INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO

CENTRO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA PROF. PARIGOT DE SOUZA

PROJETO HG-194

ESTUDOS DE CONSISTÊNCIA E RECONSTITUIÇÃO DE SÉRIES DE VAZÕES NATURAIS NA BACIA DO RIO PARANAPANEMA

RELATÓRIO TÉCNICO Nº 6

Análise dos dados das estações pluviométricas

AGOSTO/2003

INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO

CENTRO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA PROF. PARIGOT DE SOUZA

TIPO DE DOCUMENTO: Relatório Técnico

Título: **PROJETO HG194**	ESTUDOS DE CONSISTÊNCIA E RECONSTITUIÇÃO DE SÉRIES DE VAZÕES NATURAIS NA BACIA DO RIO PARANAPANEMA RELATÓRIO TÉCNICO N° 6 – Análise dos dados das estações pluviométricas

AUTORES: Márian da Costa Rohn CREA 50481/D – PR
Nagila Terezinha Freiria CREA 29285/D – PR

COLABORADORES:

OBJETIVO:

Este relatório tem a finalidade de descrever as atividades realizadas pelo CEHPAR referentes ao relatório nº 6 do Projeto HG-194 – Estudos de consistência e reconstituição de séries de vazões naturais na bacia do rio Paranapanema.

RESUMO:

Este relatório apresenta os critérios e os métodos para a análise e consistência dos dados das estações pluviométricas da bacia do rio Paranapanema, contempladas neste estudo.

PALAVRAS-CHAVE: dados pluviométricos, consistência, séries naturais

OBSERVAÇÕES:

TIPO DE EDIÇÃO:

( ) PRELIMINAR (X) FINAL ( ) REVISÃO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

2 DEFINIÇÃO DAS ESTAÇÕES 2

3 CONSISTÊNCIA DOS DADOS 6

4 ANÁLISE DAS ESTAÇÕES 11

5 BIBLIOGRAFIA 16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações pluviométricas 2

Tabela 2 – Estações consistidas pelo Método da Ponderação Regional 8

Tabela 3 – Curvas duplo-acumulativas 9

Tabela 4 – Estação consistida pelo Método da Regressão Linear 10

1. INTRODUÇÃO

Este relatório faz parte do ciclo de atividades relacionadas ao Projeto HG-194, denominado "*Estudos de consistência e reconstituição de séries de vazões naturais na bacia do rio Paranapanema*". O Projeto HG-194 é um estudo contratado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, junto ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento- LACTEC, sendo desenvolvido através do Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza – CEHPAR. O ONS, órgão responsável pela operação do Sistema Interligado Nacional – SIN, em cooperação com o Ministério de Minas e Energia - MME, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e Agência Nacional de Águas - ANA, supervisiona os estudos de consistência e reconstituição de séries de vazões naturais nas principais bacias hidrográficas, com aproveitamentos integrantes do SIN.

O Projeto HG-194 consiste na disponibilização de séries consistidas de vazões naturais homogêneas, no que se refere à compatibilidade entre os dados médios diários (atualizados até dezembro de 2001), mensais e anuais (no período de janeiro de 1931 até dezembro de 2001) para a bacia do rio Paranapanema, de tal forma que possam ser utilizadas na cadeia de planejamento da operação eletroenergética e hidráulica do SIN.

Este relatório tem por objetivo apresentar os resultados da consistência de dados pluviométricos de estações localizadas na bacia do Rio Paranapanema. Foram consistidos os dados de totais pluviométricos mensais de 26 estações.

O relatório é organizado da seguinte maneira: o capítulo 2 traz a listagem das estações estudadas e os capítulos seguintes tratam dos trabalhos de consistência propriamente ditos.

2. DEFINIÇÃO DAS ESTAÇÕES

Foram consistidos os dados dos totais pluviométricos mensais de 26 estações localizadas na bacia do Rio Paranapanema.

Na Tabela 1 são listadas as estações pluviométricas consideradas e a Figura 1 mostra a localização das mesmas. A Figura 2 representa o diagrama de disponibilidade dos dados pluviométricos.

Tabela 1 – Estações pluviométricas

N.	Código	Nome	Entidade	Latitude	Longitude	Período
01	02249031	Sta. Cruz do Rio Pardo	ANA	-22,90	-49,62	1938-1981
02	02249032	Sta. Cruz do Rio Pardo	DAEE-SP	-22,90	-49,62	1955-2000
03	02250023	Usina Pari	DAEE-SP	-22,88	-50,33	1938-2000
04	02250051	Bairro Água do Matão	DAEE-SP	-22,67	-50,62	1944-2000
05	02251014	Narandiba	DAEE-SP	-22,42	-51,52	1944-2000
06	02347073	Sorocaba	INEMET	-23,30	-47,27	1961-1998
07	02348008	Avaré	DAEE-SP	-23,10	-48,92	1939-2000
08	02348027	Buri	DAEE-SP	-23,80	-48,58	1951-2000
09	02348028	Itapetininga	DAEE-SP	-23,35	-48,02	1939-2000
10	02348031	Itapeva	DAEE-SP	-23,48	-48,52	1946-2000
11	02348033	Angatuba	ANA	-23,56	-48,39	1938-2001
12	02348037	Cerradinho	ANA	-23,96	-48,28	1939-2001
13	02348040	Avaré	INEMET	-23,06	-48,55	1968-1998
14	02348041	Itapetininga	INEMET	-23,36	-48,03	1961-1970
15	02348043	Itapeva	INEMET	-23,57	-48,53	1961-1993
16	02349005	Porto Ermidão	ANA	-23,08	-49,74	1951-2001
17	02349007	Piraju	ANA	-23,19	-49,39	1938-2001
18	02349017	Taquarituba	DAEE-SP	-23,53	-49,23	1939-2000
19	02349020	Itaporanga	ANA	-23,71	-49,47	1951-2001
20	02349033	Tomazina	ANA	-23,77	-49,95	1937-2001
21	02350000	Jataizinho	ANA	-23,26	-50,98	1938-1999
22	02350001	Porto Sta Terezinha	ANA	-23,13	-50,46	1945-1998
23	02350002	Andirá	ANA	-23,09	-50,29	1945-2001
24	02449000	Capela da Ribeira	ANA	-24,39	-49,00	1938-2001
25	02450002	Tibaji	ANA	-24,50	-50,40	1938-2001
26	02450009	Bom Jardim	ANA	-24,70	-50,48	1941-2000

Figura 1 – Localização das estações pluviométricas

Figura 2 – Diagrama da disponibilidade de dados pluviométricos (1 de 2)

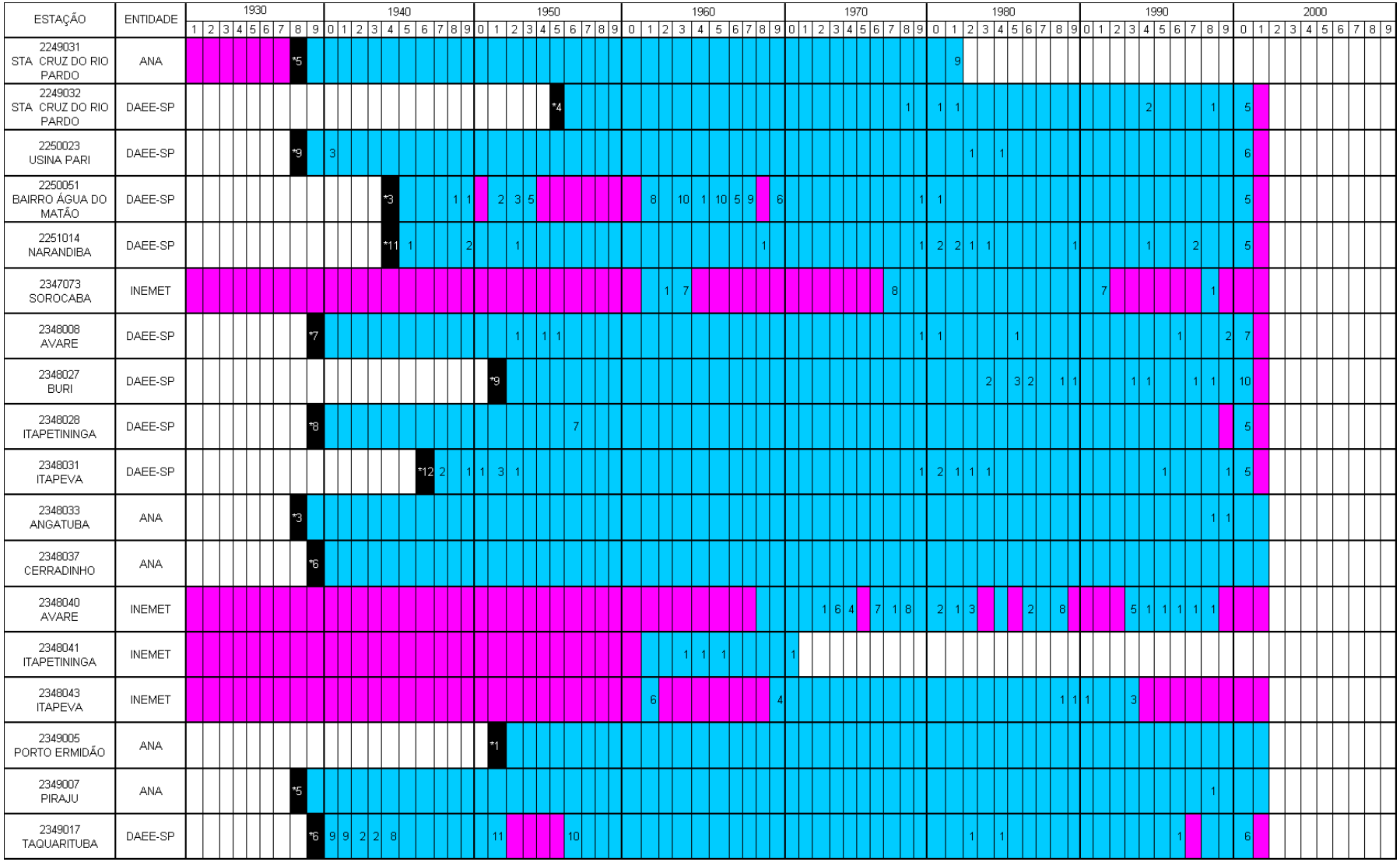
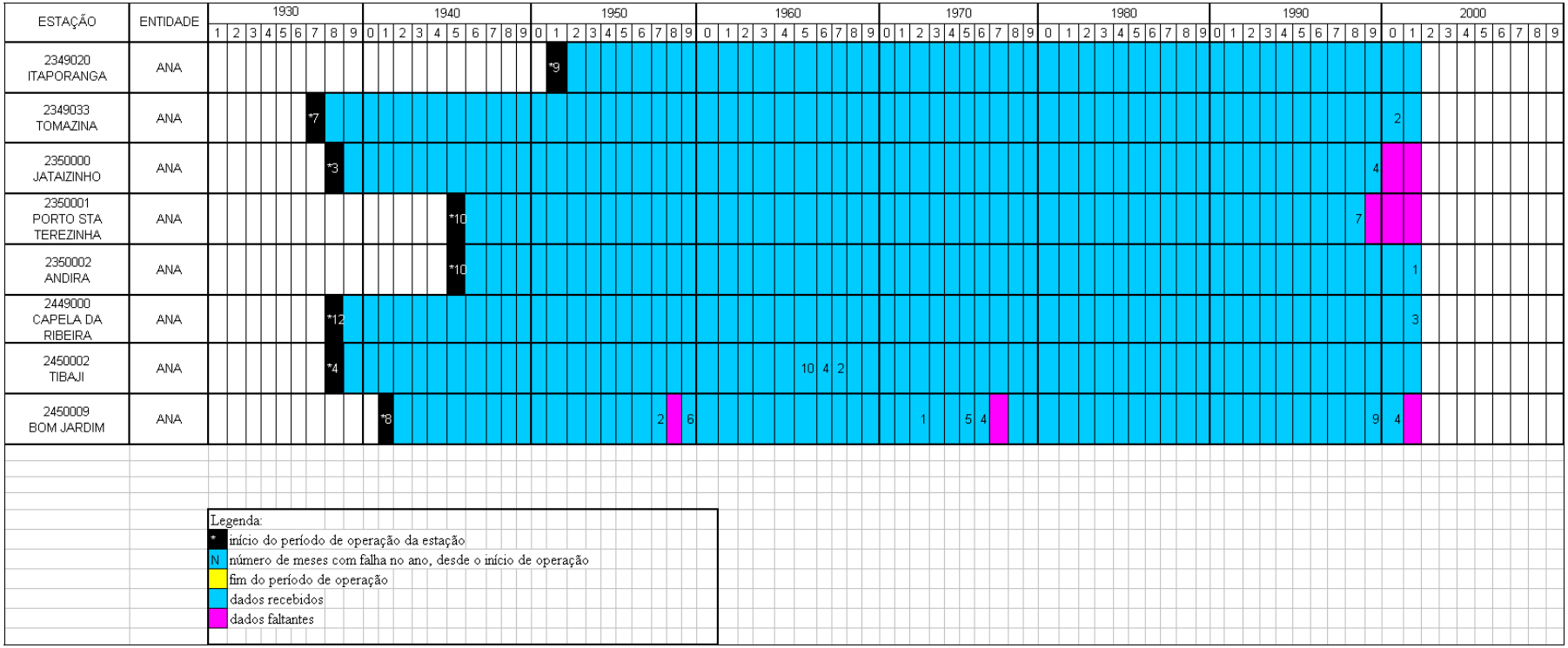


Figura 2 – Diagrama da disponibilidade de dados pluviométricos (2 de 2)



3. CONSISTÊNCIA DOS DADOS

O objetivo de uma estação de medições de alturas de chuvas é o de obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos. É normal, contudo, a existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações, devido a problemas com a localização da estação, com os aparelhos de registro ou com o operador da estação. Os dados coletados, portanto, devem ser submetidos a uma análise antes de serem utilizados.

O trabalho de consistência dos dados pluviométricos, no escopo deste projeto, foi realizado na escala mensal. Usualmente valores diários são de difícil preenchimento devido à grande variação espacial e temporal da precipitação para os eventos de freqüências médias e pequenas.

O primeiro passo no processo de consistência foi a identificação e correção de erros grosseiros. Após essa análise, foi realizado o preenchimento das falhas na série de dados mensais de precipitação. As lacunas foram identificadas e posteriormente preenchidas pelo Método da Ponderação Regional. Trata-se de um método freqüentemente utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitação, visando a homogeneização do período de informações e a análise estatística das precipitações (Tucci, 1993). O método baseia-se nos seguintes procedimentos:

1) Supõe-se que a precipitação na estação X (P_x) seja proporcional às precipitações nas estações vizinhas A, B, e C em um mesmo período, que serão representadas por x_1, x_2 e x_3;
2) Supõe-se que o coeficiente de proporcionalidade seja a relação entre a média y_m e as médias x_{m1}, x_{m2} e x_{m3}, no mesmo intervalo de anos, ou seja, as precipitações são proporcionais a suas médias;
3) Adota-se como valor y_c , a média entre os três valores calculados a partir de três estações auxiliares, conforme a equação a seguir:

$$y_c = \frac{1}{3}\left(\frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}}\right).y_m$$

Uma importante condição verificada antes da aplicação do método é que as estações auxiliares devem estar em uma região homogênea, sob o ponto de vista

climatológico, à estação a ser preenchida. A fim de averiguar esta condição, utilizou-se de um atlas pluviométrico de Estado de São Paulo, contemplando as estações que estivessem em locais com a mesma faixa de precipitações.

O preenchimento efetuado por esta metodologia é simples e apresenta algumas limitações quando cada valor é visto isoladamente. Uma vez que o resultado estatístico da precipitação não sofre significativamente com as limitações deste preenchimento, o valor preenchido é utilizado para homogeneizar séries de precipitações para a análise estatística regional. Para o preenchimento de valores diários de precipitação não se deve utilizar esta metodologia, pois os resultados não são satisfatórios. As estações cujas falhas foram preenchidas por este método estão apresentadas na Tabela 2.

Depois de preenchidas as falhas, partiu-se para a análise de consistência das séries pluviométricas, pois é necessário analisar a sua consistência dentro de uma visão regional, isto é, comprovar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis numa estação com relação às observações registradas em estações vizinhas. O método da Dupla Massa, ou Curva Duplo Acumulativa, desenvolvido pelo Geological Survey (USA), é uma prática comum adotada, sendo válida apenas para séries mensais ou anuais.

O método consiste em selecionar as estações de uma região, acumular para cada uma delas os valores mensais ou anuais, e plotar num gráfico cartesiano os valores acumulados correspondentes à estação a consistir (nas ordenadas) e de uma outra estação confiável adotada como base de comparação (nas abcissas). Um aprimoramento do método, e que é utilizado neste trabalho, consiste em obter-se os valores médios das precipitações mensais acumuladas em várias estações da região, considerada homogênea, e utilizar a série formada desta maneira como base de comparação (plotando estes valores nas abcissas).

Se os valores da estação a consistir são proporcionais aos observados na base de comparação, as mesmas devem alinhar-se segundo uma única reta. Para as estações que apresentaram inconsistências em suas curvas duplo-acumulativas, o primeiro procedimento adotado foi a redução do número de estações para a obtenção da média acumulada. Somente as estações mais próximas e com regimes pluviométricos semelhantes passaram a fazer parte desta média. Este procedimento visou eliminar a hipótese de comparações entre estações com regimes pluviométricos diferentes.

Tabela 2 – Estações consistidas pelo Método da Ponderação Regional

Estação com falhas	**Estações utilizadas no preenchimento**
Bom Jardim (02450009)	Ivaí (02550006) Tibaji (02450002)
Itapeva (02348031)	Itapeva (02348043) Angatuba (02348033) Cerradinho (02348037)
Itapeva (02348043)	Itapeva (02348031) Angatuba (02348033) Cerradinho (02348037)
Angatuba (02348033)	Itapeva (02348031) Cerradinho (02348037) Itaporanga (02349020)
Avaré (02348008)	Piraju (02349007) Cerradinho (02348037) Porto Ermidão (02349005)
Avaré (02348040)	Piraju (02349007) Cerradinho (02348037) Porto Ermidão (02349005)
Piraju (02349007)	Avaré (02348008) Cerradinho (02348037)
Porto Ermidão (02349005)	Avaré (02348008) Cerradinho (02348037)
Itapetininga (02348028)	Itaporanga (02349020) Cerradinho (02348037) Porto Ermidão (02349005)
Itapetininga (02348041)	Itaporanga (02349020) Cerradinho (02348037) Porto Ermidão (02349005)
Buri (02348027)	Angatuba (02348033) Cerradinho (02348037) Itaporanga (02349020)
Bairro Água do Matão (02250051)	Tomazina (02349033) Jataizinho (02350000) Andirá (02350002)
Tomazina (02349023)	Bairro Água do Matão (02250051) Jataizinho (02350000) Andirá (02350002)
Jataizinho (02350000)	Bairro Água do Matão (02250051) Tomazina (02349023) Andirá (02350002)
Usina Pari (02250023)	Porto Ermidão (02349005) Jataizinho (02350000) Andirá (02350002)
Taquarituba (02349017))	Piraju (02349007) Angatuba (02348033) Cerradinho (02348037)
Narandiba (02251014)	Tomazina (02349033) Porto Sta Terezinha (02350001) Andirá (02350002)
Sorocaba (02347073)	Itapetininga (02348028) Angatuba (02348033) Buri (02348027)

A Tabela 3 traz um resumo das estações utilizadas no cálculo da média acumulada para cada estação.

Tabela 3 – Curvas duplo-acumulativas

Estação	**Estações utilizadas no cálculo da média acumulada**
Sta. Cruz do Rio Pardo (02249031)	Sta. Cruz do Rio Pardo (02249032)
Sta. Cruz do Rio Pardo (02249032)	Sta. Cruz do Rio Pardo (02249031)
Usina Pari (02250023)	Porto Ermidão, Jataizinho, Andirá
Bairro Água do Matão (02250051)	Tomazina, Jataizinho, Andirá
Narandiba (02251014)	Porto Sta Terezinha, Tomazina, Andirá
Sorocaba (02347073)	Itapetininga (028), Angatuba e Buri
Avaré (02348008)	Avaré (02348040), Piraju Cerradinho
Buri (02348027)	Angatuba, Cerradinho, Itaporanga
Itapetininga (02348028)	Itapetininga (02348041)
Itapeva (02348031)	Itapeva (02348043)
Angatuba (02348033)	Itapeva (031) Cerradinho Itaporanga
Cerradinho (02348037)	Itaporanga, Angatuba
Avaré (02348040)	Avaré (02348008)
Itapetininga (02348041)	Itapetininga (02348028)
Itapeva (02348043)	Itapeva (02348031)
Porto Ermidão (02349005)	Avaré Cerradinho
Piraju (02349007)	Avaré (008), Cerradinho
Taquarituba (02349017)	Angatuba, Cerradinho, Piraju
Itaporanga (02349020)	Cerradinho, Angatuba
Tomazina (02349033)	Bairro Água do Matão, Jataizinho, Andirá
Jataizinho (02350000)	Bairro Água do Matão, Tomazina, Andirá
Porto Sta Terezinha (02350001)	Bairro Água do Matão, Jataizinho, Tomazina
Andirá (02350002)	Tomazina, Jataizinho
Capela da Ribeira (02449000)	Tibaji, Cerradinho
Tibaji (02450002)	Bom Jardim (02450009)
Bom Jardim (02450009)	Tibaji (02450002)

Quando as inconsistências persistiam, adotou-se um procedimento de investigação a fim de detectar as leituras duvidosas, incluindo-se os erros de transcrição e sistemáticos.

Com a propósito de auxiliar na busca pelas leituras duvidosas, foi realizado o traçado dos hietogramas mensais e anuais. A partir da análise destes gráficos, em conjunto com as curvas duplo-acumulativas, foram detectadas as leituras possivelmente incorretas.

Para a correção destas leituras, foi empregado um método mais aprimorado de preenchimento de falhas, que consiste em utilizar as regressões lineares simples e múltipla.

Na regressão linear simples, as precipitações de uma estação com falhas e de uma estação vizinha são correlacionadas. Na regressão múltipla, as informações pluviométricas da estação Y são correlacionadas com as correspondentes observações de várias estações vizinhas. As equações de regressão podem ser:

a) com termo independente: $P_{Ai} = a_0 + a_1 P_{Bi} + a_2 P_{Ci} + ...$

b) sem termo independente: $P_{Ai} = a_1 P_{Bi} + a_2 P_{Ci} + ...$

onde:

i = número de períodos (anos ou meses do estudo);

A, B, C = estações pluviométricas (A é a estação dependente e B, C, etc., são as estações independentes);

P = total precipitado (mensal ou anual).

Para este estudo, foram empregadas as regressões sem termo independente. Desse modo, a ausência de chuvas nas estações independentes caracteriza também a ausência de chuva na estação dependente.

A escolha das estações independentes levou em consideração critérios tais como proximidade e semelhança de regime pluviométrico com a estação a ser consistida.

A Tabela 4 mostra a estação com falhas preenchidas por meio deste método.

Tabela 4 – Estação consistida pelo Método da Regressão Linear

Estação com erros	**Meses preenchidos**	**Estações utilizadas no preenchimento**	**Equação da regressão**
Itapetininga (I_{041})	12/1961	Itapetininga (I_{028})	I_{041}=0,9384 (I_{028})

4. ANÁLISE DAS ESTAÇÕES

- Sta. Cruz do Rio Pardo (02249031)

  A duplo-acumulativa construída apresentou bons resultados, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série. A curva duplo-acumulativa para as duas estações Sta. Cruz do Rio Pardo, no período em comum entre as duas, obteve bons resultados.

- Sta. Cruz do Rio Pardo (02249032)

  As considerações para a estação 02249031 são válidas aqui.

- Usina Pari (02250023)

  A duplo-acumulativa construída apresentou bons resultados, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Bairro Água do Matão (02250051)

  Foram construídas duas curvas duplo-acumulativas para esta estação em dois períodos diferentes, porque ela apresenta um período de falhas que vai desde 1954 a 1960 e que não foi preenchido. As duas curvas resultaram boas.

- Narandiba (02251014)

  A curva duplo-acumulativa construída para esta estação apresentou resultados razoáveis, mas foi considerada aceitável pelo fato das estações utilizadas para o cálculo da média acumulada não estarem tão próximas da estação principal.

- Sorocaba (02347073)

  Foi construída uma duplo-acumulativa para o período de 1977 a 1998, que resultou boa. No entanto, a série fornecida está muito falha e por isso, não é possível tecer mais comentários sobre sua qualidade.

- Avaré (02348008)

  A curva duplo-acumulativa construída para esta estação apresentou resultados razoáveis, mas foi considerada aceitável pelo fato das estações utilizadas para o cálculo da média acumulada não estarem tão próximas da estação principal. Foi construída outra curva, com a estação Avaré (2348040), para os períodos em comum entre ambas, e esta também foi considerada aceitável.

- Buri (02348027)

  A duplo-acumulativa construída apresentou bons resultados, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Itapetininga (02348028)

  Esta estação foi incluída com o intuito de complementar a estação 02348041. A curva duplo-acumulativa entre ambas, para o período em comum, apresentou resultados bastante bons. A correlação entre os dados das duas estações é alta, o que permitiu que fosse detectada uma leitura duvidosa na estação 02348041 e que a mesma fosse modificada.

- Itapeva (02348031)

  Esta estação foi incluída com o intuito de complementar a estação 02348043. A curva duplo-acumulativa entre ambas, para o período em comum, apresentou-se razoável. Esta curva foi construída para um período muito curto, porque a estação 02348043 está bastante incompleta. A curva duplo-acumulativa da estação 02348031 com a média acumulada das estações vizinhas obteve melhores resultados.

- Angatuba (02348033)

  A duplo-acumulativa construída apresentou bons resultados, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Cerradinho (02348037)

  A duplo-acumulativa construída apresentou bons resultados, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Avaré (02348040)

  As considerações para a estação 02248008 são válidas aqui. É válido acrescentar que esta estação apresenta muitos períodos falhos e que por isso não foi possível realizar uma análise mais completa da estação.

- Itapetininga (02348041)

  As considerações sobre a estação 02348028 são válidas aqui. No entanto, esta estação apresenta uma série muito incompleta, de modo que somente parte dela pôde ser analisada.

- Itapeva (02348043)

  As considerações para a estação 02248031 são válidas aqui. É válido acrescentar que esta estação apresenta muitos períodos falhos e que por isso não foi possível realizar uma análise mais completa da estação.

- Porto Ermidão (02349005)

  A duplo-acumulativa construída apresentou resultados razoáveis, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Piraju (02349007)

  A duplo-acumulativa construída apresentou resultados razoáveis, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Taquarituba (02349017)

  Foram construídas duas curvas duplo-acumulativas porque esta estação apresenta um grande período de falhas entre 1951 e 1956. A segunda curva apresentou bons resultados. Contudo, para o primeiro período, ocorre um salto, seguido de uma mudança de declividade, próximo a 1943, ano em que a estação Taquarituba apresenta valores bem superiores aos de suas vizinhas. Observando os dados diários, pode-se constatar que as leituras são bastante duvidosas, com muitos valores inteiros e

repetidos. Portanto, recomenda-se que esse período seja visto com cuidado quando esta estação for utilizada para estudos hidrológicos.

- Itaporanga (02349020)

  A duplo-acumulativa construída apresentou bons resultados, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Tomazina (02349033)

  A duplo-acumulativa construída apresentou bons resultados, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Jataizinho (02350000)

  A duplo-acumulativa construída apresentou bons resultados, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Porto Sta. Terezinha (02350001)

  A duplo-acumulativa construída apresentou bons resultados, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Andirá (02350002)

  A duplo-acumulativa construída apresentou bons resultados, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Capela da Ribeira (02449000)

  Foram construídas duplo-acumulativas entre as estações mais próximas da analisada, mas o resultado foi bastante insatisfatório. Uma hipótese provável é que as estações consideradas na média não tenham relação com a estação principal. De qualquer maneira, é necessário um cuidado maior na utilização destes dados de precipitação. A correção dos dados não foi efetuada porque as estações utilizadas não estão localizadas muito próximas desta estação.

- Tibaji (02450002)

  A duplo-acumulativa construída apresentou resultados razoáveis, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

- Bom Jardim (02450009)

  A duplo-acumulativa construída apresentou resultados razoáveis, não sendo realizada, portanto, modificação alguma na série.

De maneira geral, salvo poucas exceções, a qualidade dos dados pluviométricos destas estações da bacia do Rio Paranapanema é boa. Grande parte destas estações, principalmente as operadas pela ANA e pelo DAEE-SP, já haviam sido consistidas em pelo menos parte de seus períodos.

5. BIBLIOGRAFIA

Atlas Pluviométrico do Estado de São Paulo , Secretaria dos Serviços de Obras Públicas, Departamento de Águas e Energia Elétrica. Centro Tecnológico de Hidráulica, p.83.

KAVISKI, Eloy; MÜLLER, Ingrid I. HG-62. Sistema de Processamento de Dados Pluviométricos: Manual das Rotinas Aplicativas. Curitiba: CEHPAR, 1990.

PINTO, Nelson L. de S. et al. Hidrologia Básica. São Paulo: E. Blücher, 1976.

SANTOS, Irani dos; ROHN, Márian da Costa. HG-171. Consistência e Regionalização de Dados Hidrológicos. Relatório Técnico nº2. Curitiba: CEHPAR, 2002.

TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. Da Universidade : ABRH, 1993.