que correspondesse ao menor valor da vazão de deflúvio no ciclo T. Esse procedimento é análogo ao proposto em Bandini (I), pois à menor vazão do ciclo T corresponde a menor declividade da curva de deflúvios mensais acumulados. Na fig. 2 observou-se que o menor valor das vazões de deflúvio no ciclo foi a do mês de setembro de 1981, $Q_i = 11,10 \text{ m}^3/\text{s}$, que correspondia a vazão de afluxo $Q_{ar} = 62,74 \text{ m}^3/\text{s}$. Optou-se então pelo valor $Q_{af}^* = 60, \text{ m}^3/\text{s}$.

Em resumo, os subciclos ficavam assim definidos:

— ch (chuvoso-rainy) $\rightarrow Q_{ar} \geq 93,35 \text{ m}^3/\text{s}$

— pch (pouco-chuvoso — scarcely rainy) $\rightarrow 60,00 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q_{ar} < 93,35 \text{ m}^3/\text{s}$

— s (seco-arid) $\rightarrow Q_{ar} < 60,00 \text{ m}^3/\text{s}$

Nisto se constitui a essência da modificação da metodologia de Bandini, a divisão do ciclo T em subciclos, que melhor representa a variação dos eventos hidrometeorológicos.

4.2 — Determinação das equações

4.2.1 — Subciclos chuvosos e pouco chuvosos

Na tabela 5 ordenou-se as vazões de afluxo H_i e deflúvio V_i acumuladas de cada período chuvoso e pouco chuvoso, e suas respectivas vazões relativas

$$\frac{H_i}{H} \text{ e } \frac{V_i}{V}$$

Agrupando-se todos os períodos de igual duração e mesma característica (ch ou pch), construiu-se os gráficos da fig. 4, onde as curvas médias foram ajustadas pelo método dos mínimos quadrados. As equações obtidas foram as seguintes:

— Períodos chuvosos

dois meses

$$y = 0,9644 x^2 + 0,0356 x$$

Fig. 4 a

cinco, seis e oito meses

$$y = 0,9590 x^{1,0301}$$

Fig. 4 b

sete meses

1.º trecho

$$(0 \leq x \leq 0,425)$$

$$y = 0,9527 x^2 + 0,5957 x$$

2.º trecho

$$(0,425 < x \leq 1)$$

$$y = -0,4261 x^2 + 1,6072 x - 0,1811$$

Fig. 4 c

— Períodos pouco chuvosos

dois e três meses

$$y = 0,9989 x^{0,9509}$$

Fig. 4 d

seis meses

$$y = 0,9003 x + 0,1141$$

Fig. 4 e

sete meses

$$y = 0,9381 x + 0,0627$$

Fig. 4 f

Com H_i e V_i , totais acumulados, de H_i e V_i por período (tabela 5), construiu-se os gráficos da fig. 5, tomando-se o cuidado de agrupar períodos e características semelhantes; as curvas conseguidas foram:

— Períodos chuvosos

cinco meses

$$y = 0,4771 x - 168,1417$$

Fig. 5 a

seis e sete meses

$$y = 0,0023 x^2 - 3,1334 x + 1196,17$$

Fig. 5 b

— Períodos pouco chuvosos

dois e três meses

$$y = 0,0021 x^2 - 0,4726 x + 57,27$$

Fig. 5 c

sete meses

$$y = 0,2550 x + 22,5188$$

Fig. 5 d

4.2.2. — Subciclos secos

Quanto aos períodos de estiagem (tabela 6), foram agrupados segundo sua duração, em gráficos, em cujos eixos das ordenadas foram colocados os valores relativos Q_x/Q_0 — vazões mensais no posto 5 E-8 divididas pela vazão do último mês do período precedente (chuvoso ou pouco chuvoso) — e nas abscissas os meses desse período seco na sua sucessão natural, conforme o esquematizado na fig. 6.

Foram então calculadas as curvas de esgotamento, de acordo com a teoria desenvolvida por Bandini em (IV).

As curvas obtidas estão relacionadas abaixo:

dois meses

$$y = 6,6512 e^{-0,1149 (t_n-1)}$$

três meses

$$y = 0,8745 e^{-0,2081 (t_n-1)}$$

quatro meses

$$y = 0,6564 e^{-0,1268 (t_n-1)}$$

cinco meses

$$y = 0,9824 e^{-0,1021 (t_n-1)}$$

seis meses

$$y = 0,7464 e^{-0,0580 (t_n-1)}$$

onde t_n é o mês no qual se procura o valor da relação

$$\frac{Q_x}{Q_0}$$

4.2.3 — Observação

Com o exposto nos subitens deste item 4, temos condições de calcular vazões, se dispusermos de dados pluviométricos, ou vice-versa, bastando para isso que se organize os dados de forma a possibilitar sua entrada nas tabelas e gráficos citados.

4.3 — Teste de precisão do modelo

Como dito anteriormente esta metodologia se presta à geração de dados hidrometeorológicos visando aproveitamentos regularizados de recursos hídricos.

No intuito de se verificar seu comportamento e sua precisão, aplicou-se a mesma, à construção de um reservatório fictício no rio Apiaí-Guaçu, que teria o eixo da barragem coincidindo com a seção do posto fluviométrico 5E-8.

Em síntese, o teste de precisão do modelo é a comparação das vazões calculadas e reais.

4.3.1 — Subciclos chuvosos e pouco chuvosos

Levando-se em conta a característica (chuvoso ou pouco chuvoso) de cada período e sua duração, utilizou-se os valores H_i/H medidos da tabela 5 para calcular V_i/V , através da fig. 4.

Recorrendo-se à fig. 5, e utilizando-se H_i real, que é o máximo valor de H_i em cada período, obteve-se V_i calculado.

Tinha-se então o valor da relação V_i/V e o valor de V_i , ambos calculados, daí tirou-se V_i .

Essa sequência está demonstrada na tabela 7.

4.3.2 — Subciclos secos

Obtidas as vazões dos períodos chuvosos e pouco chuvosos, só aí pôde-se calcular as dos subciclos de estiagem. Pois, a vazão média mensal calculada do último mês do período precedente ao seco, deve ser multiplicada pelos valores da relação Q_e/Q_m , tirados das equações de esgotamento deduzidas no item 4.2.2, levando naturalmente em consideração a duração do período seco que estamos calculando (tabela 7).

4.3.3 — Aproveitamento regularizado

Organizou-se a tabela 8, onde se comparou as vazões reais com as calculadas.

Obteve-se a capacidade útil do reservatório em função dessas vazões calculadas, utilizando-se da fórmula:

$$C_e = (f_c > 0)_{\max} + (f_c < 0)_{\max}$$

$$C_e = 258,38 + 17,10$$

$$C_e = 275,48 \text{ m}^3/\text{s} = 714,04 \text{ hm}^3$$

A comparação fica melhor evidenciada na fig. 7, onde é notória a aderência entre as curvas de valores medidos e calculados, além da compensação entre os volumes acumulados ao longo do tempo.

Aqui, cabe uma explicação: tanto a tabela 8 quanto a fig. 7 foram construídas usando-se a rotação de eixos exposta no item III.5.5 do trabalho (I) de Bandini.

Julgou-se, ainda, oportuno um esclarecimento a respeito da operação do reservatório em questão.

Verificou-se, na fig. 7, que no período maio a julho de 1982, as vazões medidas eram inferiores à regularizada, e o volume acumulado assumia valores negativos, o que configurava um colapso, ou falta d'água no sistema. Mostra-se então na fig. 8 e tabela 9 a forma de proceder para se resolver o problema.

A operação seguirá a reta das vazões regularizadas q_{r1} até o ponto A, no trecho AB_1 acompanhará F_r e do ponto B_1 em diante seguirá q_{r2} , paralela a q_r , deslocada para baixo de $9,25 \text{ m}^3/\text{s}$.

5 — Metodologia precedente

Objetivando uma posterior comparação que ajudasse a esclarecer as diferenças entre as metodologias aperfeiçoada (I) e precedente (II), aplicou-se esta última à mesma bacia do rio Apiaí-Guaçu, onde os 156 meses de dados disponíveis de precipitação e deflúvio mensais foram divididos em períodos iguais de 12 meses, isto é, respeitou-se o ano civil, e não mais, em subciclos de mesma característica e igual duração usados anteriormente.

5.1 — Aplicação

Com os dados das tabelas 3 e 4, montou-se a tabela 10, de onde tiramos os elementos necessários para a construção dos gráficos:

$$a) \quad V_i/V = f(H_i/H)$$

(Fig. 9)

Os 156 pontos que formam a nebulosa foram convenientemente agrupados em conjuntos, cujos baricentros foram calculados; este artifício nos possibilitou determinar as seguintes equações:

1.º trecho

$$(0 < X \leq 0,5805)$$

$$y = 0,6680 X^2 + 0,6510 X + 0,0150$$

2.º trecho

$$(0,5805 \leq X \leq 1)$$

$$y = -0,9600 X^2 + 2,4278 X - 0,4678$$

b) $V_i = f(H_i)$ (fig. 10)
de equação:

$$V_i = 0,0054 H_i^{1,5483}$$

A partir das equações advindas das figs. 9 e 10, e com os valores H_i/H reais obteve-se V_i calculado, e por diferença entre dois valores consecutivos, chegou-se às vazões médias mensais Q_e (tabela 11).

$$Q_e = (V_i + 1) - (V_i)$$

5.2 — Teste de precisão

De maneira análoga à que se procedeu com o método aperfeiçoado, construiu-se a tabela 12, que permitiu a comparação das vazões reais e as calculadas, e dimensionou-se o reservatório através de:

$$C_e = (f_c - q_c)_{\max} + (q_c - f_c)_{\max}$$

$$C_e = 186,78 + 54,12$$

$$C_e = 240,90 \text{ m}^3/\text{s} = 624,41 \text{ hm}^3$$

É importante frisar que neste caso a análise do aproveitamento regularizado será feita apenas com base na tabela 12, na qual optou-se pelo processo descrito no item III.5.2 de Bandini (I), isto é, sem rotação dos eixos.

Da comparação entre os valores reais e os calculados percebe-se, apesar do bom desempenho, um maior afastamento entre as curvas, uma menor uniformidade no afastamento e uma menor compensação nos volumes ao longo do ciclo.

Quanto à operação, mostra-se na tabela 13 o procedimento a ser adotado para minimizar os efeitos de um extravasamento (fevereiro a abril/77) e de um colapso (maio e junho/82). No primeiro caso a perda d'água somou 38,41 m³/s, ou 99,56 hm³, e no segundo o déficit foi 8,47 m³/s, ou 21,95 hm³.

6 Comparação dos métodos

Com o auxílio da tabela 14, percebemos vantagens da metodologia aperfeiçoada em relação à precedente, nos seguintes aspectos:

a) maior aproximação na distribuição das vazões calculadas e reais, ao longo do ciclo, como fica evidente ao se comparar as médias das diferenças

$$(\overline{f_c - f_r}),$$

$$(\overline{f_c - f_r})_{prec.} = -26,35 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$(\overline{f_c - f_r})_{apert.} = -2,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) uma compensação quase perfeita entre as diferenças positivas e negativas dos volumes armazenados (reais e calculados), o que se verifica ao contrapor-se as médias das diferenças ($f_c - f_r$) negativas e positivas,

Precedente

$$(\overline{f_c - f_r})_{neg.} = -51,87 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$(\overline{f_c - f_r})_{pos.} = 27,73 \text{ m}^3/\text{s}$$

Aperfeiçoado

$$(\overline{f_c - f_r})_{neg.} = -23,65 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$(\overline{f_c - f_r})_{pos.} = 23,80 \text{ m}^3/\text{s}$$

c) através do cálculo dos desvios-padrão, comprovamos também a menor dispersão das diferenças ($f_c - f_r$),

$$\sigma_{prec.} = 44,67 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\sigma_{apert.} = 26,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

d) o valor da vazão média calculada se aproxima mais da vazão média real,

$$\overline{Q}_{prec.} = 23,82 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\overline{Q}_{apert.} = 24,29 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\overline{Q}_r = 24,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

e) o valor da capacidade obtida das vazões calculadas se aproxima muito mais da obtida com os valores reais,

$$C_{prec.} = 240,90 \text{ m}^3/\text{s} = 624,41 \text{ hm}^3$$

$$C_{apert.} = 275,48 \text{ m}^3/\text{s} = 714,04 \text{ hm}^3$$

$$C_r = 269,83 \text{ m}^3/\text{s} = 699,40 \text{ hm}^3$$

f) melhor desempenho na operação do reservatório fictício, visto que na metodologia precedente tivemos dois casos críticos (um colapso e um extravasamento), e na aperfeiçoada só um (colapso).

7 CONCLUSÕES

A condição ideal para qualquer método que se destine à obtenção de dados hidrometeorológicos, seria levar em conta todas as fases do ciclo hidrológico. Em virtude das inúmeras variáveis envolvidas, o problema é de difícil solução, podendo somente ser resolvido através de simulação por computador, o que é trabalhoso e necessita grande número de dados confiáveis, ainda não fáceis de se obter em nosso país.

Podemos ainda simplificar a questão, por exemplo, usando-se três variáveis, duas consideradas principais (afluxo e deflúvio) e outra convenientemente escolhida (vazão antes da chuva, ou precipitação antecedente, ou teor de umidade do solo etc.).

A metodologia proposta por Bandini, que consiste no estabelecimento de critérios de correlação obtidos também de forma gráfica, demonstra reais vantagens, pois permite trabalhar somente com duas variáveis do ciclo hidrológico, quais sejam, afluxo mensal na bacia, e deflúvio mensal na seção considerada, ao mesmo tempo que, implicitamente, leva em conta todas as características da bacia em estudo: geologia, topografia, tamanho e forma da bacia, vegetação, clima etc. Usa valores acumulados e adimensionais, os quais, respectivamente, nos possibilitam:

— relacionar as condições do mês em referência às antecedentes, dentro de um mesmo subciclo,

— trabalhar em um único gráfico com todos os períodos de iguais características e duração.

Conforme o observado no item 6 deste trabalho, comprovamos que a metodologia aperfeiçoada é superior à precedente, graças à divisão da série histórica básica em subciclos. O método que como já foi dito, visa aproveitamentos regularizados, mostrou-se de aplicação rápida, e, no caso em estudo, de excelente precisão. Essa precisão pode ser comprovada quantitativamente através do resultado exposto na última coluna da tabela 14, onde temos

$$\frac{(\overline{f_c - f_r})}{C_c} = 0,75\%$$

já que esse baixíssimo índice nos dá idéia da pequena diferença média entre as vazões calculadas e reais, da não ocorrência de grandes disparidades entre elas, da compensação dos volumes acumulados ao longo do ciclo, e do acerto no dimensionamento do reservatório.

Uma outra vantagem do método seria a sua reversibilidade, pois se no dimensionamento de reservatórios calculamos as vazões a partir das precipitações, nos seria de grande valia, na irrigação saber a precipitação média mensal a partir de dados de vazão existentes.

8 AGRADECIMENTOS

Manifestamos nossa gratidão ao eng. Sérgio Cirne de Toledo e à srta. Maria Lúcia Parziale do Departamento de Águas e Energia Elétrica - SP, e aos funcionários e dirigentes da 12.ª Dr. do DNOS, que de uma maneira ou de outra colaboraram na elaboração do presente trabalho.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 — Bandini, A. (1984) — Extensão de Séries Hidrológicas Básicas — Considerações Complementares sobre uma nova Metodologia. (Basic Hydrological Series Extension. Complem. Considerations about a New Methodology) — DNOS - Santos.

- II — Bandini, A. (1982) — Nova Metodologia para Geração e Extensão de Séries Hidrológicas Básicas. (New Methodology about basic hydrological series generation and extension) — DNOS - Santos.
- III — Nucci, N. L. (1982) — Aplicação em bacias de clima semi-árido (na mesma publicação II).
- IV — Bandini, A. (1967) — Hidrologia — Serviços de Publicação da EESC da USP — São Carlos.
- V — DAEE (1971) — Boletim Fluviométrico n.º 1.
- VI — DAEE — Boletins Pluviométricos.
- VII — Secretaria de Economia e Planejamento (1978), Atlas Regional do Estado de São Paulo.

APÊNDICE

Como já mencionamos no item 3 do trabalho, para completar a série hidrológica básica de 13 anos foi necessário usar métodos de correlação.

Convencionou-se chamar de:

- h = valor da precipitação (mm);
- f = posto em que falta o dado;
- x = ano em que falta o dado;
- y = mês em que falta o dado;
- i = posto genérico;
- j = ano genérico;
- r = mês genérico;
- d = total de postos próximos a f;
- n = total de anos da série.

A seguir relatamos os casos observados e as soluções propostas:

a) Precipitações anuais nos postos pluviométricos (Tabela 1).

Problema: falta valor anual x, do posto f, na área de influência dos postos 1, 2, ..., d.

Solução:

$$h_{fx} = \sum_{i=1}^d h_{ix} \cdot \frac{\sum_{j=1}^n h_{fj}}{\sum_{i=1}^d \left(\sum_{j=1}^n h_{ij} \right)}$$

onde: h_{ix} = valores de precipitação no ano x dos postos próximos a f.

h_{fj} = valores de precipitação no posto f de todos os anos para os quais dispomos de dados, ou seja, (n-1) anos.

h_{ij} = valores de precipitação dos postos vizinhos a f, de todos os anos do período considerado (n anos), exceto o ano x.

b) Precipitações mensais nos postos pluviométricos (tabela 2)

b.1) Problema: faltam todos os valores mensais y = r, com r = 1, 2, ..., 12, do ano x, no posto f.

Solução: usa-se dados mensais de um posto vizinho d e do próprio posto f.

$$h_{fxr} = h_{rx} \cdot \frac{h_{dxr}}{h_{dx}} \cdot \frac{\bar{h}_{fjr}}{\bar{h}_{djr}} \cdot \frac{\sum_{r=1}^{12} \bar{h}_{fjr}}{\sum_{r=1}^{12} \bar{h}_{djr}}$$

onde: h_{fxr} = valor da precipitação no posto f, ano x, para qualquer dos meses do ano (r = 1, 2, ..., 12).

h_{rx} = valor da precipitação em f, ano x, obtido por correlação.

h_{dxr} = valor da precipitação em d, ano x, para qualquer dos meses r do ano.

h_{dx} = valor da precipitação anual em d, ano x.

\bar{h}_{djr} = valor médio da precipitação mensal, no posto d, obtido para qualquer mês (r = 1, 2, ..., 12) com os dados de (n-1) anos (exceto o ano procurado em f)

$$\bar{h}_{djr} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} h_{djr}$$

$\sum_{j=1}^{12} \bar{h}_{djr}$ = soma dos 12 valores médios \bar{h}_{djr}

\bar{h}_{fjr} = valor médio da precipitação mensal, no posto f, obtido para qualquer mês r com os dados de (n-1) anos (exceto os do ano procurado).

$$\bar{h}_{fjr} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} h_{fjr}$$

$\sum_{r=1}^{12} \bar{h}_{fjr}$ = soma dos 12 valores médios \bar{h}_{fjr}

Observação: calculados os valores h_{fxr} , a soma dos mesmos ao longo do ano x, dará o novo valor anual h'_{fx} .

$$h'_{fx} = \sum_{r=1}^{12} h_{fxr}$$

b.2) Problema: falta valor mensal y, do posto f, no ano x, na área de influência dos postos (i = 1, 2, ..., d), que possuem dados desse mês y.

Solução:

$$h_{fxy} = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d \left(\frac{h_{ixy}}{h_{ix}} \right) \cdot h_{fx}$$

Onde: h_{ixy} = valores de precipitação do mês y, do ano x, para cada posto i nas redondezas de f.

h_{fx} = valores de precipitação do ano x para cada posto i, vizinho de f.

h_{fx} = valor de precipitação anual obtido por correlação, do posto f.

b.3) Problema: falta valor mensal y, do ano x, posto f.

Solução: usa-se dados de outros anos da série, do mesmo posto f.

$$h_{fxy} = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{j=1}^{n-1} \left(\frac{h_{fjy}}{\sum_{r=1}^{11} h_{fjr}} \right) \right] \cdot \sum_{r=1}^{11} h_{fxr}$$

onde: h_{fjy} = valores de precipitação do mês y, no posto f, para todos os anos (n-1) nos quais dispomos de dados.

h_{fjr} = valores de precipitação de todos os meses r (excetuando o mês y de cada ano j), de todos os anos j = n-1 nos quais dispomos de dados

h_{fxr} = valores de precipitação de todos os meses r (excetuando o mês y), do ano x, no posto f.

b.4) Problema: falta valor mensal y, do posto f, no ano x.

Solução: usa-se dados do mesmo ano de postos vizinhos.

$$h_{fxy} = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d h_{ixy}$$

Onde: h_{ixy} = valores de precipitação do mês y, ano x, para todos os postos vizinhos a f.

b.5) Problema: falta valor mensal y, do posto f, no ano x.

Solução: usa-se somente dados do mesmo posto f.

$$h_{fxy} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} h_{fjy}$$

Onde: h_{fjy} = valores de precipitação do mês y, no posto f, para todos os anos, excetuando o ano x.