III. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL

3.1. INTRODUÇÃO

A máxima disponibilidade hídrica de uma bacia é a vazão média porque esta é a maior vazão que pode ser regularizada em um curso d'água. A estimativa da vazão média de uma bacia permite avaliar os limites superiores do uso da água de um manancial para as diferentes finalidades.

A relação entre a disponibilidade hídrica máxima, representada pela vazão média, e a mínima, representada por uma vazão característica da série, é um indicador da necessidade de regularização de um rio. A vazão mínima está relacionada com uma duração, já que o uso da água não se dá de forma instantânea. Existem alguns valores de vazões mínimas características que são utilizados em projetos de recursos hídricos e que são indicadores das condições de estiagens de um rio. Os mais utilizados são:

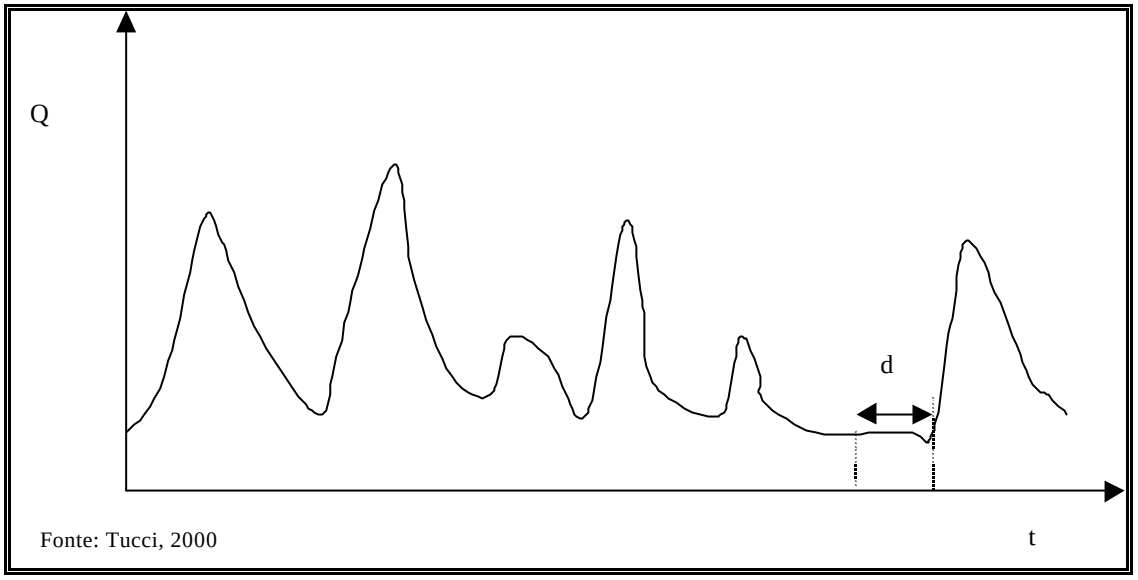
- vazão mínima média de 7 dias consecutivos e 10 anos de tempo de retorno e;
- vazão com 95% de permanência.

Dentro da série histórica de vazões, os menores valores da série, ou as vazões que não atendem as necessidades das demandas são ditas mínimas ou de estiagem. Esta é uma definição muito subjetiva, já que a vazão de estiagem não é caracterizada a partir de um valor da série histórica. Um rio mesmo em cheia pode não atender às necessidades da região que o cerca.

A distribuição temporal das vazões de estiagem é importante para projetos como abastecimento de água, irrigação e energia elétrica. As vazões mínimas que ocorrem em época de estiagem são utilizadas nestes estudos dentro de uma das seguintes finalidades: análise, projeto, previsão ou estimativa, regulamentação legal, operação e planejamento.

A vazão mínima é caracterizada por dois fatores, a quantidade de água e a duração (d). Por exemplo, a vazão mínima de um ano qualquer com duração de 30 dias indica que é o menor valor do ano da vazão média de 30 dias consecutivos (figura 3.1.1). Na prática, pouca utilidade tem a vazão mínima instantânea, que deve ser muito próxima da vazão mínima diária.

Normalmente durações maiores, como 7 dias ou 30 dias, apresentam maior interesse ao usuário já que a seqüência de vazões baixas é que representa uma situação desfavorável para a demanda ou para as condições de conservação ambiental. Por exemplo, a vazão de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno é utilizada para estudos de qualidade da água em rios e na vazão mínima a ser mantida nos rios após o uso da água no processo de outorga (Tucci, 2000).



Fonte: Tucci, 2000

Figura 3.1.1 - Hidrograma e período de duração "d" de vazões mínimas

As características da vazão mínima podem ser estabelecidas pela análise de freqüência, curvas de duração ou permanência e depleção. A curva de freqüência, obtida a partir da amostra de vazões observadas, procura inferir a função cumulativa de probabilidades da população da qual a amostra foi retirada. Isto permitirá estimar níveis de freqüência e, reciprocamente, o risco de ocorrência de valores maiores ou menores que um dado nível de vazão.

A curva de permanência de vazões relaciona valores das vazões observadas às percentagens com que os mesmos foram superados durante um período de observações. Esta curva destaca a freqüência de ocorrência de um valor ao longo de todo o período, enquanto que a curva de probabilidade de valores mínimos caracteriza os extremos anuais. Considere, por exemplo, a vazão de 95% da curva de permanência, a mesma foi obtida dos valores diários de vazão de N anos do posto em estudo.

A vazão mínima média com duração de 1 dia é obtida pela média dos valores da menor vazão diária de cada ano da série de dados. A tendência é de que os valores da curva de permanência sejam maiores, com o aumento da duração e/ou diminuição da probabilidade usada.

Para a identificação dos conflitos, foram adotadas vazões de referência que representam a máxima e a mínima disponibilidade hídrica dos cursos d'água, bem como, valores intermediários a esses dois extremos. As vazões de referência utilizadas no confronto com as demandas e identificadas na figura 3.1.2 são descritas a seguir:

I. **Vazão média (Qm)**, que apresenta uma permanência natural em torno de 30% do tempo, ou seja em aproximadamente 30% do tempo as vazões dos cursos d'água são iguais ou maiores que a vazão media;

II. **Vazão com 50% de permanência (Q50)**, vazão que é superada ou igualada em 50% do tempo. Essa vazão é ligeiramente menor que a vazão média;

III. **Vazão com 80% de permanência (Q80)**, vazão que é superada ou igualada em 80% do tempo. Essa vazão apresenta valor intermediário entre a vazão média e a mínima;

IV. **Vazão com 90% de permanência (Q90)**, vazão que é superada ou igualada em 90% do tempo, que corresponde a uma vazão com 90% de garantia de ocorrência;

V. **Vazão com 95% de permanência (Q95)**, vazão que é superada ou igualada em 95% do tempo. Essa vazão é ligeiramente menor que a vazão com 90% de permanência, mas apresenta uma maior garantia de ocorrência (95%);

VI. **Vazão mínima com 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno (Q7,10)**, menor valor anual da vazão média de 7 dias consecutivos, com a probabilidade de ocorrência de, em média, uma vez a cada 10 anos. Essa é a menor e a mais restritiva das vazões de referência aqui utilizadas, porém é a que apresenta maior garantia de ocorrência (próximo de 100%).

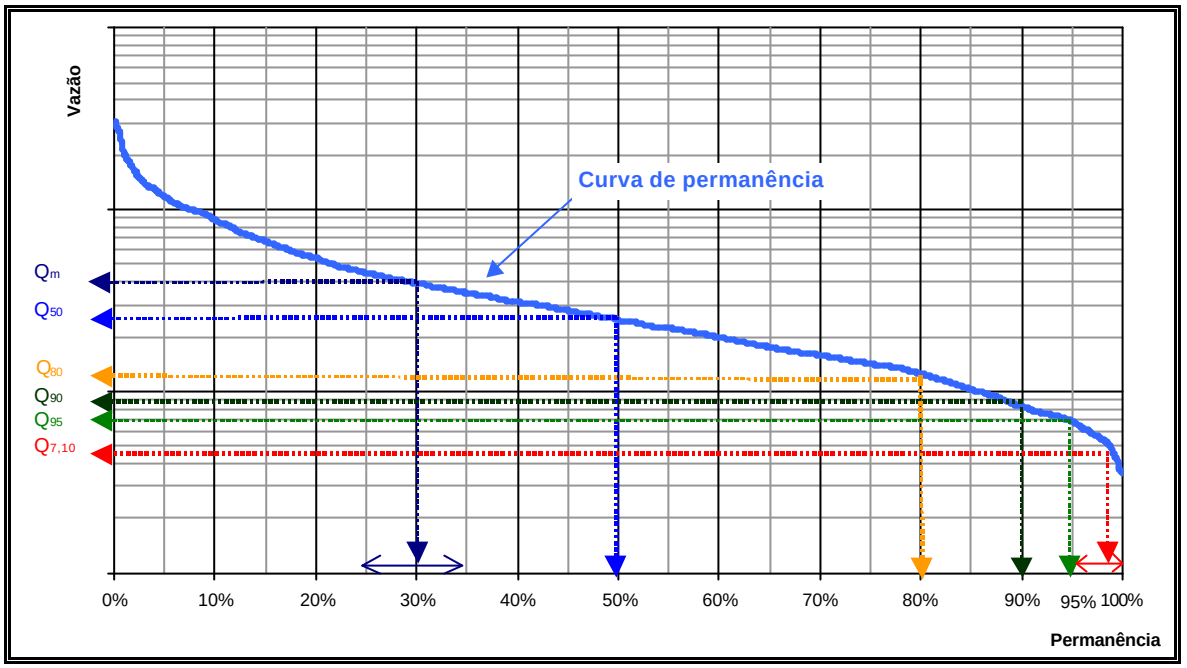


Figura 3.1.2- Vazões de referência utilizadas na análise da disponibilidade hídrica das sub-bacias

3.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

O estudo hidrológico de disponibilidade hídrica superficial tem como objetivo principal fornecer a quantidade de água disponível (recurso hídrico superficial) para uso na bacia, o que foi realizado seguindo a metodologia apresentada abaixo:

I. Caracterização física das sub-bacias em estudo, onde são apresentados os índices fisiográficos das sub-bacias, localização, descrição das sub-bacias e seus cursos d'água e eventuais peculiaridades encontradas;

II. Análise das precipitações na região, sua variabilidade temporal (sazonal e interanual) e espacial (distribuição das chuvas na bacia), precipitações máximas, curvas i-d-f e séries longas de precipitação mensal;

III. Avaliação do comportamento climatológico da região, principalmente da evaporação potencial, que devido à escassez de dados, se concentrou na caracterização média da região e sua variabilidade temporal através de uma série de evaporação potencial mensal;

IV. Determinação das séries hidrológicas que permitam avaliar a disponibilidade hídrica natural nas sub-bacias, através de séries longas mensais de vazão representativas para a região e regionalização das vazões características usando a área de drenagem como variável explicativa;

V. Análise do balanço hídrico nas sub-bacias, usando as séries anuais de precipitação e vazão para gerar a série anual de evaporação real, além de avaliar o regime hidrológico como todo;

VI. Determinação das vazões máximas anuais e regionalização da vazão média de cheia pela área de drenagem para avaliação do potencial de inundação dos principais cursos d'água da bacia;

VII. Conclusão e síntese dos resultados anteriores.

3.3. BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS TURVO, SANTA ROSA E SANTO CRISTO

3.3.1. Localização

A Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, também denominada de U 30 por fazer parte da Região Hidrográfica do Uruguai, corresponde a um conjunto de sub-bacias hidrográficas situadas à margem esquerda do Rio Uruguai, e limitadas geograficamente pelas coordenadas: *-27º 07' 26"* na sua extremidade norte, aproximadamente 6 km a jusante da desembocadura do Rio Peperiguaçu; *-28º 11' 47"* no seu ponto mais ao sul, próximo ao cruzamento da linha férrea com a BR-392 no norte do município de Santo Ângelo; *-55º 20' 00"* no seu extremo oeste, na margem direita da barra do Rio Ijuí; e *-53º 27' 35"* na sua porção mais ao leste, na estrada que liga Santo Augusto à Palmeira das Missões, próximo ao trevo com a RS-514 neste município.

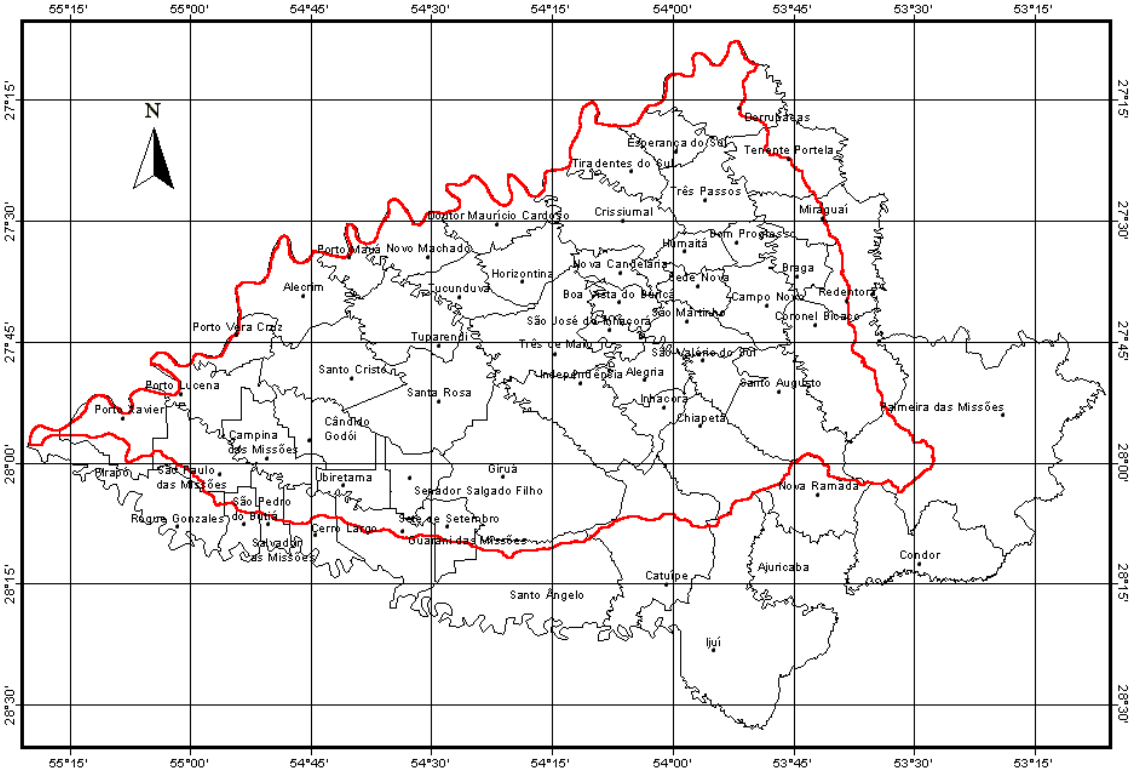


Figura 3.3.1 – Delimitação da Bacia dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo (U 30)

3.3.2. Geomorfologia da região

O contexto geomorfológico avaliado engloba o limite superficial definido pelos divisores de água da bacia, perfazendo uma área total de 10.757 Km^2 no setor noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Em específico está inserido no compartimento morfológico do Planalto Santo Ângelo, Planalto Rio Iguaçu-Rio Uruguai e Planície Alúvio-Coluvionar.

3.3.3. Características fisiográficas

O quadro 3.3.1 apresenta as características fisiográficas das principais sub-bacias da Bacia dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo.

As variáveis do quadro 3.3.1 índice de forma (I_F) e coeficiente de compacidade (C_C) e tempo de concentração (estimado pela fórmula de Kirpich), são:

$$I_F = A/L^2 \qquad (3.1.a)$$

$$C_C = 0{,}28.[P/(A)1/2] \qquad (3.1.b)$$

$$tc = 3{,}989 \cdot L^{0{,}77} \cdot S^{-0{,}385} \qquad (3.1.c)$$

onde: *A* = área de drenagem, km^2; *L* = é o comprimento da foz ao ponto mais afastado do limite da bacia, seguindo o maior curso d'água da bacia, km; *P* = perímetro da bacia, km; *S* é a declividade do talvegue em m/m; e t_c.é o tempo de concentração em minutos.

Quadro 3.3.1 – Aspectos fisiográficos das sub-bacias hidrográficas estudas

SUB-BACIA	CURSO D'ÁGUA	A (km^2)	L (km)	H (m)	P (km)	S (m/Km)	I_F	C_C	t_c (min)	t_c (h)
SB1	Rio Amandaú	541,44	83,8	250	140,57	2,98	0,077	1,69	1132,4	18,9
SB2	Rio Buricá	2.355,24	195,45	350	231	1,79	0,062	1,33	2645,7	44,1
SB3	Rio Comandaí	1.431,52	199,00	300	242,04	1,51	0,036	1,79	2866,5	47,8
SB4	Rio Santa Rosa	1.399,59	185,14	300	212,81	1,62	0,041	1,59	2637,2	44,0
SB5	Rio Santo Cristo	898,10	121,73	300	155,22	2,46	0,061	1,45	1624,8	27,1
SB6	Rio Turvo	1.878,61	247,05	400	266,71	1,62	0,031	1,72	3294,1	54,9
SB7	Lajeado Grande	525,38	85,33	300	125,17	3,52	0,072	1,53	1077,9	18,0

A = Área de drenagem; L = Comprimento do talvegue; H = Desnível do talvegue; P = Perímetro da sub-bacia; S = Declividade do talvegue; I_F = Índice de forma; C_C = Coeficiente de compacidade; t_c = Tempo de concentração.

O índice de forma relaciona a largura média da bacia com o seu comprimento axial, de maneira a definir o seu grau de alongamento. Este coeficiente assume valores a partir de zero. Uma bacia circular e com o comprimento L do tamanho do diâmetro assume valor aproximado de 0,785. Pelo quadro 3.3.1, observamos que as sub-bacias analisadas apresentam elevado grau de alongamento, principalmente as sub-bacias do Rio Turvo e Rio Comandaí. Dentre as sub-bacias, verificamos que as sub-bacias do Rio Amandaú e Lajeado Grande apresentam formato menos alongado do que as demais.

Com relação ao coeficiente de compacidade a bacia assume valor unitário para forma circular, valor de 1,128, no caso de bacia com forma quadrada e, podendo chegar a 3 em bacias alongadas. Quanto maior for este coeficiente, há indicação de ser uma bacia com forma irregular e menos sujeita a sofrer inundação prolongada. Nesse aspecto, destacamos as sub-bacias do Rio Comandaí e Rio Turvo (mais irregular) em contraposição as sub-bacias do Rio Buricá e Rio Santo Cristo (mais regular).

As sub-bacias apresentam tempo de concentração variando de 18 horas (Lajeado Grande e Rio Amandaú) até 55 horas (Rio Turvo). Isso se deve a grande diferença fisiográfica das sub-bacias: as primeiras são mais circulares, conseqüentemente com cursos d'água principal relativamente curtos, além de apresentarem as menores áreas de drenagem; a última é muito alongada e apresenta rio principal muito extenso (o maior dentre as sub-bacias estudadas). Nas demais bacias o tempo de concentração ficou entre 1 e 2 dias.

3.4. PRECIPITAÇÃO

3.4.1. Rede pluviométrica

A região vizinha à área de estudo apresenta 17 estações pluviométricas com mais de 20 anos de dados que foram escolhidas para o estudo da precipitação na região. As estações são identificadas no quadro 3.4.1 e a figura 3.4.1 apresenta a localização de cada posto. Todos os postos são do tipo pluviômetro e suas características são apresentadas no quadro.

A figura 3.4.2 apresenta o diagrama com a disponibilidade dos dados dos postos pluviométricos empregados no estudo da precipitação da região da região. Os postos foram divididos em duas classes de acordo com o número de anos completos de dados de cada posto.

Na referida figura, verificamos que a região possui sete postos com mais de 40 anos completos de dados (sendo um com mais de 50 anos completos), em contrapartida, apresenta sete postos entre 20 e 22 anos completos de dados. Os demais postos apresentam entre 25 e 38 anos completos de dados.

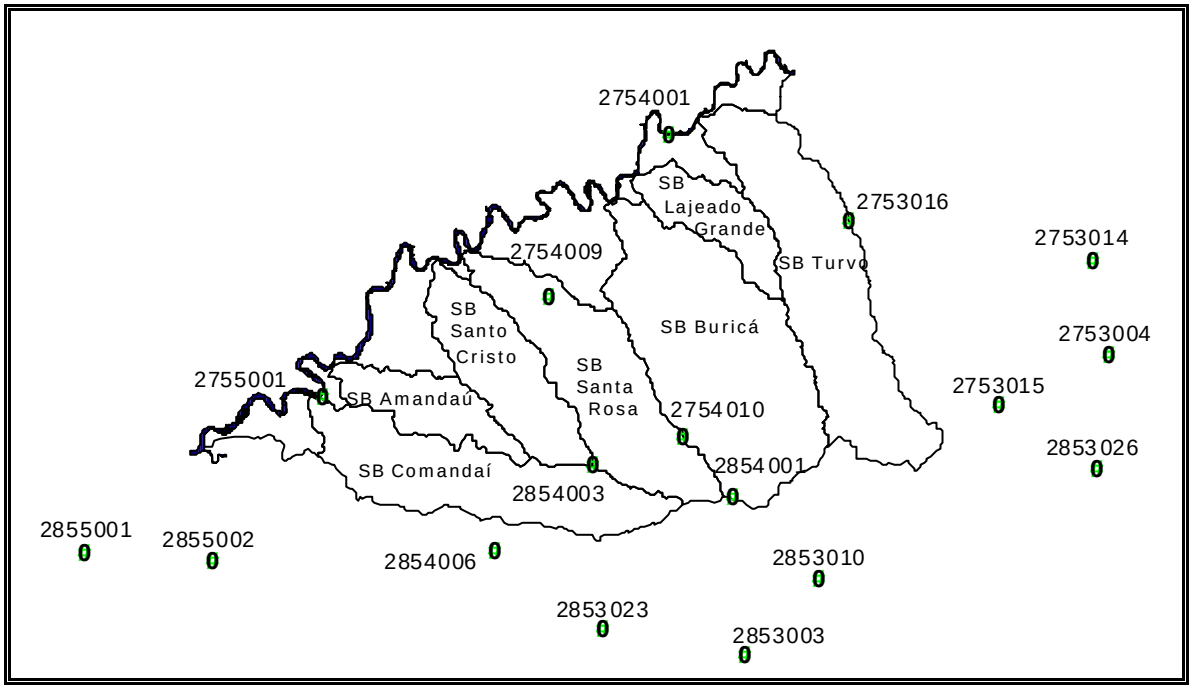


Figura 3.4.1 – Localização dos postos pluviométricos na região em estudo

Quadro 3.4.1 – Postos pluviométricos utilizados no estudo

No.	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	NOME DO MUNICÍPIO	OPERADORA	UF	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	INICIO
1	2753004	LINHA CESCON	SARANDI	CPRM	RS	-27:48:42	-053:01:40	350	jun-59
2	2753014	LIBERATO SALZANO	LIBERATO SALZANO	CPRM	RS	-27:35:54	-053:04:15	378	mai-76
3	2753015	PALMEIRA DAS MISSÕES	PALMEIRA DAS MISSÕES	CPRM	RS	-27:54:48	-053:18:39	610	ago-76
4	2753016	MIRAGUAI	MIRAGUAI	CPRM	RS	-27:30:06	-053:40:55	502	set-76
5	2754001	ALTO URUGUAI	TRÊS PASSOS	CPRM	RS	-27:18:11	-054:08:04	120	jul-49
6	2754009	TUCUNDUVA	TUCUNDUVA	CPRM	RS	-27:39:14	-054:26:32	120	jun-76
7	2754010	ESQUINA ARAÚJO	INDEPENDÊNCIA	CPRM	RS	-27:58:05	-054:06:59	400	set-76
8	2755001	PORTO LUCENA	PORTO LUCENA	CPRM	RS	-27:51:16	-055:01:21	100	mar-49
9	2853003	CONCEIÇÃO	IJUÍ	CPRM	RS	-28:27:18	-053:58:15	160	ago-59
10	2853010	PASSO FAXINAL	IJUÍ	CPRM	RS	-28:17:21	-053:46:48	200	out-57
11	2853023	CONDOR	ENTRE-IJUÍS	CPRM	RS	-28:23:21	-054:19:55	440	ago-76
12	2853026	CHAPADA	CHAPADA	CPRM	RS	-28:03:31	-053:03:58	450	jan-77
13	2854001	BOA VISTA	CATUIPE	CPRM	RS	-28:06:25	-053:59:33	447	nov-69
14	2854003	GIRUA	GIRUA	CPRM	RS	-28:01:35	-054:20:37	400	abr-43
15	2854006	PASSO VIOLA	GUARANI DAS MISSÕES	CPRM	RS	-28:12:38	-054:36:08	160	ago-59
16	2855001	GARRUCHOS	GARRUCHOS	CPRM	RS	-28:10:57	-055:38:36	60	mar-49
17	2855002	PASSO DO SARMENTO	SANTO ANTONIO DAS MISSÕES	CPRM	RS	-28:12:43	-055:19:11	80	out-57

Fonte : Inventário das Estações Pluviométricas – ANA, 2003.

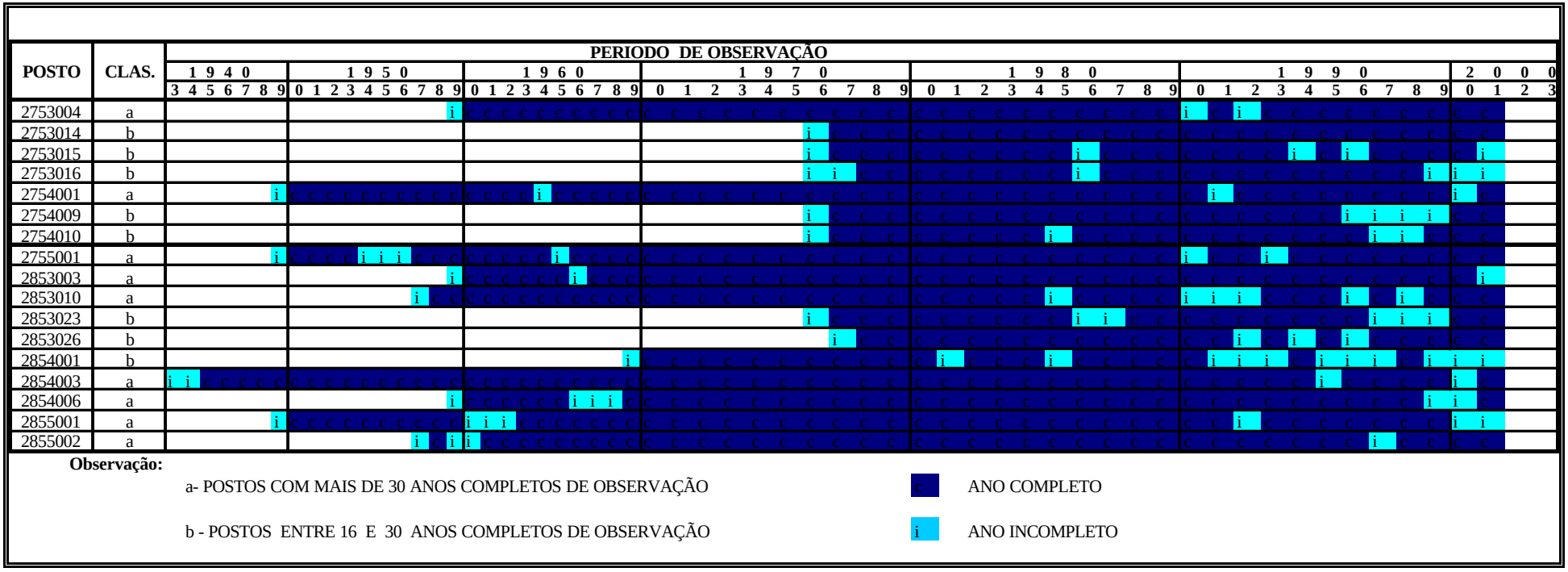


Figura 3.4.2 – Diagrama de disponibilidade temporal dos dados dos postos pluviométricos

Pela análise da figura 3.4.2, concluímos que o período representativo para todos os postos é de 1977 até 2001 (25 anos) e que quatro postos (2754001, 2755001, 2854003 e 2855001) cobrem o período de 1950 até 2001 (52 anos). O primeiro período (1977-2001) será utilizado para caracterizar a pluviometria na região (sazonalidade, isoietas, médias mensais e anuais) e o segundo (1950-2001) poderá ser utilizado para extensão de séries de vazões e para análise da variabilidade interanual das precipitações.

3.4.2. Preenchimento das falhas das precipitações mensais

O preenchimento das falhas existente nos dados foi executado a nível mensal, ainda que se saiba que, perante os dados anuais, os dados mensais tenham maior grau de aleatoriedade.

O preenchimento foi executado com a finalidade de obter séries completas de precipitação no período de observação dos postos e homogeneizar as séries de precipitação para análise estatística regional.

O período comum de dados foi obtido pela análise da figura 3.4.2. Este período é de 1977 até 2001 (25 anos), sendo que para os postos 2754001, 2755001 e 2855001 foram também preenchidos as falhas no período de 1950 até 1976 (27 anos), o posto 2854003 não apresenta nenhuma falha nesse período e não será utilizado no preenchimento de falhas por está numa altitude na ordem de 300m acima dos demais postos citados. As falhas dos dados mensais de precipitação dos postos foram preenchidas através do método da ponderação regional, utilizando como base pelo menos três postos sem falha no mês a ser preenchido. Esse método foi adotado levando em conta também que os postos estão dentro de uma região climatológica semelhante, escolhidos preferencialmente num raio menor que 100 km (com exceção dos postos de séries longas, pois os postos 2754001 e 2855001 estão a 175 km de distância), com uma variação na altitude menor que 250 m.

3.4.3. Análise de Dupla Massa

Para comprovar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis, após o preenchimento das falhas, de cada postos em relação aos demais da região foi necessário analisar a consistência desses dados, através da análise de dupla massa, desenvolvido pelo Geological Survey (USA), válida para séries mensais e anuais.

O método consiste em selecionar os postos de uma região, acumular cada um deles os valores mensais (ou anuais) e plotar num gráfico cartesiano os valores acumulados correspondentes ao posto a consistir (nas ordenadas) e de um posto confiável adotado como base de comparação (nas abscissas). O posto considerado como base de comparação foi a média dos postos da região (excluindo o posto a consistir) (Tucci, 1993).

As figuras de 3.4.3 a 3.4.8 apresentam o resultado do método de dupla massa aplicado aos 17 postos estudados no período de 1977 a 2001. O posto 2854003 (figura 3.4.3) se destaca como representativo da região, pois a sua tendência é próxima da bissetriz dos eixos cartesianos (y = x), logo seus valores são próximos da média da região. O mesmo ocorreu com os postos 2854006 (figura 3.4.4), 2853026 (figura 3.4.5) e 2754009 (figura 3.4.6).

Alguns postos não apresentam uma tendência uniforme ao longo do período analisado (2754001 – figura 3.4.3; 2854006 – figura 3.4.4; 2855001 – figura 3.4.5; 2753014 – figura 3.4.6; 2753016 – figura 3.4.7 e 2855002 – figura 3.4.8), devido aos meses de grande precipitação (acima de 300 mm mensais) que apresenta grande variabilidade espacial, o que resulta um pequeno desvio em relação à média da região. Também foram verificados alguns dados mensais nulos sem similar nos demais postos, o que pode indicar em erro de medição ou preenchimento dos dados. Nenhum dos valores extremos (precipitações máximas e nulas) foi alterado (considerado como e falha e substituído pelo método da ponderação regional), pois a variabilidade espacial desses valores extremos é naturalmente grande e é importante incluir essa variabilidade na série de dados a ser utilizada.

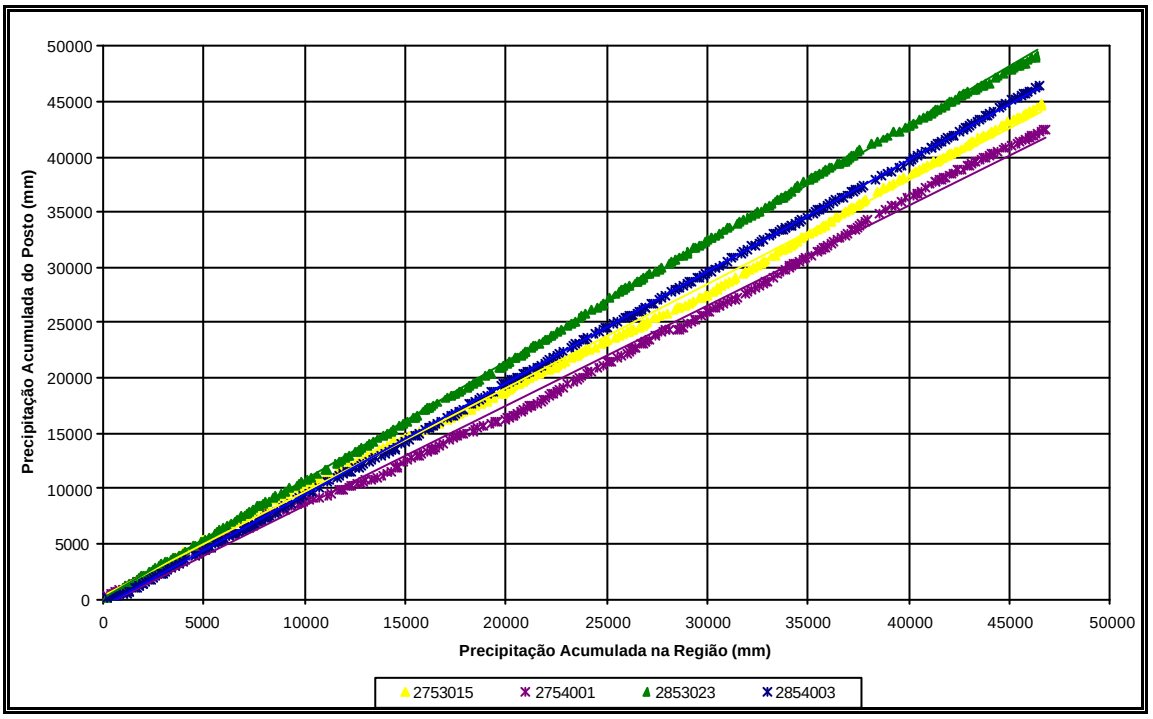


Figura 3.4.3 – Análise de consistência das séries mensais (2753015, 2754001, 2853023 e 2854003)

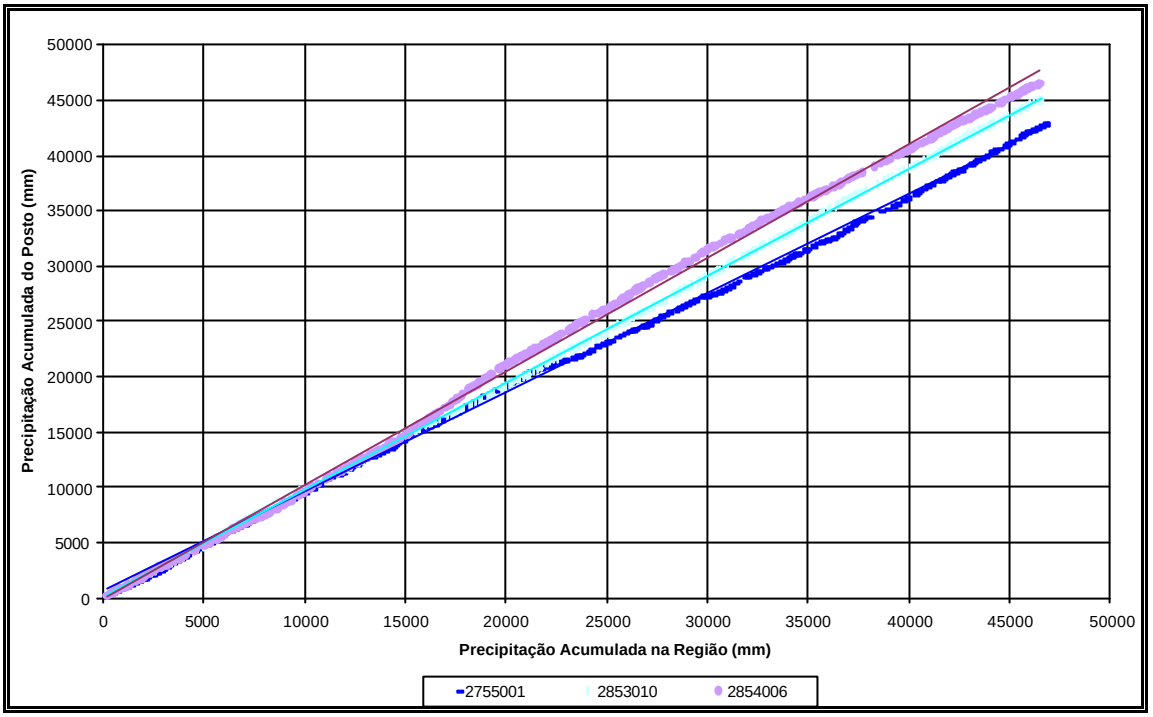


Figura 3.4.4 – Análise de consistência das séries mensais (2755001, 2853010 e 2854006)

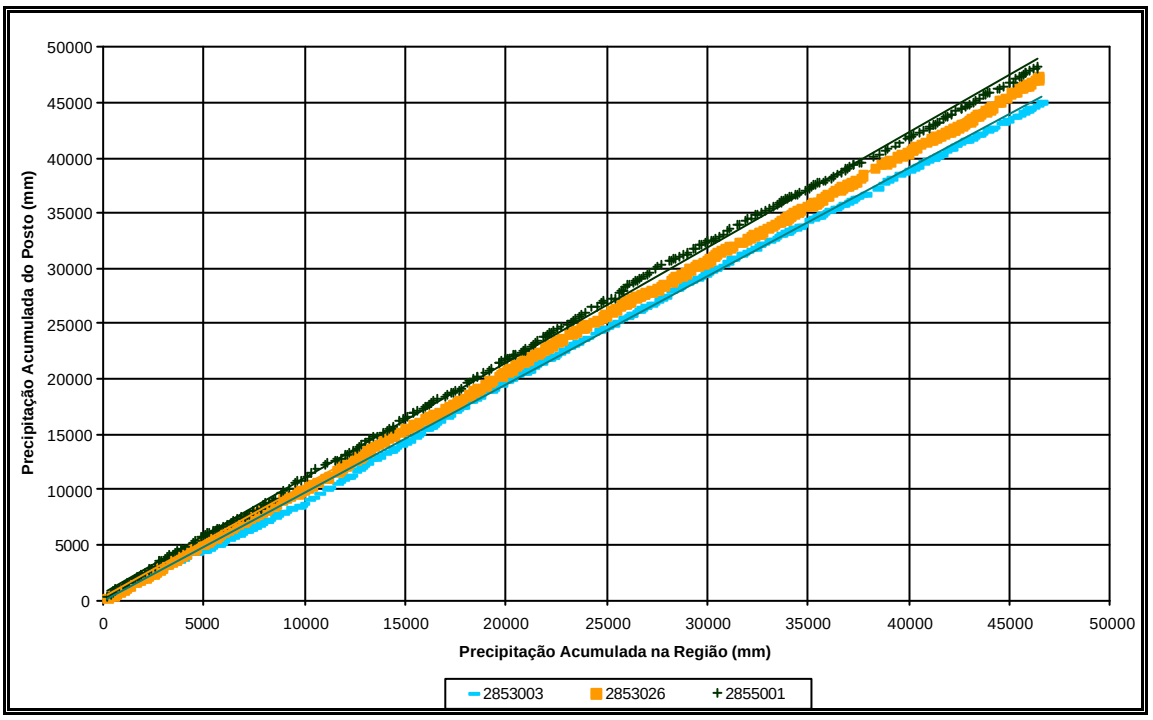


Figura 3.4.5 – Análise de consistência das séries mensais (2853003, 2853026 e 2855001)

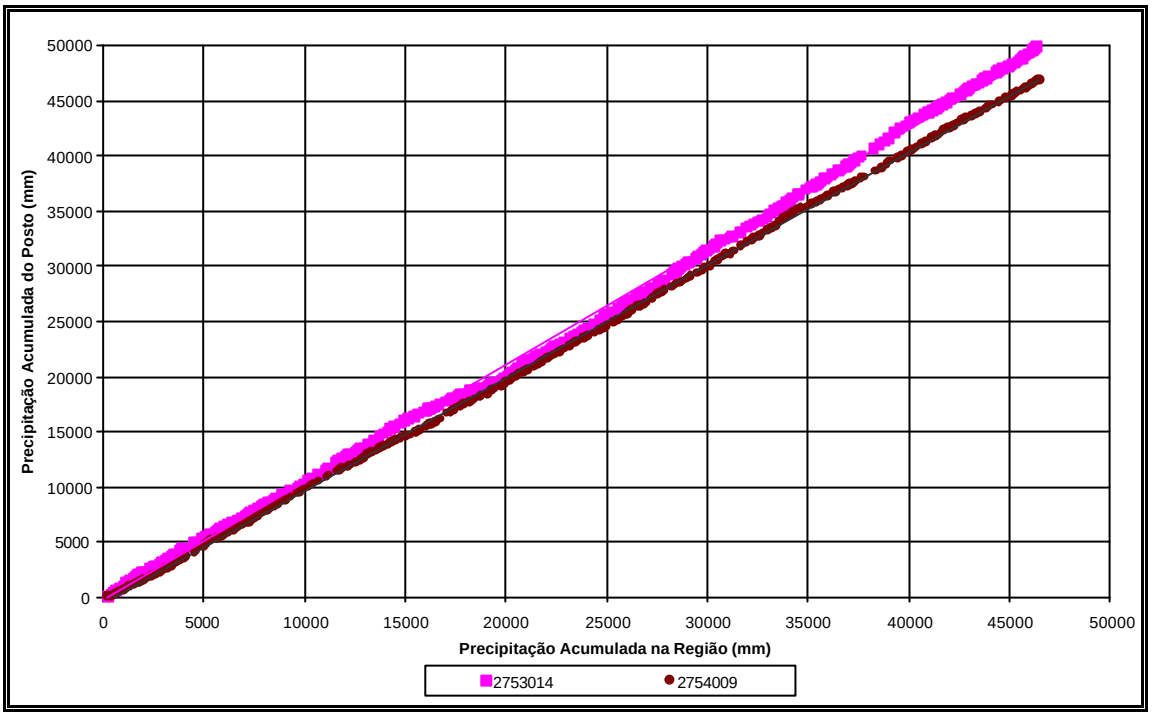


Figura 3.4.6 – Análise de consistência das séries mensais (2753014 e 2754009)

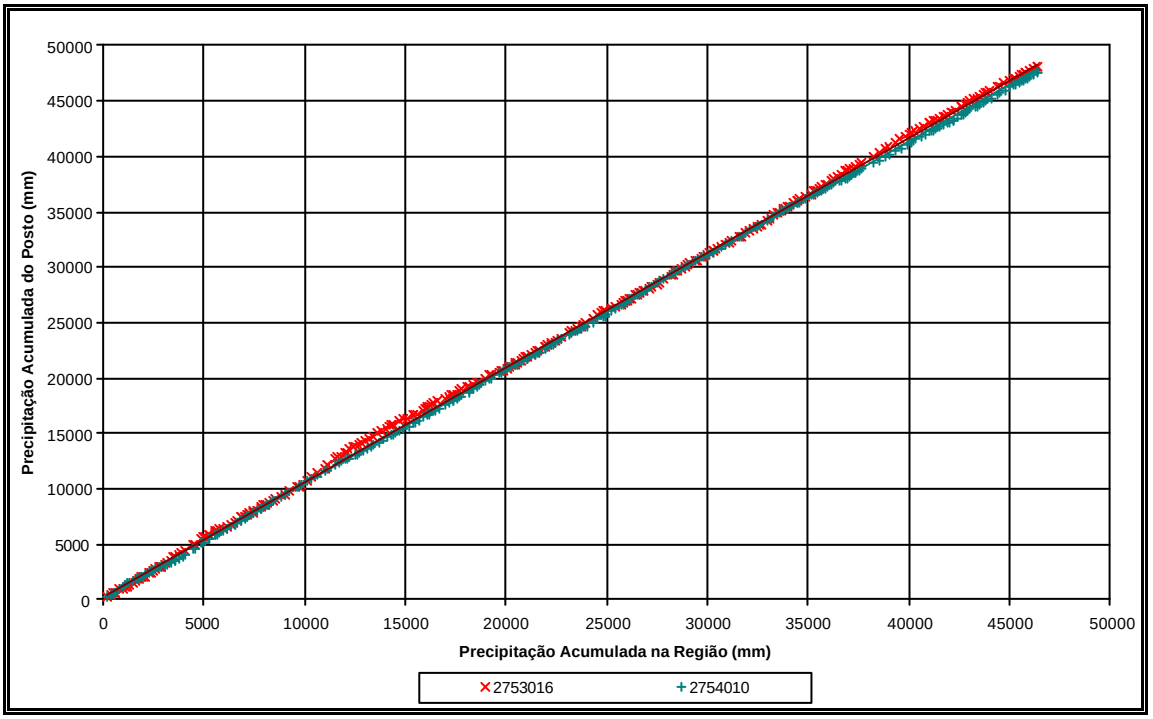


Figura 3.4.7 – Análise de consistência das séries mensais (2753016 e 2754010)

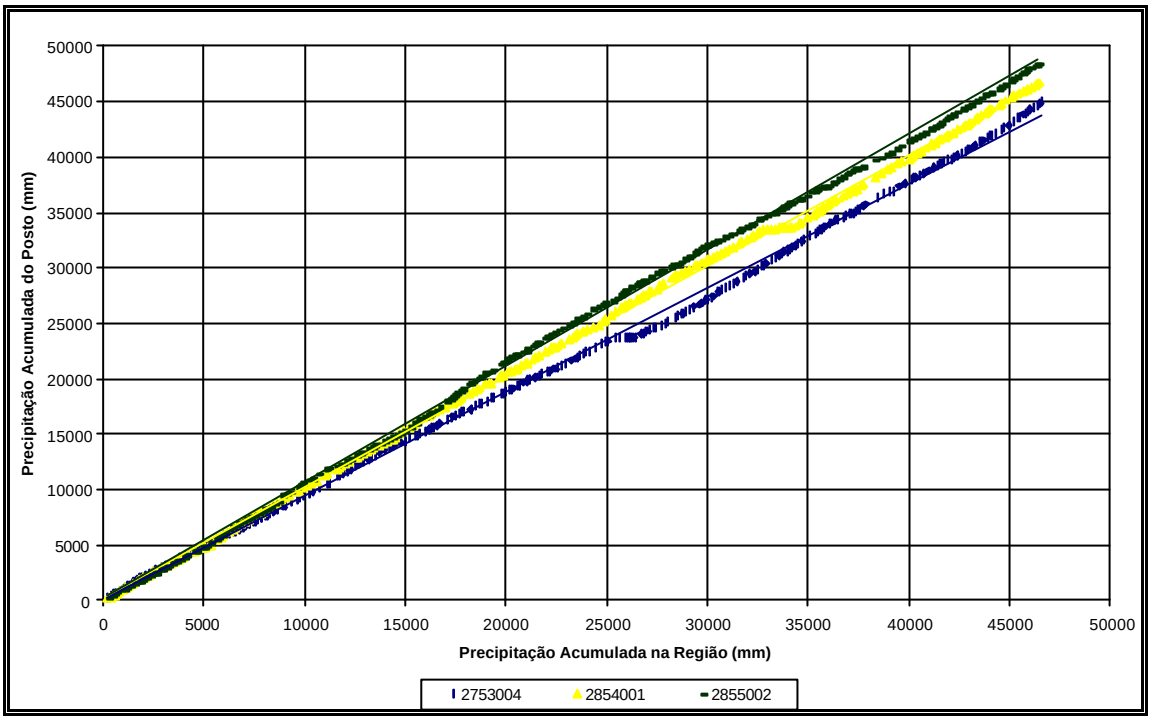


Figura 3.4.8 – Análise de consistência das séries mensais (2753004, 2854001 e 2855002)

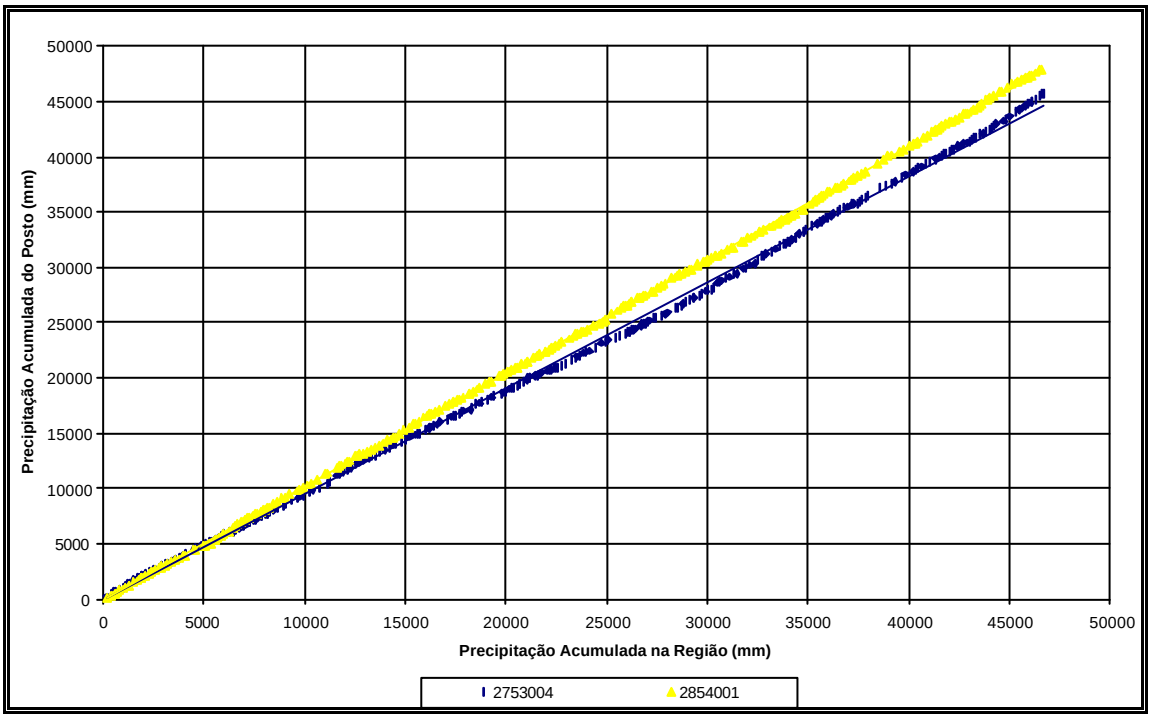


Figura 3.4.9 – Correção da tendência das séries mensais dos postos (2753004 e 2854001)

Os postos 2753004 e 2854001 apresentam mudança de tendência, a partir do valor 25000 e 33000 mm na abscissa, respectivamente, como mostra a figura 3.4.8. No posto 2753004, no ponto de mudança de tendência exposto pelo método de dupla massa, foi identificado um período duvidoso de outubro de 1990 a abril de 1991 (sete meses) onde foi registrado apenas 8 mm de chuva. Esse período foi considerado como falha na série e foi preenchido pelo método da ponderação regional (item 3.4.2), resultando numa série mais homogênea com a região, como mostra a figura 3.4.9.

No posto 2854001, também no ponto de mudança de tendência, foi identificado um período duvidoso de outubro de 1994 a setembro de 1995 (doze meses) onde foi registrado apenas 296,9 mm de chuva, levando em conta que a média anual do posto é aproximadamente seis vezes maior. Esse período foi considerado como falha na série e foi preenchido pelo método da ponderação regional (item 3.4.2), resultando numa série mais homogênea com a região, como mostra a figura 3.4.9.

As figuras 3.4.10 a 3.4.15 apresentam os resultados da aplicação do método de dupla massa dos postos da região adotando os valores anuais de precipitação. As séries anuais dos postos com falhas foram calculadas usando os valores corrigidos das respectivas séries mensais.

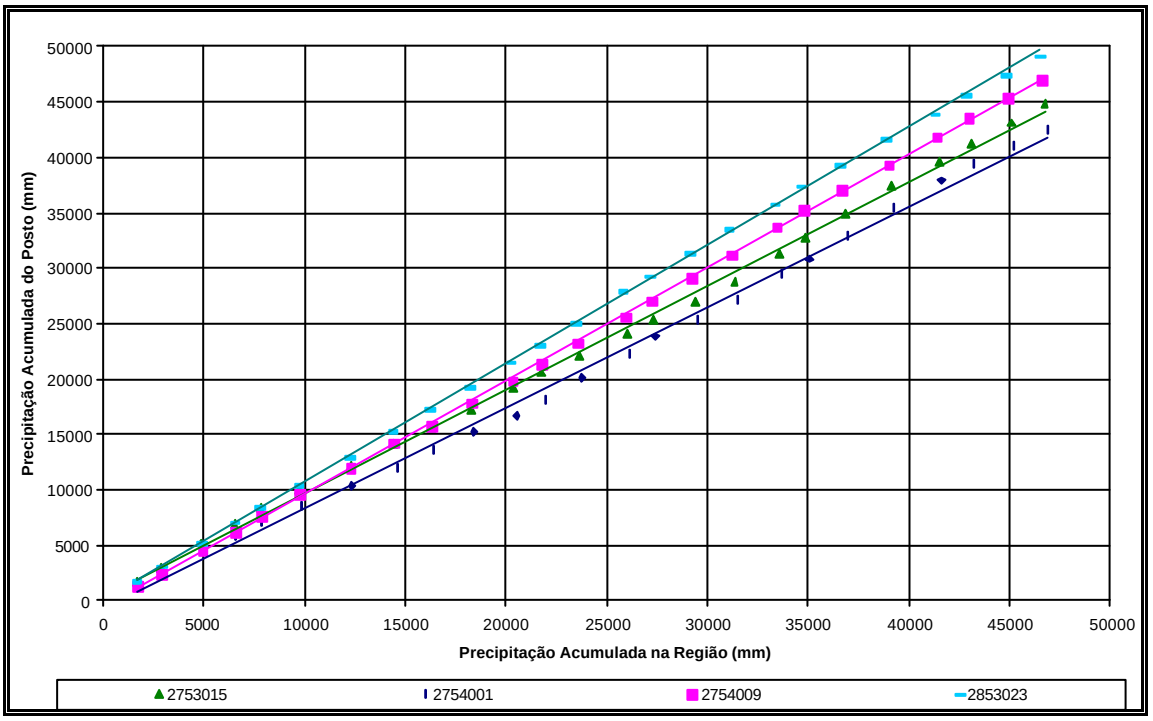


Figura 3.4.10 – Análise de consistência das séries anuais (2753015, 2754001, 2754009 e 2853023)

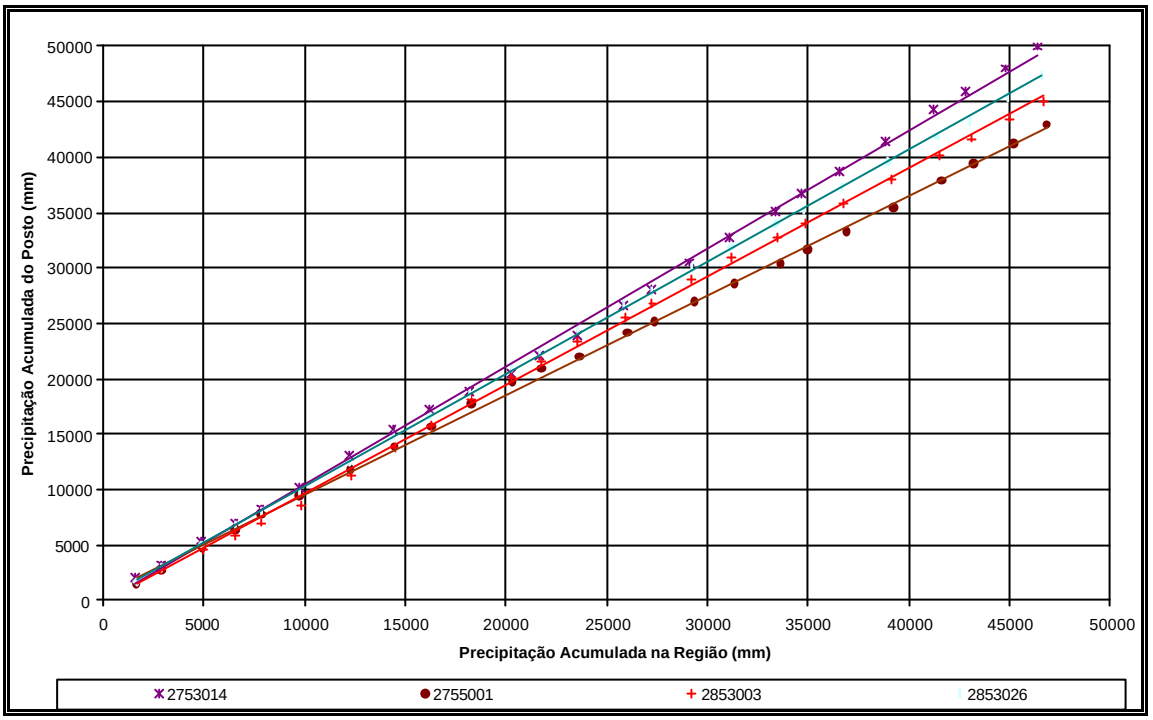


Figura 3.4.11 – Análise de consistência das séries anuais (2753014, 2755001, 2853003 e 2853026)

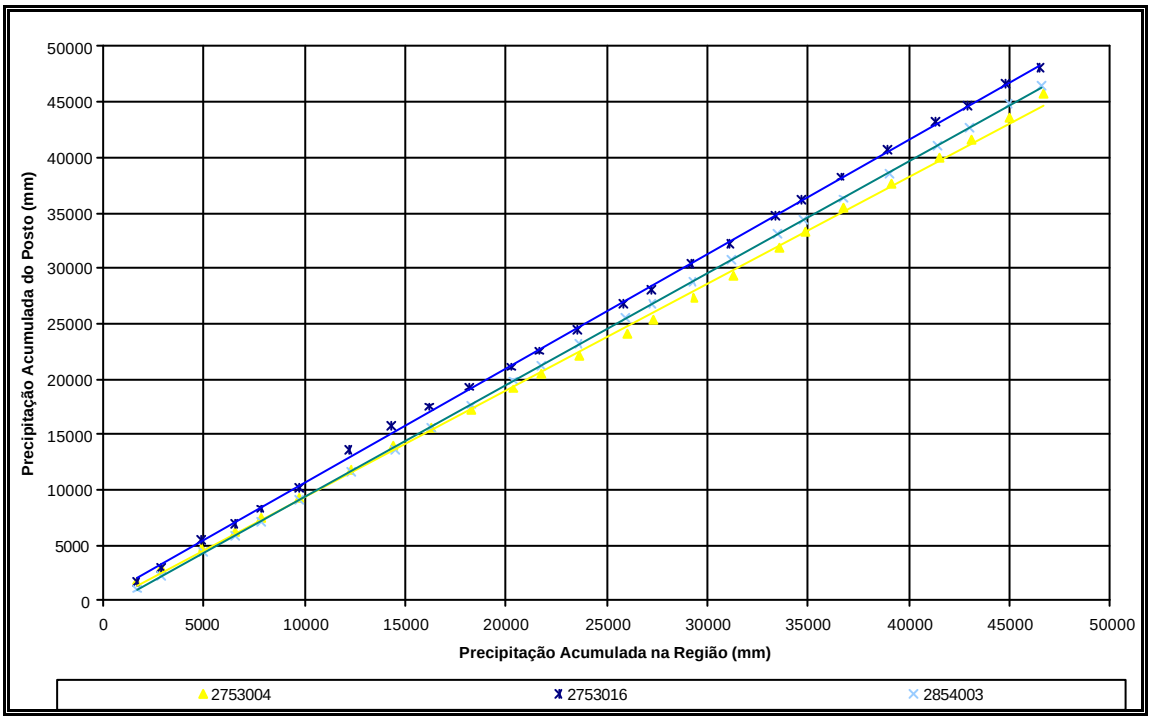


Figura 3.4.12 – Análise de consistência das séries anuais (2753004, 2753016, e 2854003)

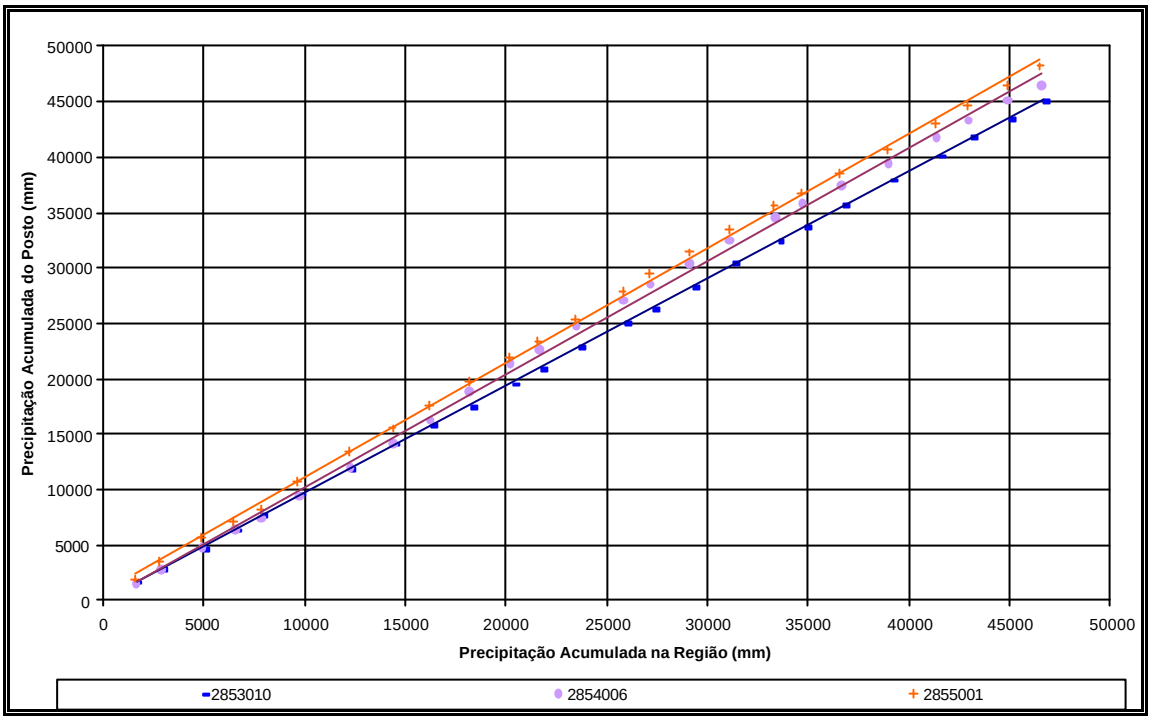


Figura 3.4.13 – Análise de consistência das séries anuais (2853010, 2854006, e 2855001)

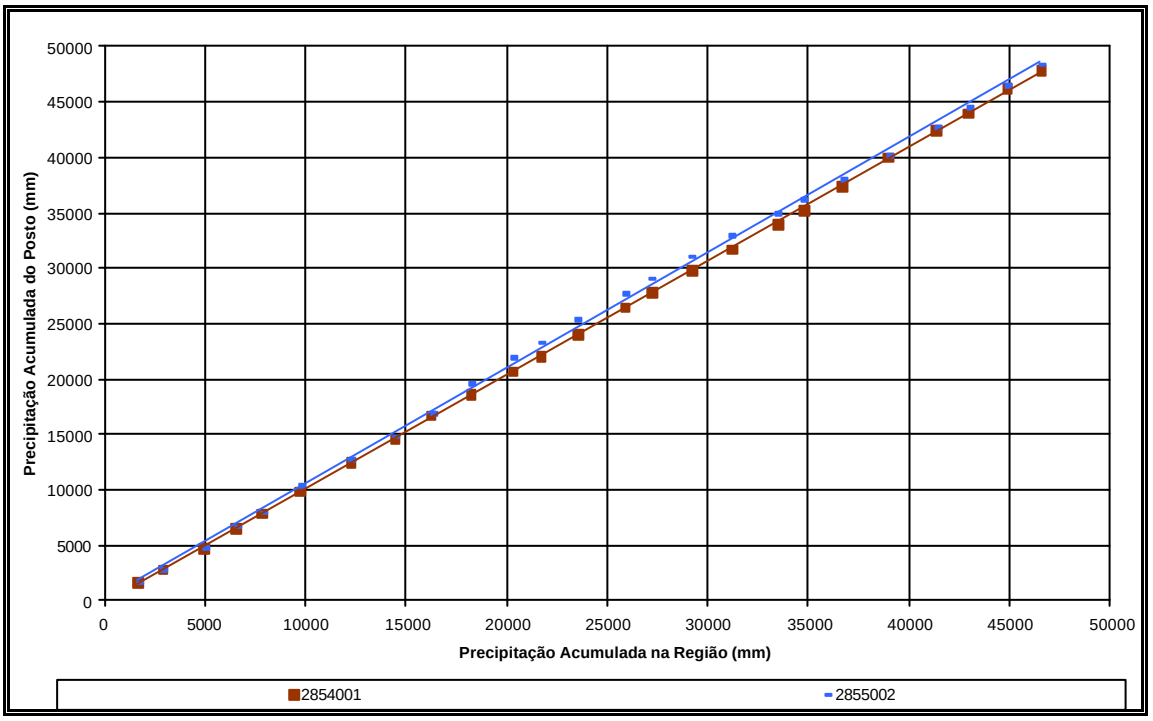


Figura 3.4.14 – Análise de consistência das séries anuais (2854001 e 2855002)

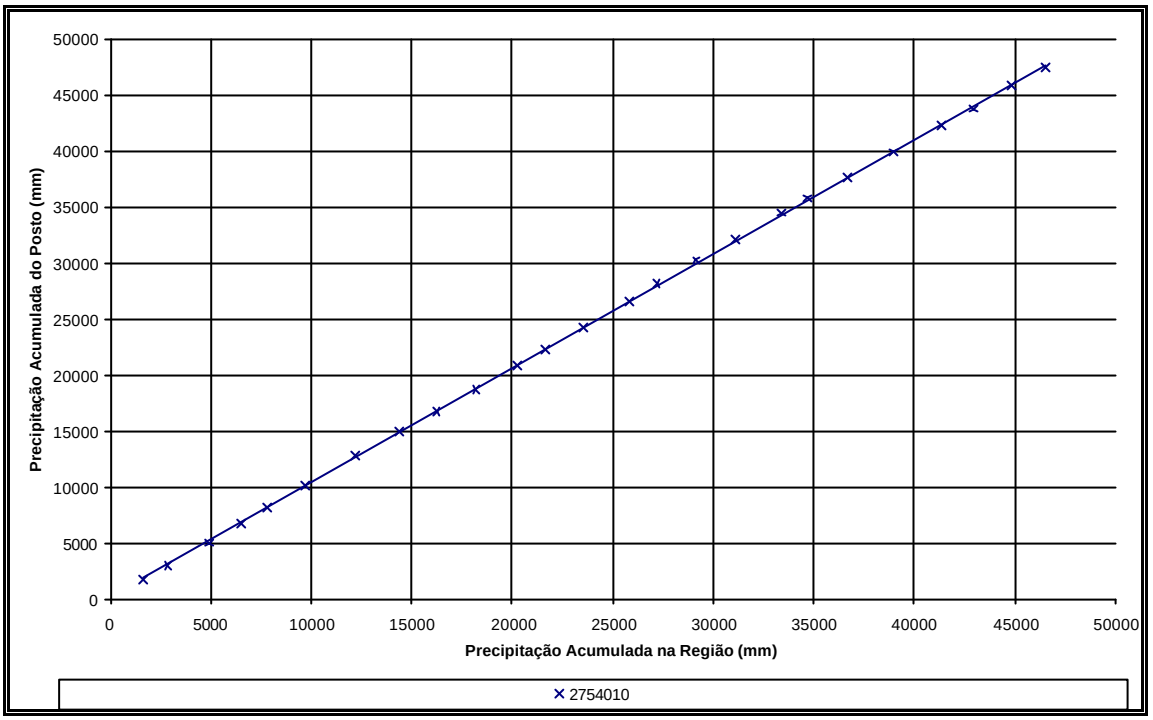


Figura 3.4.15 – Análise de consistência das séries anuais (2754010)

Todos os postos apresentam boa consistência a nível anual, com exceção do posto 2854006 (figura 3.4.13), sendo que os postos 2754009 (figura 3.4.10) e 2854003 (figura 3.4.12) praticamente coincidem com a bissetriz dos eixos, mostrando que suas séries de precipitação anual representam bem a média das outras séries da região.

O período de 1950 a 1976 também foi analisado para os postos 2754001, 2755001, 2854003 e 2855001. A análise dos postos pelo método de dupla massa apresenta resultados com grande dispersão dos valores do posto em relação a média da região (figura 3.4.16 a 3.4.18). Isto se deve: (i) a grande distancia entre os postos proporcionando grande variabilidade espacial das precipitações e (ii) pequena quantidade de postos, onde o valor de cada posto influi significativamente na média da região, na razão de 1 para 3, enquanto no período 1977 a 2001 era de 1 para 16.

O uso dessas séries se justifica pela necessidade de se analisar a variabilidade interanual e para eventuais extensões de séries de vazões. Esse período, como mencionando anteriormente, não será utilizado na análise das precipitações da região, com exceção, é claro, da variabilidade interanual.

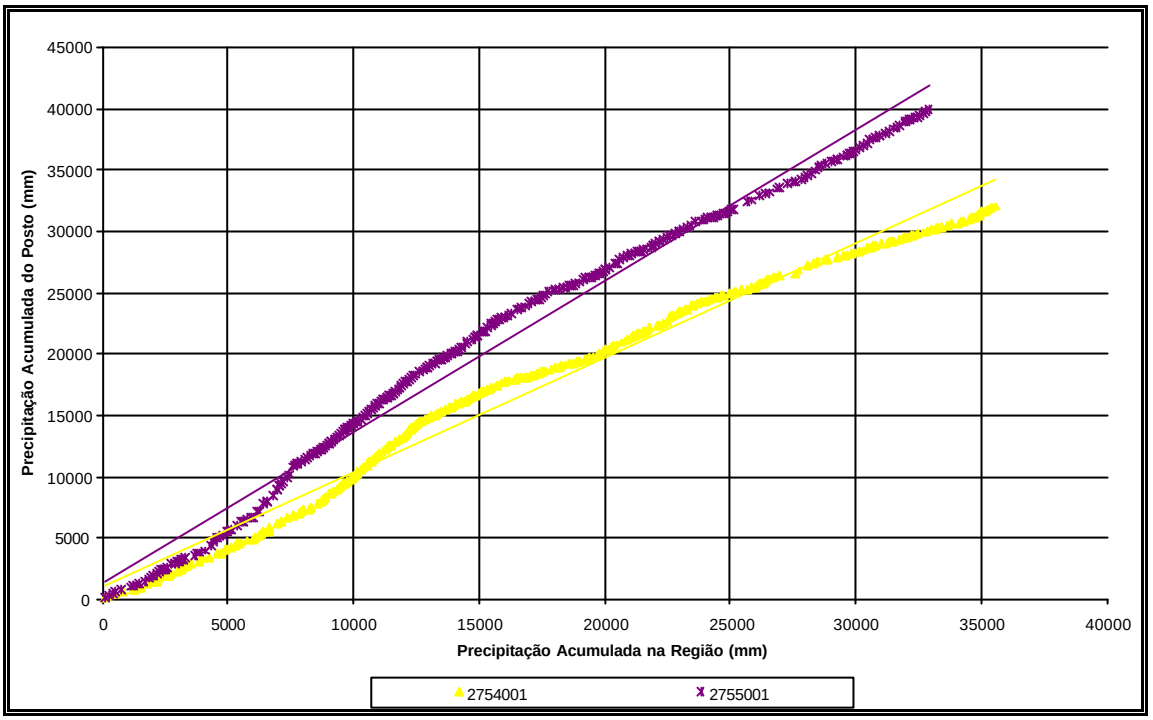


Figura 3.4.16 – Análise de consistência das séries mensais (2754001 e 2755001)

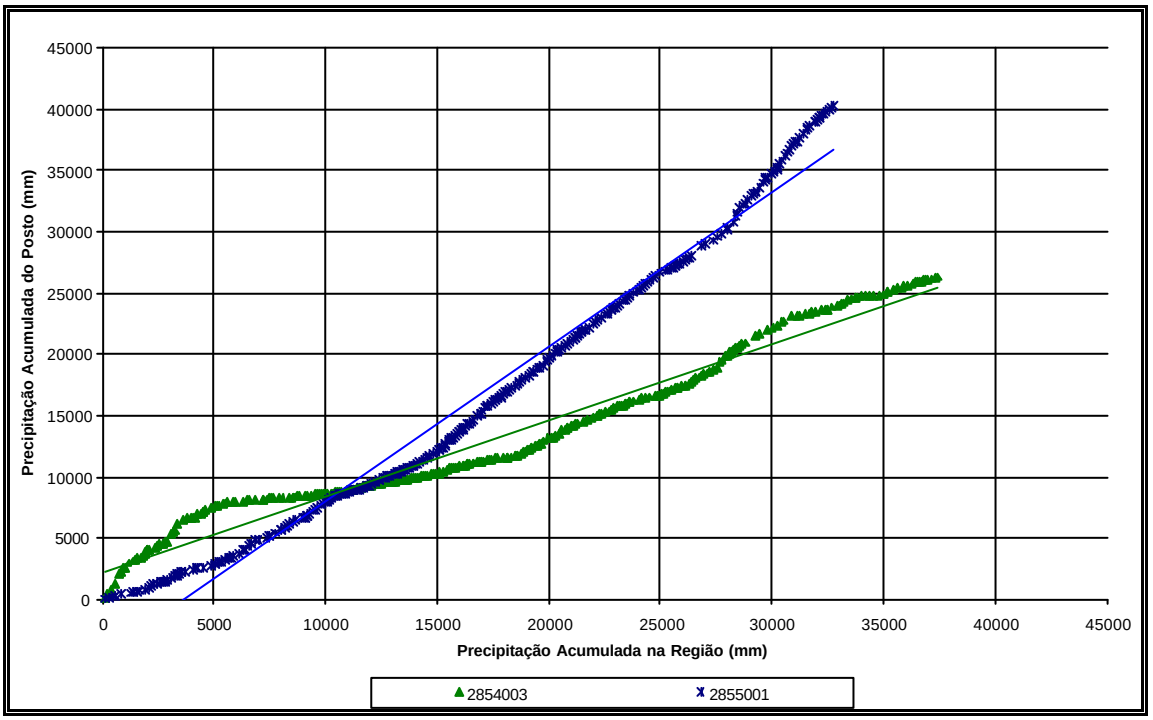


Figura 3.4.17 – Análise de consistência das séries mensais (2854003 e 2855001)

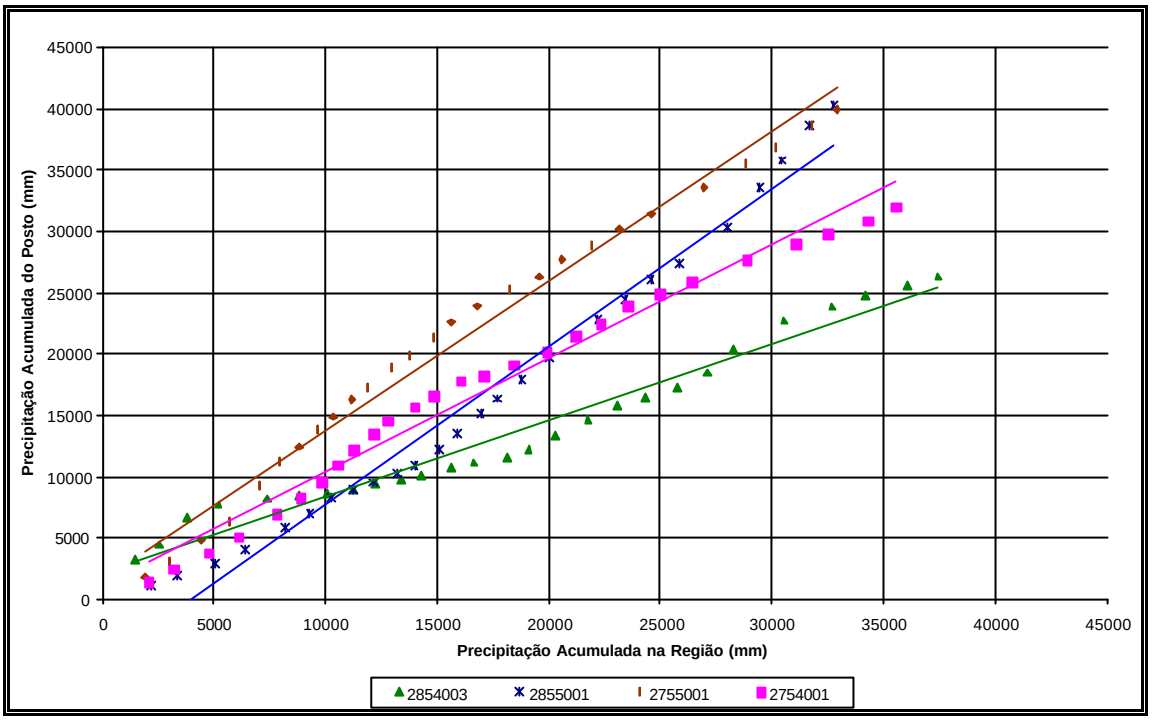


Figura 3.4.18 – Análise de consistência das séries anuais (2754001, 2755001, 2854003 e 2855001)

3.4.4. Isoietas

Com base nas séries de precipitações mensais do período comum de dados (1977 a 2001) dos postos selecionados, com as falhas devidamente preenchidas (item 3.4.2) e os valores consistidos (item 3.4.3) foram plotados as isoietas da precipitação média anual para a região em estudo, bem como as isoietas das precipitações trimestrais, considerando os trimestres: dezembro, janeiro e fevereiro (Verão); março, abril e maio (Outono); junho, julho e agosto (Inverno); e setembro, outubro e novembro (Primavera).

A figura 3.4.19 mostra a região em estudo divida em classes de precipitação anual. Percebemos, pela figura, que a bacia apresenta um gradiente de precipitação na direção NW, acompanhando, de certa forma, a altitude nas sub-bacias, ou seja, nas cabeceiras existe maior precipitação do que na foz com o Rio Uruguai. Dentro da bacia, as precipitações anuais variam entre 1700 a 1900 mm. Essa figura é complementada com a figura 3.4.20 que mostra apenas as isoietas anuais da região.

A figura 3.4.21 apresenta as isoietas e classes de precipitação do trimestre dezembro, janeiro e fevereiro (Verão) na região. Pela figura, notamos que, no verão, as precipitações são mais uniformes na bacia, apresentando um gradiente na direção SW.

A figura 3.4.22 apresenta as isoietas e classes de precipitação do trimestre março, abril e maio (Outono) da região. Podemos observar, nessa figura, que esse trimestre tem como característica a diferença de precipitação do posto do Alto Uruguai (2754001), com 398 mm, em relação aos demais postos dentro da bacia, com 450 a 460 mm.

A figura 3.4.23 mostra as isoietas e classes de precipitação do trimestre menos chuvoso, correspondente aos meses de junho, julho e agosto (Inverno). A variabilidade espacial da precipitação nesse período acompanha o gradiente de altitude da bacia, na direção NW, de forma similar ao gradiente das precipitações anuais.

A figura 3.4.24 apresenta as isoietas do trimestre mais chuvoso, correspondente aos meses setembro, outubro e novembro (Primavera). O gradiente de precipitação também acompanha a altitude, de forma similar as precipitações anuais e no inverno.

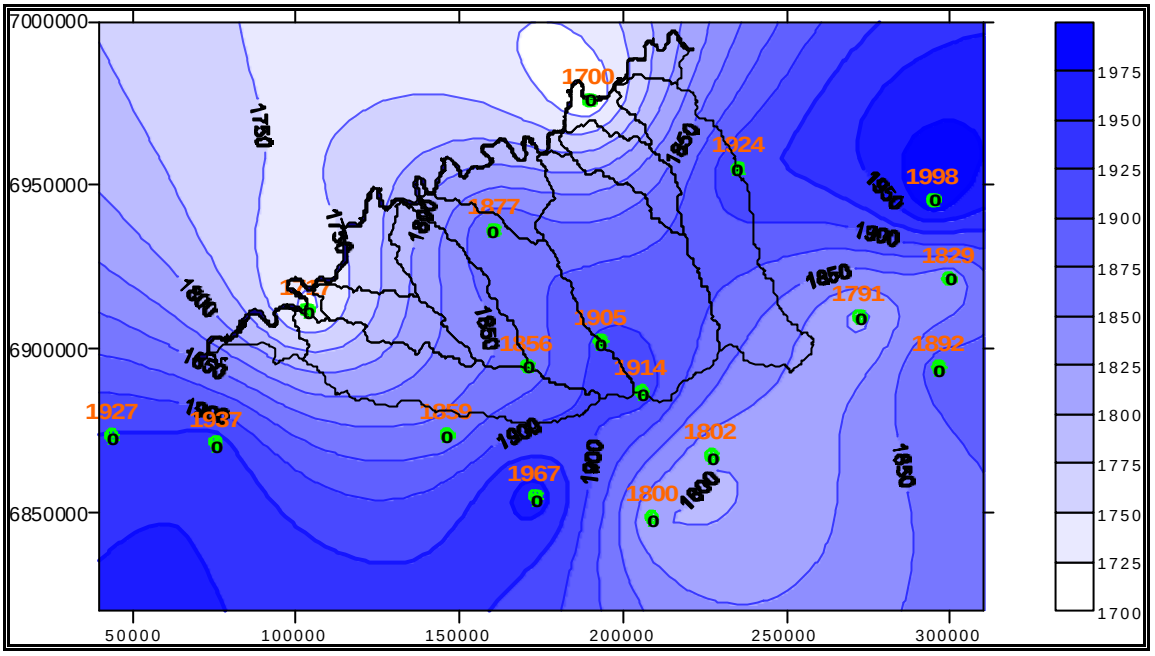


Figura 3.4.19 – Classes de precipitação anual na região em estudo (em mm)

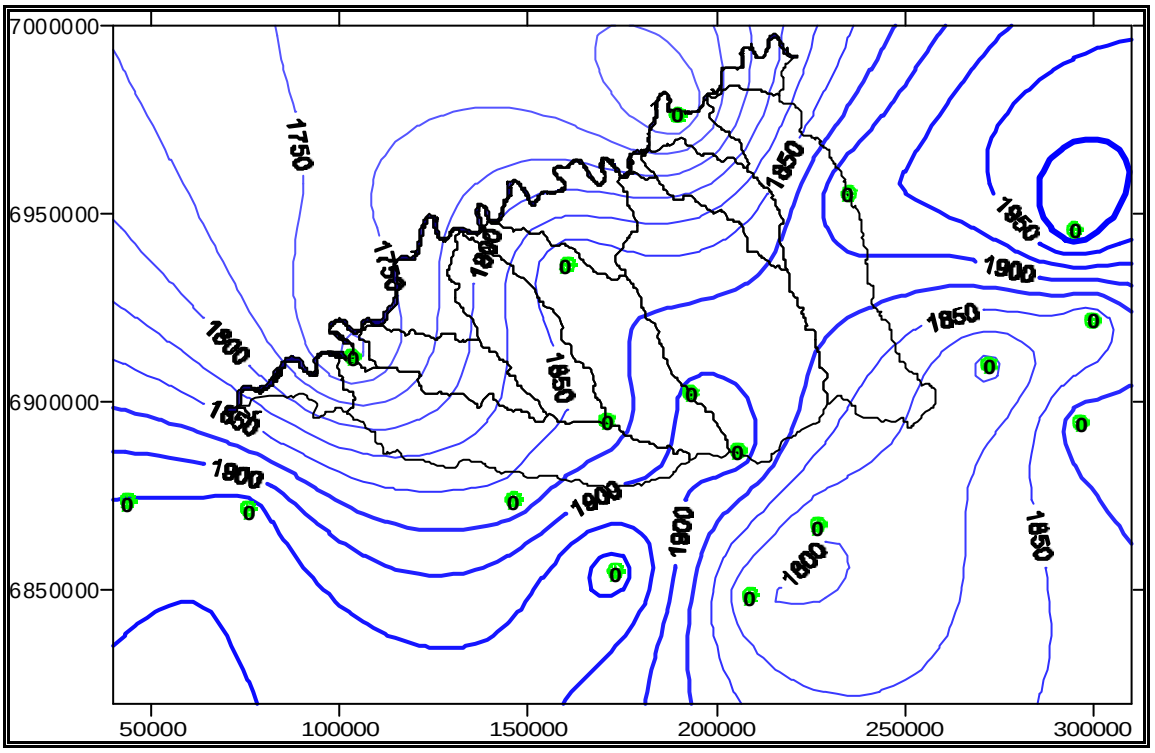


Figura 3.4.20 – Isoietas anuais na região em estudo (em mm)

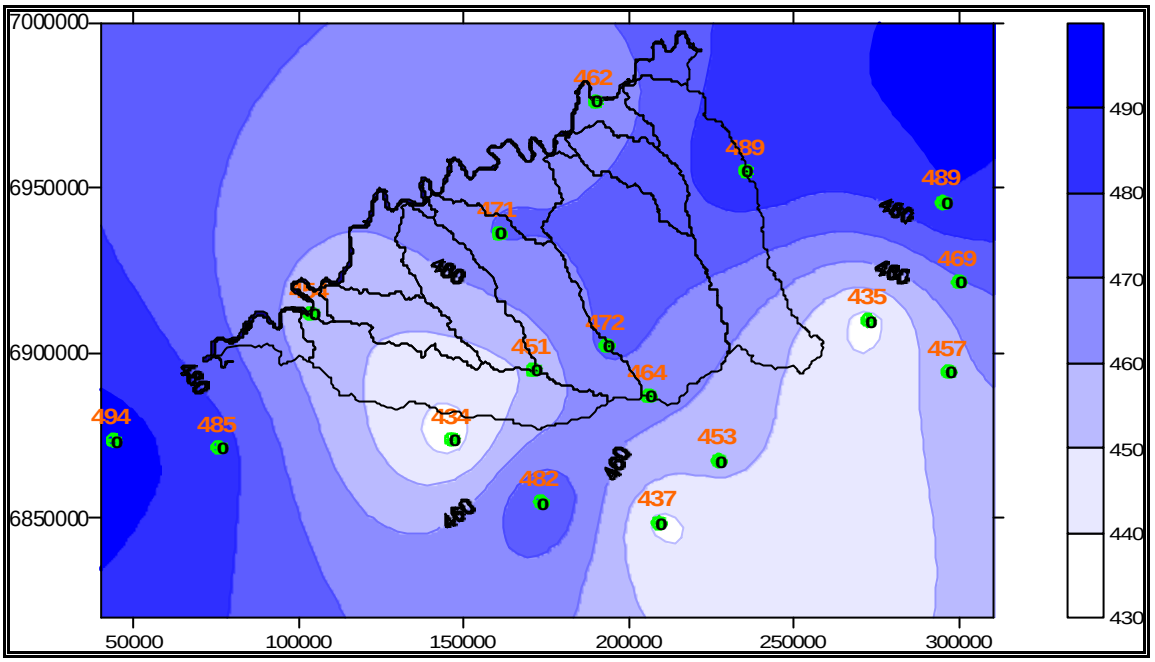


Figura 3.4.21 – Isoietas do trimestre Dezembro/Janeiro/Fevereiro (Verão) na região em estudo (mm)

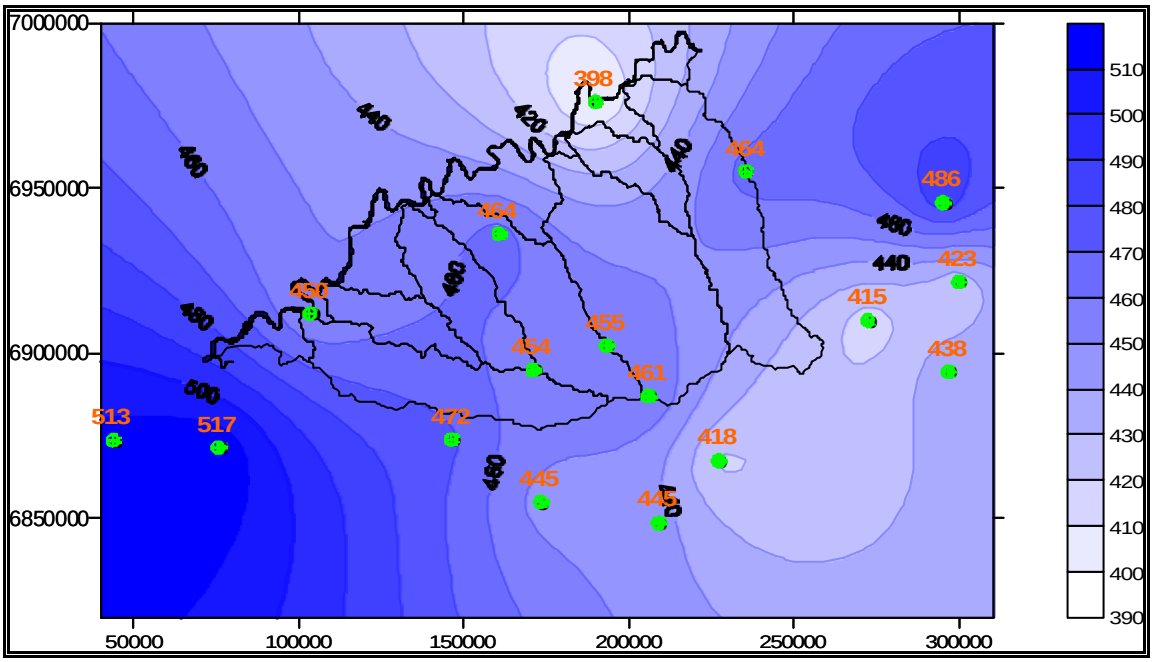


Figura 3.4.22 – Isoietas do trimestre Março/Abril/Maio (Outono) na região em estudo (mm)

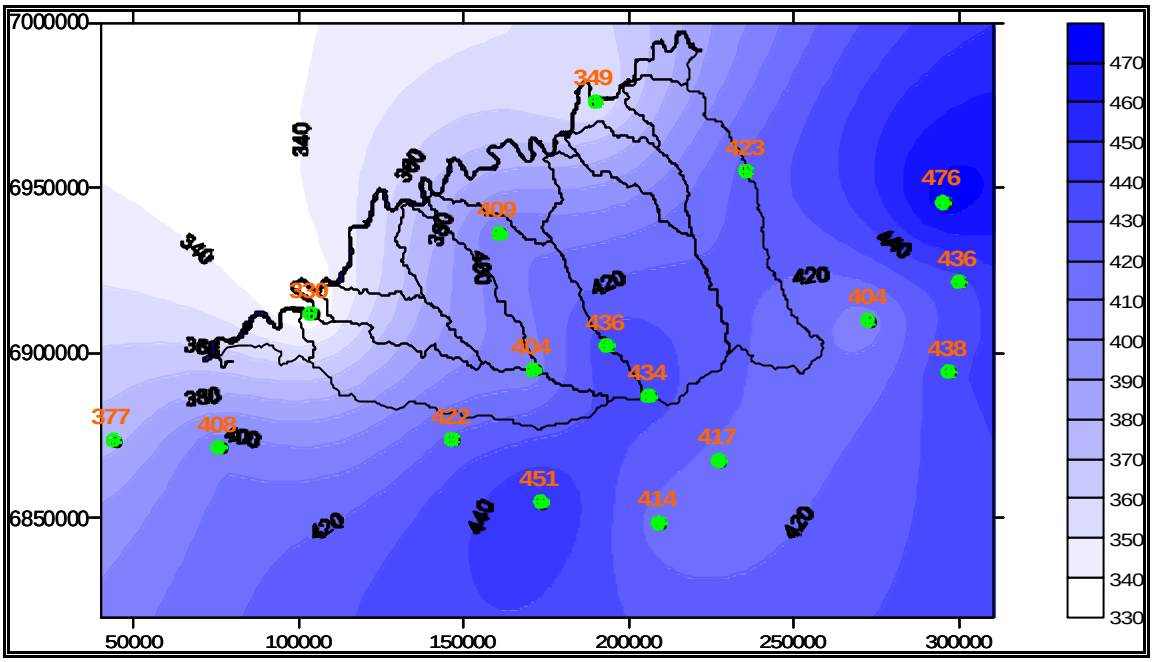


Figura 3.4.23 –. Isoietas do trimestre Junho/Julho/Agosto (Inverno) na região em estudo (mm)

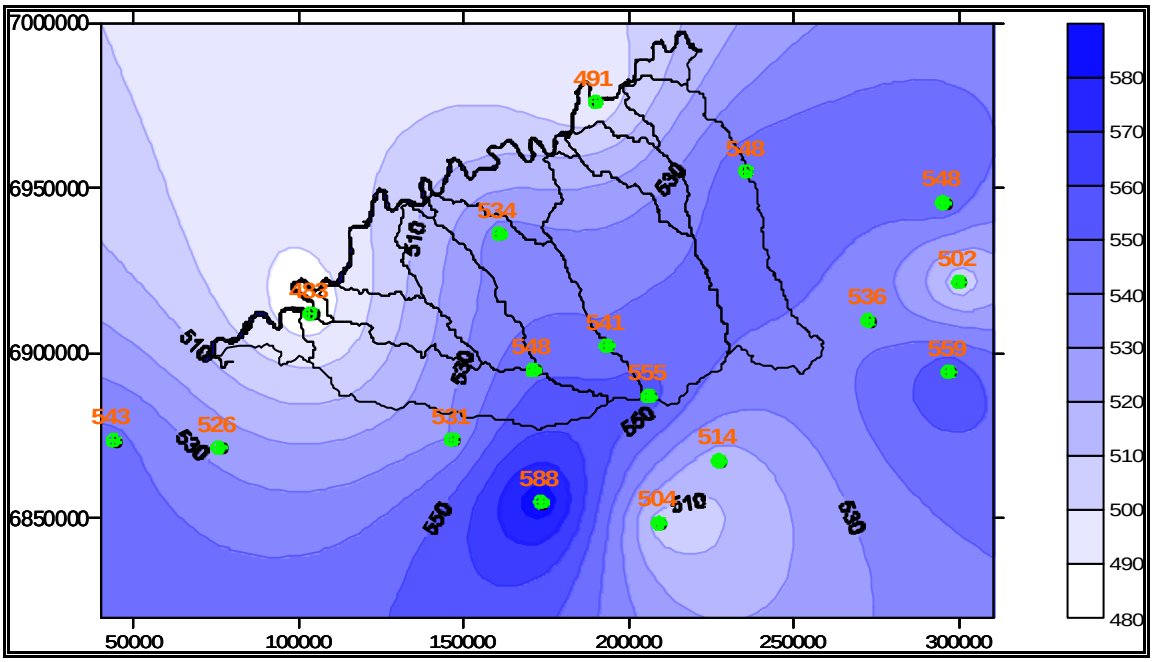


Figura 3.4.24 – Isoietas do trimestre Setembro/Outubro/Novembro (Primavera) na região em estudo (mm)

3.4.5. Distribuição sazonal e inter-anual

As características estatísticas das precipitações mensais dos postos da região em estudo são apresentadas nos quadros 3.4.2 (médias), 3.4.3 (máximas) e 3.4.4 (mínimas). O período adotado foi o comum de dados (1977 a 2001), devidamente preenchido e consistido. Os quadros mostram as precipitações média, mínima e máxima em cada mês, para cada posto, apresentando também a média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) dos postos para esses valores. As tabelas foram ilustradas pela figura 3.4.25.

O quadro 3.4.2 mostra uma pequena variabilidade espacial nas precipitações médias mensais, com um coeficiente de variação (CV) menor que 12%, sendo o maior desvio padrão o do mês de Abril com 21,1 mm. Além da homogeneidade espacial, também podemos verificar uma uniformidade temporal ao longo dos meses (figura 3.4.25), menos de 40% de variação em torno da média para o mês de maior precipitação (Outubro) e menos de 20% para os meses de menor precipitação (Agosto e Março).

Quadro 3.4.2 – Precipitações médias mensais (mm), no período 1977 a 2001

Código	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2753004	166,7	162,7	112,6	153,1	156,8	138,6	169,8	127,5	161,7	207,4	132,6	139,5
2753014	160,5	178,1	134,8	170,5	180,3	158,6	184,1	132,8	168,4	225,0	154,6	150,7
2753015	150,3	135,5	119,1	143,0	152,9	125,8	149,6	128,6	173,2	227,1	135,9	149,7
2753016	158,8	165,0	136,4	157,5	170,6	142,3	160,1	121,0	164,6	232,9	150,1	165,1
2754001	150,7	178,0	131,2	140,2	126,7	116,4	121,8	111,1	152,9	209,4	128,6	132,9
2754009	155,9	166,6	138,3	170,6	155,0	142,4	140,9	125,3	168,8	224,7	140,3	148,5
2754010	161,5	167,8	114,3	177,0	163,8	147,2	153,5	135,5	170,0	222,3	148,6	143,1
2755001	146,9	164,2	116,2	186,1	147,6	114,2	116,2	99,6	139,4	206,5	136,7	143,2
2853003	159,0	152,3	120,2	167,0	157,6	139,5	150,3	124,0	159,9	197,1	147,3	125,9
2853010	164,2	152,3	114,4	142,4	161,6	134,1	154,9	127,6	171,8	196,6	145,5	137,0
2853023	164,4	154,1	115,7	166,3	163,4	141,9	168,4	141,1	196,8	229,3	161,9	163,8
2853026	160,2	155,3	127,3	146,4	164,6	146,7	158,9	132,5	182,8	215,3	160,5	141,2
2854001	164,4	164,8	123,8	172,6	164,1	142,0	154,5	137,9	168,3	222,5	164,4	135,0
2854003	152,5	159,8	115,2	181,2	157,3	132,0	146,2	125,4	164,8	217,9	165,4	138,7
2854006	149,3	160,5	127,5	186,8	157,6	149,4	140,3	132,6	156,7	210,0	164,0	124,6
2855001	167,6	183,3	169,3	196,5	147,6	134,1	132,8	109,6	149,7	201,2	192,5	142,8
2855002	159,6	176,4	151,2	218,1	148,2	137,0	144,3	127,0	142,2	217,2	167,0	148,7
Média	**158,4**	**163,3**	**127,5**	**169,1**	**157,4**	**137,8**	**149,8**	**125,8**	**164,2**	**215,4**	**152,7**	**143,0**
D. Pad.	**6,4**	**11,8**	**15,2**	**21,1**	**11,6**	**11,3**	**16,9**	**10,7**	**14,1**	**11,2**	**16,1**	**11,0**
CV	**0,04**	**0,07**	**0,12**	**0,12**	**0,07**	**0,08**	**0,11**	**0,08**	**0,09**	**0,05**	**0,11**	**0,08**
Máximo	**167,6**	**183,3**	**169,3**	**218,1**	**180,3**	**158,6**	**184,1**	**141,1**	**196,8**	**232,9**	**192,5**	**165,1**
Mínimo	**146,9**	**135,5**	**112,6**	**140,2**	**126,7**	**114,2**	**116,2**	**99,6**	**139,4**	**196,6**	**128,6**	**124,6**

Quadro 3.4.3 – Precipitações máximas mensais (mm), no período 1977 a 2001

Código	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2753004	389,8	438,9	313,7	317,6	389,8	285,6	640,2	352,4	356,5	678,5	262,0	267,6
2753014	361,9	503,1	319,7	382,9	548,6	332,2	619,0	379,0	301,8	662,2	367,3	291,4
2753015	295,2	347,9	256,9	299,6	336,6	257,2	386,9	287,0	415,0	726,3	334,5	312,7
2753016	299,0	388,1	376,2	405,6	411,8	273,4	635,4	334,6	457,2	581,6	350,4	482,5
2754001	317,7	408,1	358,1	330,1	302,4	266,6	349,0	263,8	335,9	602,0	251,2	345,6
2754009	330,1	502,0	261,5	504,0	377,5	297,3	398,6	345,0	373,0	539,6	379,0	329,0
2754010	342,4	436,6	208,5	373,6	432,6	316,7	459,4	397,8	396,0	565,0	360,8	409,6
2755001	341,7	400,7	332,0	360,0	510,6	249,3	399,4	240,8	315,8	495,2	452,8	341,4
2853003	393,8	370,0	207,1	386,9	560,2	288,8	414,4	317,0	406,2	556,6	378,8	306,4
2853010	369,9	360,6	250,7	332,4	471,6	291,4	440,1	350,9	390,4	625,2	329,9	307,7
2853023	332,3	381,5	246,6	376,5	399,0	310,9	447,2	408,0	532,4	555,9	319,4	318,8
2853026	393,1	361,7	302,6	311,7	395,9	273,9	473,1	334,7	488,9	680,8	321,3	293,5
2854001	427,3	426,7	326,4	438,5	520,4	339,0	470,3	384,8	459,6	660,2	371,1	339,3
2854003	331,1	370,0	246,7	376,4	446,5	258,2	488,1	358,8	315,4	557,6	527,7	362,8
2854006	303,8	353,1	401,7	425,7	480,0	328,1	521,5	380,1	331,7	553,5	518,5	278,8
2855001	387,4	470,5	286,3	502,8	414,4	262,7	471,5	512,3	337,7	530,3	554,4	331,7
2855002	334,7	383,6	318,8	572,5	446,2	276,4	509,4	645,8	301,8	630,7	518,4	307,4
Média	**350,1**	**406,1**	**294,9**	**393,9**	**437,9**	**288,7**	**477,9**	**370,2**	**383,3**	**600,1**	**388,1**	**331,0**
D. Pad.	**38,3**	**49,7**	**56,1**	**75,3**	**71,4**	**28,0**	**86,0**	**93,7**	**69,2**	**64,5**	**93,0**	**51,5**
CV	**0,11**	**0,12**	**0,19**	**0,19**	**0,16**	**0,10**	**0,18**	**0,25**	**0,18**	**0,11**	**0,24**	**0,16**
Máximo	**427,3**	**503,1**	**401,7**	**572,5**	**560,2**	**339,0**	**640,2**	**645,8**	**532,4**	**726,3**	**554,4**	**482,5**
Mínimo	**295,2**	**347,9**	**207,1**	**299,6**	**302,4**	**249,3**	**349,0**	**240,8**	**301,8**	**495,2**	**251,2**	**267,6**

Quadro 3.4.4 – Precipitações mínimas mensais (mm), no período 1977 a 2001

Código	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2753004	19,2	35,4	0,0	9,1	13,1	44,2	8,1	19,0	46,8	42,1	11,5	52,6
2753014	23,6	37,3	21,3	13,2	34,4	48,7	9,7	16,7	56,6	76,9	18,6	25,9
2753015	10,0	15,5	10,3	9,0	16,2	19,1	16,0	22,4	83,4	64,7	29,5	50,9
2753016	6,1	7,9	19,1	12,0	18,4	33,2	16,0	20,2	51,8	60,4	16,0	36,3
2754001	9,0	14,7	27,0	10,0	13,7	29,0	11,4	20,8	38,4	45,6	17,1	24,1
2754009	31,6	27,7	17,1	5,0	25,0	26,0	11,8	7,8	54,8	44,1	10,0	47,3
2754010	11,6	32,2	12,4	12,6	36,0	51,4	18,6	21,8	75,3	51,0	20,1	20,0
2755001	4,4	0,0	12,8	14,8	13,6	41,6	15,9	11,6	54,3	29,8	3,1	6,0
2853003	15,5	9,1	47,6	10,3	26,7	10,7	21,5	15,5	38,1	16,2	20,0	33,6
2853010	12,6	16,2	12,6	3,4	23,3	37,8	17,0	20,1	68,5	34,8	12,4	24,8
2853023	12,2	30,0	30,2	8,8	25,0	64,7	31,2	18,2	82,8	38,4	17,3	45,6
2853026	29,5	38,8	15,5	18,2	35,2	61,4	9,2	11,8	49,7	34,8	41,0	65,6
2854001	15,3	12,2	12,2	0,0	26,3	40,4	27,8	13,1	91,3	32,2	16,3	14,2
2854003	16,8	9,4	9,0	3,4	22,5	44,7	20,9	17,5	86,1	39,3	7,0	33,6
2854006	3,2	2,5	17,5	15,8	42,3	23,8	23,1	12,8	50,3	20,0	10,2	31,0
2855001	36,2	24,0	27,9	0,0	16,1	45,0	12,1	14,2	48,6	59,5	15,7	48,7
2855002	8,3	10,7	24,9	30,4	26,1	40,9	32,4	20,9	43,7	30,1	9,3	36,2
Média	**15,6**	**19,0**	**18,7**	**10,4**	**24,3**	**39,0**	**17,8**	**16,7**	**60,0**	**42,3**	**16,2**	**35,1**
D. Pad.	**9,6**	**12,5**	**10,7**	**7,4**	**8,7**	**14,3**	**7,5**	**4,3**	**17,5**	**16,1**	**8,8**	**15,4**
CV	**0,62**	**0,66**	**0,58**	**0,71**	**0,36**	**0,37**	**0,42**	**0,25**	**0,29**	**0,38**	**0,54**	**0,44**
Máximo	**36,2**	**38,8**	**47,6**	**30,4**	**42,3**	**64,7**	**32,4**	**22,4**	**91,3**	**76,9**	**41,0**	**65,6**
Mínimo	**3,2**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**13,1**	**10,7**	**8,1**	**7,8**	**38,1**	**16,2**	**3,1**	**6,0**

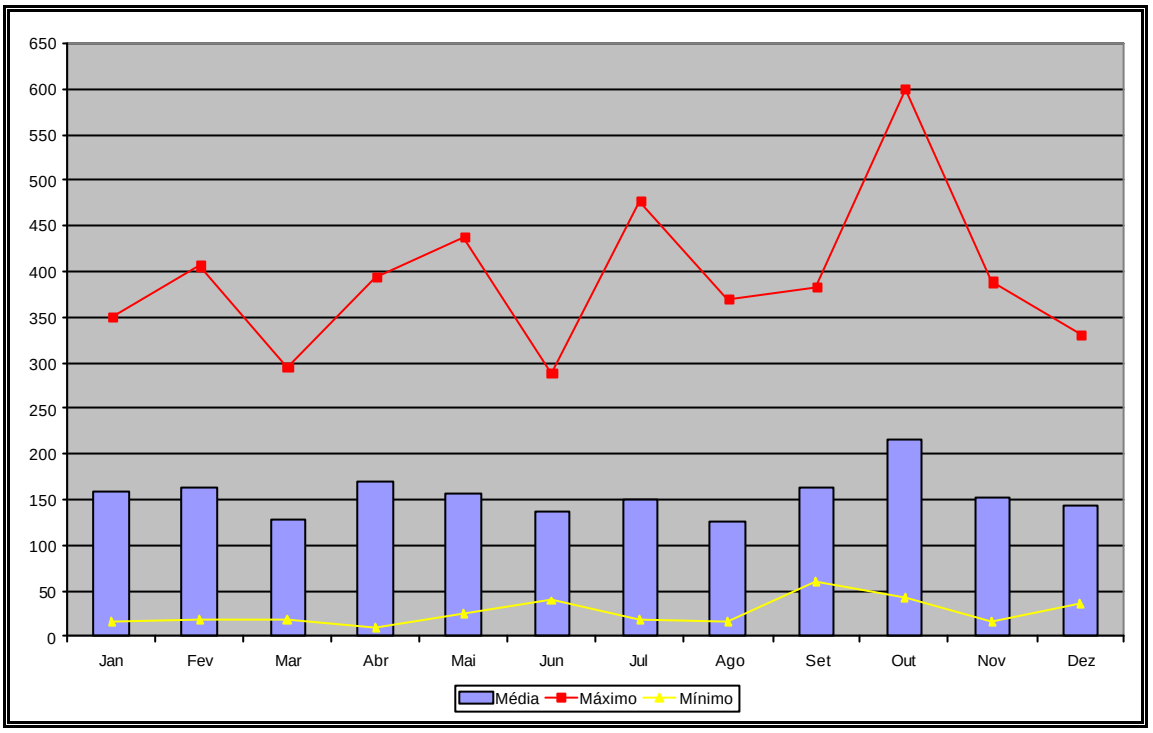


Figura 3.4.25 – Estatísticas das precipitações mensais – médias dos postos da região

O quadro 3.4.3 mostra que existe pouca variabilidade espacial nas precipitações máximas mensais, com um coeficiente de variação (CV) menor que 25%, que é pequeno em se tratando de valores máximos. O mês de outubro apresentou a maior precipitação mensal (600 mm).

O quadro 3.4.4 apresenta as precipitações mínimas mensais, com grande variabilidade espacial com um coeficiente de variação (CV) maior que 50%, que é comum em se tratando de valores mínimos, pois no desvio padrão não passa de 17,5 mm (Setembro). O mês de abril apresentou a menor precipitação mensal mínima (10,4 mm), com valores nulos em dois postos (2854001 e 2855001).

A figura 3.4.26 mostra a variação interanual das precipitações anuais adimensionalizadas pela média no período 1977 a 2001 (mais confiável) dos postos com séries longas (1950 a 2001). As precipitações foram adimensionalizadas para comparação entre os postos. De modo geral, todos os postos próximos ao Rio Uruguai (2754001, 2755001 e 2855001) seguem a mesma tendência de variação interanual, diferentemente do posto 2854003, situado no interior da bacia.

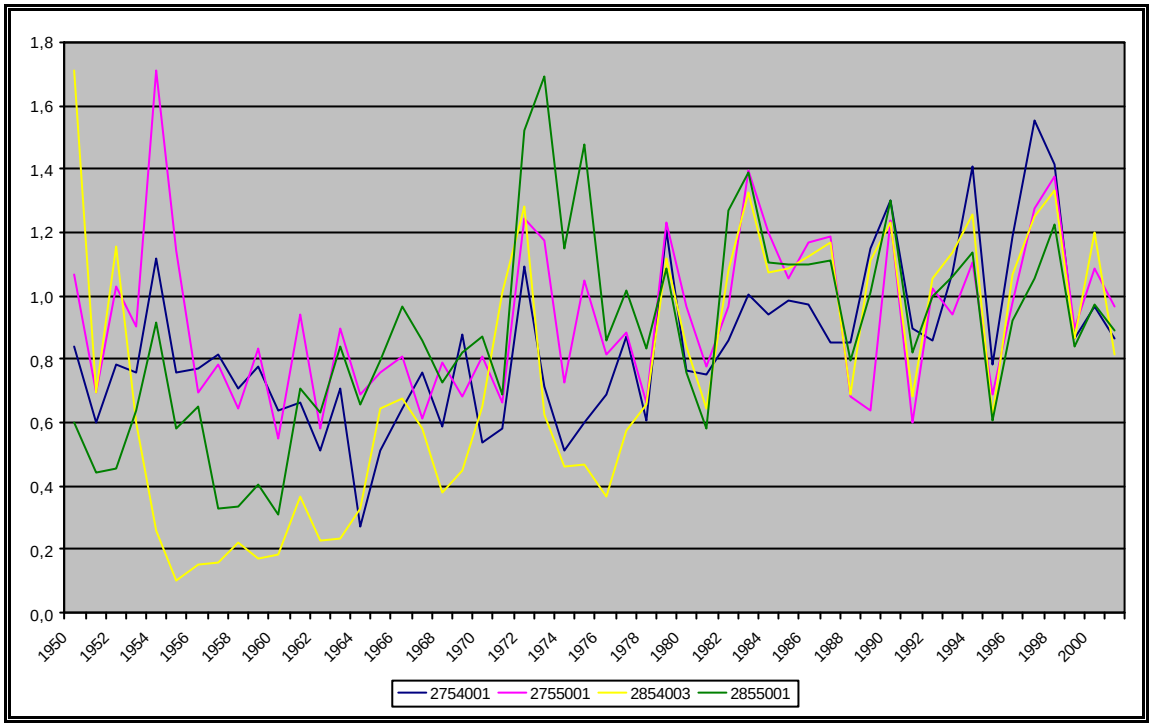


Figura 3.4.26 – Variação interanual das precipitações anuais adimensionalizadas

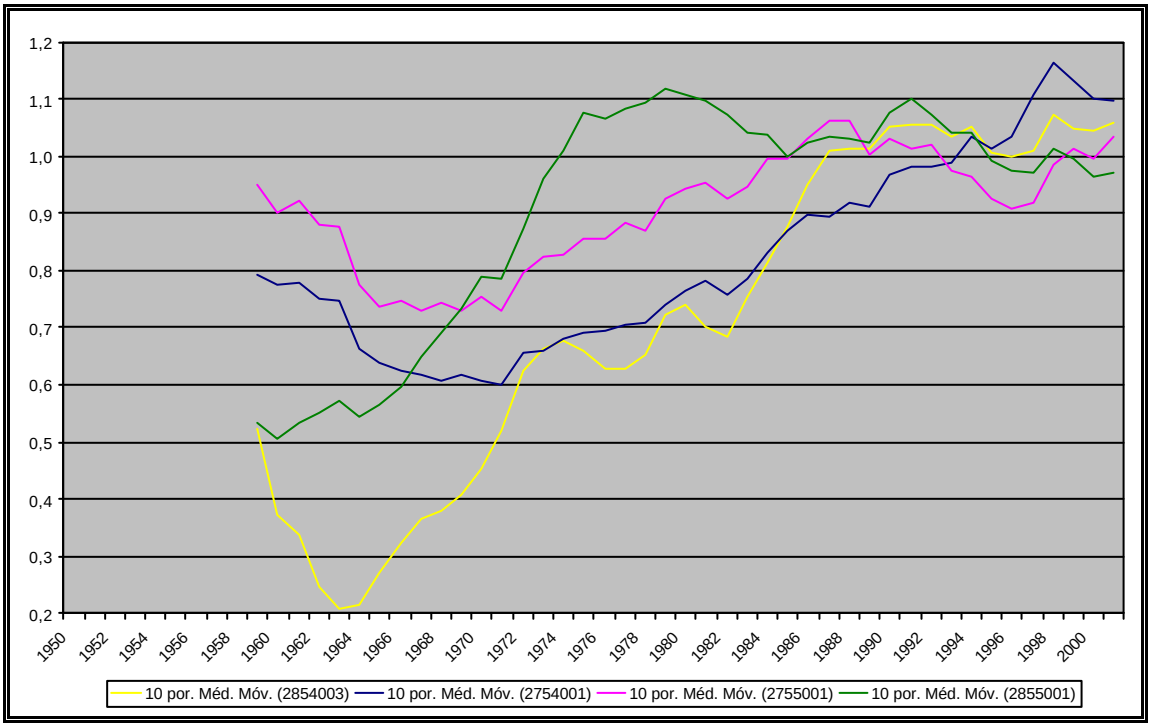


Figura 3.4.27 – Média móvel de dez anos das precipitações anuais adimensionalizadas

A figura 3.4.27 apresenta a média móvel da precipitação anual dos últimos dez anos, adimensionalizadas pela média do posto no período 1977 a 2001. Observamos um aumento nas precipitações anuais gradativamente dos anos 50 e 60 para os anos 80 e 90. O posto 2855001 é o único que apresenta como período de maior precipitação os anos 70, enquanto os demais postos são os anos 90. De modo geral, os últimos 25 anos (1977 a 2001) foram mais chuvosos que os 27 anos anteriores (1950 a 1976) que foram entre 14% (2755001) a 47% (2854003) menor.

As precipitações mensais corrigidas de todos os postos são apresentadas no Anexo A deste relatório.

3.4.6. Precipitações médias

As precipitações médias anuais de cada sub-bacia em estudo foram obtidas pelo método de Thiessen, que calcula a precipitação média na sub-bacia em função da precipitação registrada em cada posto pluviométrico ponderada pela área de influência do posto, ou seja:

$$Pm = \frac{1}{A} \sum A_i P_i \quad , \qquad (3.2)$$

onde: Pm é a precipitação média na sub-bacia; A é a área total da sub-bacia; A_i e P_i são, respectivamente, a área de influência e a precipitação registrada no posto i.

A área de influência de cada posto é obtida pelo polígono de Thiessen, formado pela intersecção dos prolongamentos das linhas perpendiculares às linhas que unem os postos. Quando a área de influência era muito pequena, os coeficientes de Thiessen foram ajustados de forma a manter a variabilidade espacial dentro das sub-bacias, como mostra o quadro 3.4.5.

As precipitações médias anuais obtidas pelo método exposto para cada sub-bacia são apresentadas no quadro 3.4.6. Pode-se observar que a precipitação anual é em torno de 1.850 mm para a Bacia U 30 e maioria das suas sub-bacias. Devido ao gradiente de precipitações na direção SW, verificamos que as bacias menores, mais próximas do Rio Uruguai, apresentam menor precipitação.

A título de comparação, as precipitações médias anuais de cada sub-bacia em estudo também foram calculadas através das áreas de influencias das isoietas, apresentadas na figura 3.4.19, cujos resultados são muito próximos (diferença menor que 1%) dos obtidos pelo método de Thiessen, como podemos observar no Quadro 3.4.6, o que corrobora com os coeficientes utilizados neste estudo (Quadro 3.4.5). A diferença entre os métodos foi calculada tomando como referência a precipitação obtida através das isoietas [Diferença (%) = $100x(P_{isoietas}-P_{Thiessen})/P_{isoeietas}$].

Quadro 3.4.5 – Coeficientes de Thiessen para as sub-bacias estudadas

Código	Rio Amandaú	Rio Buricá	Rio Comandaí	Rio Santa Rosa	Rio Santo Cristo	Rio Turvo	Lajeado Grande	Bacia U 30
2753004	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,02**
2753014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,02**
2753015	0,00	**0,05**	0,00	0,00	0,00	**0,10**	**0,05**	**0,05**
2753016	0,00	**0,10**	0,00	0,00	0,00	**0,35**	**0,35**	**0,05**
2754001	0,00	**0,15**	0,00	**0,05**	**0,05**	**0,20**	**0,50**	**0,05**
2754009	**0,10**	**0,15**	**0,05**	**0,35**	**0,35**	**0,05**	**0,05**	**0,10**
2754010	0,00	**0,30**	**0,05**	**0,20**	0,00	**0,05**	**0,05**	**0,15**
2755001	**0,55**	0,00	**0,20**	**0,05**	**0,10**	0,00	0,00	**0,10**
2853003	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,02**
2853010	0,00	**0,05**	0,00	0,00	0,00	**0,10**	0,00	**0,05**
2853023	0,00	0,00	**0,05**	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,05**
2853026	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,05**	0,00	**0,02**
2854001	0,00	**0,20**	**0,10**	**0,15**	0,00	**0,10**	0,00	**0,05**
2854003	**0,20**	0,00	**0,20**	**0,20**	**0,45**	0,00	0,00	**0,15**
2854006	**0,15**	0,00	**0,30**	0,00	**0,05**	0,00	0,00	**0,05**
2855001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,05**
2855002	0,00	0,00	**0,05**	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,02**
TOTAL	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

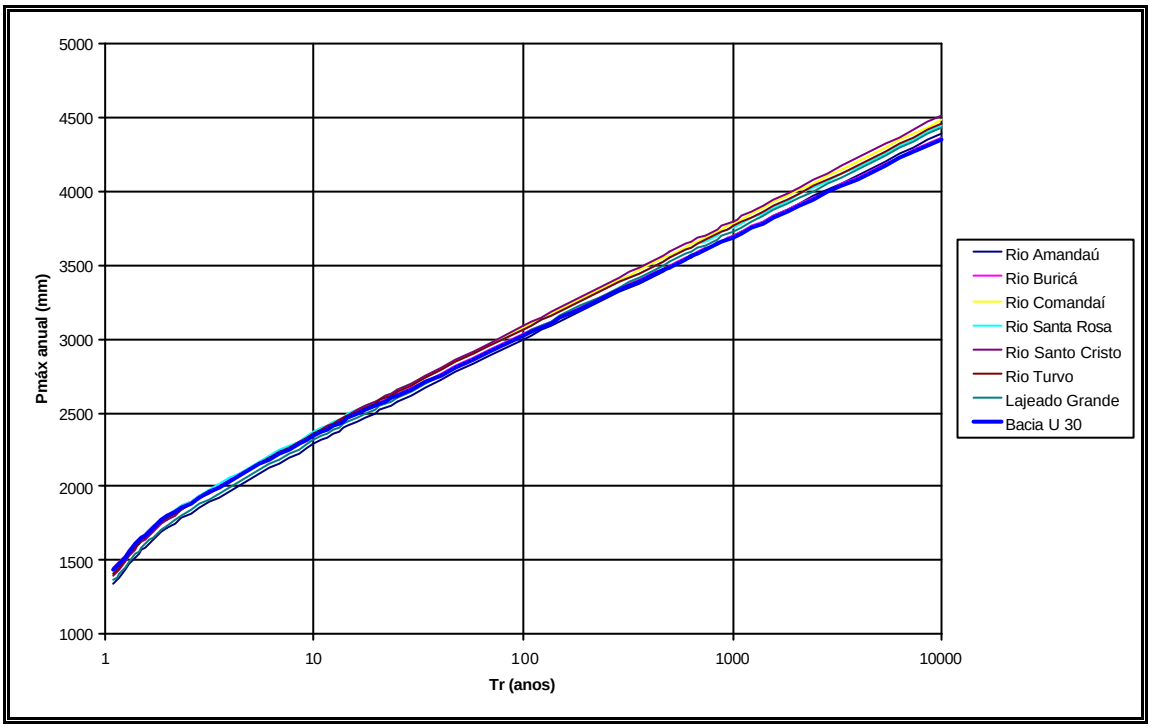
Quadro 3.4.6 – Precipitações anuais nas sub-bacias, para o período de 1977 a 2001

SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	Área de Drenagem (km^2)	Precipitação por Thiessen (mm)	Precipitação pelas Isoietas (mm)	Diferença
Sub-bacia do Rio Amandaú	541,44	1782,1	1.789,5	0,42%
Sub-bacia do Rio Buricá	2.355,24	1863,0	1.865,2	0,12%
Sub-bacia do Rio Comandaí	1.431,52	1848,2	1.830,3	-0,98%
Sub-bacia do Rio Santa Rosa	1.399,59	1867,3	1.869,3	0,11%
Sub-bacia do Rio Santo Cristo	898,10	1842,1	1.829,0	-0,72%
Sub-bacia do Rio Turvo	1.878,61	1848,0	1.856,9	0,48%
Sub-bacia do Lajeado Grande	525,38	1802,2	1.814,4	0,67%
Bacia U 30	**10.756,75**	**1857,0**	**1.837,5**	**-1,06%**

3.4.7. Precipitações máximas

A curva de probabilidade das precipitações máximas anuais da região foi obtida utilizando o período comum de dados (1977 - 2001), ajustando os valores de maior precipitação anual à curva estatística de Gumbel. Os valores de precipitação anual para cada sub-bacia foram obtidos utilizando os ponderadores de Thiessen (quadro 3.4.5).

A figura 3.4.28 mostra as curvas de probabilidade de precipitações anuais máximas para cada sub-bacia em estudo, destacando a curva de probabilidade da Bacia U 30. Os valores de precipitação anual máxima das sub-bacias estão no quadro 3.4.7.

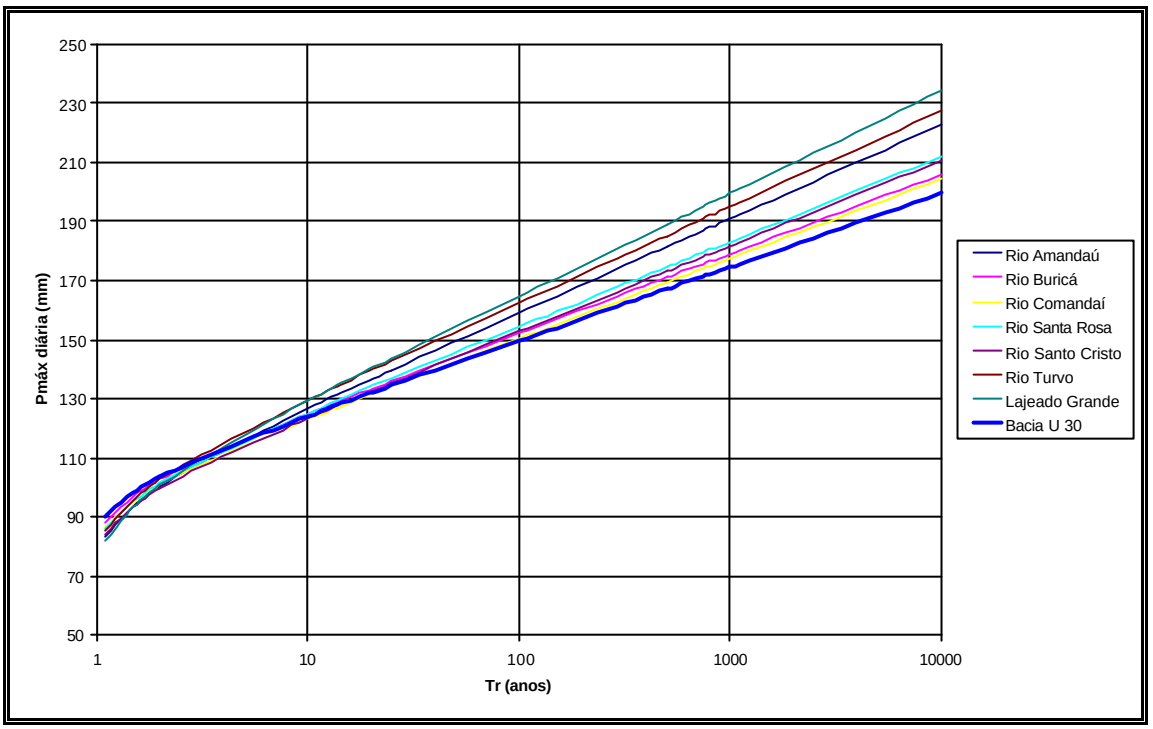


Figuras 3.4.28 – Curvas de probabilidade de precipitação máxima anual (Gumbel)

Quadro 3.4.7 – Precipitações máximas anuais nas sub-bacias e Bacia U 30

Tr (anos)	Rio Amandaú	Rio Buricá	Rio Comandaí	Rio Santa Rosa	Rio Santo Cristo	Rio Turvo	Lajeado Grande	Bacia U 30
1,1	1344,3	1442,2	1405,2	1434,8	1393,5	1409,7	1360,8	**1437,1**
2	1718,5	1801,9	1783,9	1804,6	1777,0	1784,4	1738,1	**1796,0**
10	2286,6	2348,0	2358,7	2365,9	2359,1	2353,1	2310,8	**2340,9**
25	2572,5	2622,8	2648,0	2648,4	2652,1	2639,4	2599,1	**2615,2**
100	2995,2	3029,0	3075,6	3066,0	3085,2	3062,6	3025,2	**3020,6**
500	3481,7	3496,7	3567,9	3546,8	3583,8	3549,7	3515,7	**3487,3**
1000	3690,9	3697,8	3779,6	3753,4	3798,1	3759,2	3726,6	**3687,9**
10000	4385,3	4365,3	4482,3	4439,6	4509,7	4454,5	4426,8	**4354,0**

A curva de probabilidade das precipitações máximas diárias foi obtida ajustando os valores de precipitação máxima diária (maior precipitação diária ocorrida no ano) à distribuição Gumbel. A análise foi realizada para o período comum de dados (1977 a 2001). Os valores de precipitação máxima diária para cada sub-bacia foram obtidos utilizando os ponderadores de Thiessen. Como as falhas nas precipitações máximas não podem ser preenchidas, quando um posto usado numa sub-bacia apresentou falha num determinado ano, ele foi substituído pelo posto mais próximo.



Figuras 3.4.29 – Curva de probabilidade de precipitações máximas diárias (Gumbel)

Quadro 3.4.8 – Precipitações máximas diárias nas sub-bacias e Bacia U 30

Tr (anos)	Rio Amandaú	Rio Buricá	Rio Comandaí	Rio Santa Rosa	Rio Santo Cristo	Rio Turvo	Lajeado Grande	Bacia U 30
1,1	83,3	88,3	86,3	85,9	84,2	85,2	82,1	**90,2**
2	100,5	102,8	100,8	101,4	99,7	102,7	100,8	**103,7**
10	126,5	124,7	122,9	125,0	123,4	129,3	129,2	**124,1**
25	139,7	135,8	134,0	136,8	135,2	142,7	143,5	**134,4**
100	159,0	152,2	150,4	154,3	152,8	162,5	164,7	**149,6**
500	181,4	171,0	169,3	174,5	173,1	185,2	189,0	**167,1**
1000	191,0	179,1	177,4	183,2	181,8	195,0	199,5	**174,6**
10000	222,8	206,0	204,4	212,0	210,6	227,5	234,3	**199,5**

A figura 3.4.29 e o quadro 3.4.8 apresentaram as curvas de probabilidade de precipitação máxima diária para as sub-bacias em estudo e Bacia U 30. Pela figura, verificamos que as precipitações máximas diárias nas sub-bacias em estudo assumem valores próximos ao da bacia, estando esses valores numa faixa entre ±10% do da Bacia U 30. Verificamos que, em geral, quanto maior a área, menor as precipitações máximas diárias (Tr > 10 anos), o que era esperado devido a grande variabilidade espacial das precipitações máximas diárias. A bacia do Rio Turvo é uma exceção, pois devido ao seu formato alongado, sofre a influencia de postos próximos, diminuindo a variabilidade espacial.

A curva i-d-f foi obtida relacionando os valores de intensidade, duração e freqüência através da seguinte equação:

$$i = \frac{aTr^{b}}{(t+c)^{d}} \quad , \qquad (3.3)$$

onde: i é a intensidade em mm/h; Tr é o tempo de retorno em anos; t é a duração da chuva em min; e a, b, c, d são os parâmetros de ajuste para cada local.

No cálculo das curvas i-d-f, não foram adotados os dados dos pluviográfos existentes na região, porque estes dados não estavam disponíveis, nem em estado bruto, muito menos, consistidos, o que inviabilizou sua utilização neste estudo.

Os valores de Tr adotados foram 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Os valores da intensidade obtidos em função da duração para cada Tr foram estimados considerando as precipitações máximas diárias obtidas pela curva de probabilidade da região (quadro 3.4.8). Para as durações menores que 1 dia, foi adotado o método das relações de duração descrito por Tucci (1993). Os valores dessas relações adotados no estudo foram os valores médios para o Brasil (CETESB, 1979 apud Tucci, 1993). Essa metodologia baseia-se em duas características observadas nas curvas i-d-f: i) existe a tendência das curvas de probabilidade de diferentes durações manterem-se paralelas entre si; e ii) para diferentes locais, existe uma grande similaridade nas relações entre intensidades médias máximas de diferentes durações.

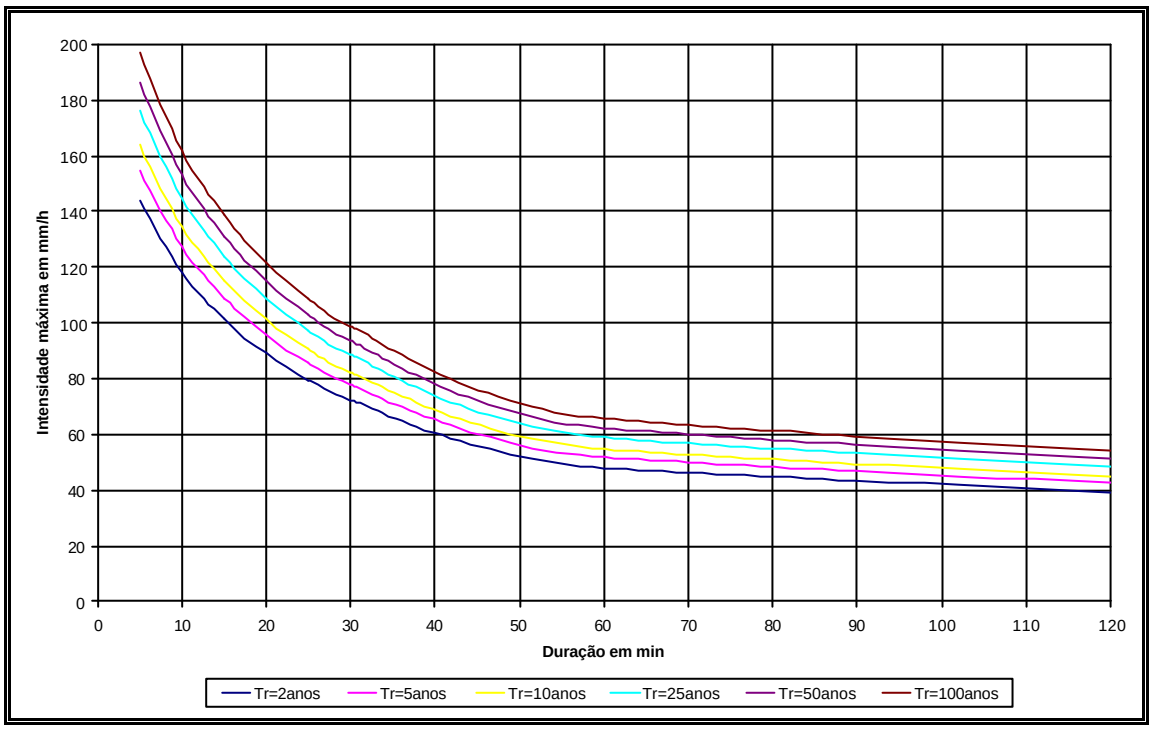
Os valores dos parâmetros ajustados para a Bacia U 30 foram: a=1173; b=0,08; c=12; e d=0,76, que é representativa para as sua sub-bacias, como podemos observar no quadro 3.4.9 e figura 3.4.30. Dessa forma, a equação que representa a curva i-d-f da bacia é:

$$i = \frac{1173Tr^{0,08}}{(t+12)^{0,76}} \qquad (3.4)$$

Quadro 3.4.9 – Parâmetros da curva i-d-f ajustados para as sub-bacias e Bacia U 30

Parâmetro	Rio Amandaú	Rio Buricá	Rio Comandaí	Rio Santa Rosa	Rio Santo Cristo	Rio Turvo	Lajeado Grande	Bacia U 30
a	1136	1136	1136	1136	1173	1173	1173	1173
b	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,08
c	12	12	12	12	13	12	13	12
d	0,76	0,76	0,76	0,76	0,77	0,76	0,77	0,76

A figura 3.4.30 apresenta as curvas i-d-f estimadas para a Bacia U 30, para diferentes tempos de retorno. As sub-bacias da Bacia U 30 apresentam curvas similares, cujos valores podem ser obtidos usando os valores dos parâmetros indicados no quadro 3.4.9.



Figuras 3.4.30 – Curvas i-d-f para a Bacia U 30.

3.5. CLIMATOLOGIA

3.5.1. Médias climáticas e descrição do clima

A região da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo (U 30) apresenta segundo a classificação de Köppen, um clima do tipo mesotérmico úmido, Cfa, com verão quente de temperaturas médias próximas a 22ºC e chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com precipitações de no mínimo 60 mm no mês mais seco.

A Bacia U 30 está localizada numa área de contato entre as massas de ar tropical continental e polar. Durante o ano ocorrem precipitações abundantes ocasionadas pelo confronto entre estas massas, causando o aspecto úmido do clima e uma sensível queda de temperatura após a passagem de frentes frias.

Dos 55 municípios cujos limites estão inseridos, total ou parcialmente, dentro da área da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, apenas os municípios de Ijuí, Palmeira das Missões, Santa Rosa, Santo Ângelo, e Santo Augusto, contam com estações meteorológicas ou agrometeorológicas que dispõem de dados capazes de caracterizar os parâmetros climáticos que serão analisados.

A distribuição das isotermas está condicionada a efeitos do relevo e de altitude na bacia hidrográfica, e de um modo geral as áreas mais elevadas são mais frias que as planícies. As estações localizadas em cidades situadas em cotas mais baixas, como Santa Rosa, 360 m, e Santo Ângelo, 289 m acima do nível do mar, apresentam temperaturas médias mensais menores do que, por exemplo, Palmeira das Missões localizada a 634 m acima do nível do mar.

Se por um lado o regime anual de chuvas apresenta pequena variação, por outro lado o regime térmico apresenta grandes oscilações. Entre a média do mês mais quente e a do mês mais frio ocorre uma variação de aproximadamente 10ºC em todas as estações observadas.

Os verões são normalmente quentes, e a temperatura média chega aos 25ºC nos platôs próximos aos 300 m de altitude. A marca de 22ºC é atingida com facilidade em altitudes acima de 600 m.

Nas altitudes menores as temperaturas máximas médias chegam com facilidade aos 30ºC durante verão e ultrapassam os 20ºC no inverno. Em toda a bacia hidrográfica, as temperaturas máximas médias oscilam de modo análogo às temperaturas médias mensais, com variações ao longo do ano de pouco mais de 10ºC.

O inverno na bacia é acentuado, tem início com uma queda abrupta nas temperaturas entre fevereiro e maio, até que, a partir de julho, estas começam a elevar-se suavemente até o final da estação em setembro.

A curta duração dos dias e a atuação da massa de ar polar induzem temperaturas baixas, podendo descer a valores negativos. Os menores valores de temperatura mínima média no inverno variam em torno dos 8ºC no mês de julho.

Um importante fenômeno meteorológico que abrange toda a Bacia U 30 é a ocorrência de fortes geadas. A origem destes eventos está associada á sua latitude e continentalidade em relação às massas de ar polar que invadem o país com diferentes intensidades ao longo do ano. A área da bacia encontra-se situada em uma região de freqüência média de ocorrência de geadas, o que caracteriza que este fenômeno ocorre anualmente com freqüência de no mínimo 5 e no máximo 20 vezes ao ano.

As geadas são registradas desde o mês de maio até setembro. As temperaturas podem chegar a -1°C nas áreas mais frias, porém em casos extremos, chegam a até -4°C.

As estações agrometeorógicas existentes, com dados capazes de caracterizar a insolação e a evaporação na Bacia U 30 estão localizadas nos municípios de Ijuí e Santo Augusto, o primeiro tendo parte dos seus limites dentro da bacia, e o último estando completamente inserido na unidade geográfica. Foram considerados também os dados existentes para estes parâmetros na estação meteorológica de Santa Rosa, inserida dentro da bacia hidrográfica.

Os níveis de evaporação estão diretamente relacionados às incidências de temperaturas, chuvas e horas de insolação, e está condicionada à disponibilidade de energia na atmosfera para evaporar superfícies líquidas. Devido a maior altura solar nos meses de verão, é neste período do ano que a evaporação é maior.

O número de horas de insolação anual nos municípios observados varia de 2.380 a 2.510 horas, sendo a média mensal para todas as estações, 203 horas de insolação. O maior número de horas de insolação corresponde aos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril com número de horas de insolação maior que a média anual. Os demais meses, correspondentes ao período mais frio do ano, apresentam número médio de horas de insolação menores que a média anual.

No escoamento atmosférico sobre o Rio Grande do Sul, prevalecem os efeitos ditados pelo anticiclone subtropical Atlântico, os intermitentes deslocamentos de massas polares e a depressão barométrica do nordeste da Argentina.

O anticiclone subtropical Atlântico é um centro de altas pressões cuja posição média anual é 30ºS, 25ºW. A circulação dele resultante, no sentido anti-horário, resulta no predomínio de ventos de leste-nordeste sobre toda a área do Brasil situada abaixo da latitude 10ºS, inclusive toda a área da Bacia U 30.

A seguir, será apresentada uma série de evaporação para bacia em estudo.

3.5.2. Séries de evaporação

A série de evaporação foi obtida tomando como referência o posto 83907 (2854011) do INMET, localizado no município de São Luiz Gonzaga, cujos dados se encontram no quadro 3.5.1. Essa estação foi escolhida por ser o posto com maior série de dados de evaporação disponível na região e por representativo em relação aos demais postos do INMET.

Quadro 3.5.1 – Posto climatológico utilizado no estudo

Código	Código Adicional	Nome	Operadora	UF	Latitude	Longitude	Altitude (m)
2854011	83907	SÃO LUIZ GONZAGA	INMET	RS	-28:24	-55:01	260

A série de dados de evaporação do posto 83907 é de 1961 a 1978, cujos valores mensais são apresentados no quadro 3.5.2, onde podemos verificar que a existe uma pequena variação nos valores mensais de evaporação, com CV em torno da metade do observado nos postos pluviométricos. Os valores anuais de evaporação são mais uniformes que os mensais, com CV de 16%. A média anual, no período, foi de 1098 mm

Quadro 3.5.2– Série mensal de evaporação potencial do posto 83907 (1961-1978), em mm.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1961	143,0	101,7	88,8	54,3	61,3	67,4	63,1	113,4	75,6	89,8	108,0	144,5	**1110,9**
1962	145,0	133,5	100,0	71,7	71,7	89,5	56,2	98,5	112,1	120,8	142,5	196,5	**1338,0**
1963	116,9	107,1	116,8	81,2	69,6	74,3	82,4	108,4	112,5	112,6	117,7	137,7	**1237,2**
1964	189,3	138,2	154,3	88,7	83,0	72,4	91,0	100,0	87,7	141,3	172,7	164,7	**1483,3**
1965	177,2	126,0	122,9	84,4	74,6	56,2	84,1	90,8	79,0	136,1	138,0	109,4	**1278,7**
1966	117,6	86,5	100,3	83,6	85,6	70,8	85,2	112,2	106,6	106,0	84,2	121,7	**1160,3**
1967	120,3	106,8	102,6	80,4	96,8	64,0	66,8	88,2	70,9	81,6	98,8	179,7	**1156,9**
1968	150,7	146,5	112,1	85,0	74,2	48,2	62,8	71,8	97,1	91,4	108,3	146,2	**1194,3**
1969	85,4	69,1	90,9	161,5	60,2	64,5	92,0	77,2	106,9	123,1	92,8	152,6	**1176,2**
1970	117,8	98,6	86,8	100,1	61,3	52,6	69,2	58,9	84,4	93,6	120,5	119,1	**1062,9**
1971	91,3	71,5	61,5	73,4	58,5	48,6	64,5	75,7	91,1	106,5	165,1	158,0	**1065,7**
1972	111,6	96,9	86,1	63,4	66,8	38,6	44,1	49,9	85,2	86,2	84,5	111,8	**925,1**
1973	77,7	76,2	74,5	54,6	45,5	36,0	48,6	64,2	64,8	98,9	127,2	97,6	**865,8**
1974	90,2	53,5	69,1	87,9	66,9	45,1	81,1	85,6	92,9	113,3	120,9	96,9	**1003,4**
1975	93,5	87,2	58,2	52,0	63,6	46,2	72,0	59,6	54,7	79,1	89,4	100,7	**856,2**
1976	70,5	64,8	59,0	61,2	44,9	58,3	61,6	72,1	79,3	84,9	104,6	107,5	**868,7**
1977	64,4	72,3	73,6	65,1	107,4	45,3	69,1	41,1	89,9	113,1	71,9	98,4	**911,6**
1978	115,8	98,1	102,9	103,1	93,5	67,7	58,2	63,8	71,7	86,6	79,1	125,7	**1066,2**
Média	**115,5**	**96,4**	**92,2**	**80,6**	**71,4**	**58,1**	**69,6**	**79,5**	**86,8**	**103,6**	**112,6**	**131,6**	**1097,9**
D. Padrão	**35,0**	**26,7**	**25,0**	**25,2**	**16,7**	**14,2**	**13,9**	**21,5**	**16,3**	**18,7**	**28,6**	**30,0**	**175,4**
CV	**0,30**	**0,28**	**0,27**	**0,31**	**0,23**	**0,24**	**0,20**	**0,27**	**0,19**	**0,18**	**0,25**	**0,23**	**0,16**
Máximo	**189,3**	**146,5**	**154,3**	**161,5**	**107,4**	**89,5**	**92,0**	**113,4**	**112,5**	**141,3**	**172,7**	**196,5**	**1483,3**
Mínimo	**64,4**	**53,5**	**58,2**	**52,0**	**44,9**	**36,0**	**44,1**	**41,1**	**54,7**	**79,1**	**71,9**	**96,9**	**856,2**

A figura 3.5.1 apresenta a variação sazonal da evaporação potencial, tomando como base as médias mensais do posto 83907 no período com dados. A evaporação mensal é bem menor no inverno (207 mm) do que no verão (343 mm), o que equivale a um aumento de 65% no verão, como era de se esperar, devido à variação anual na insolação da região.

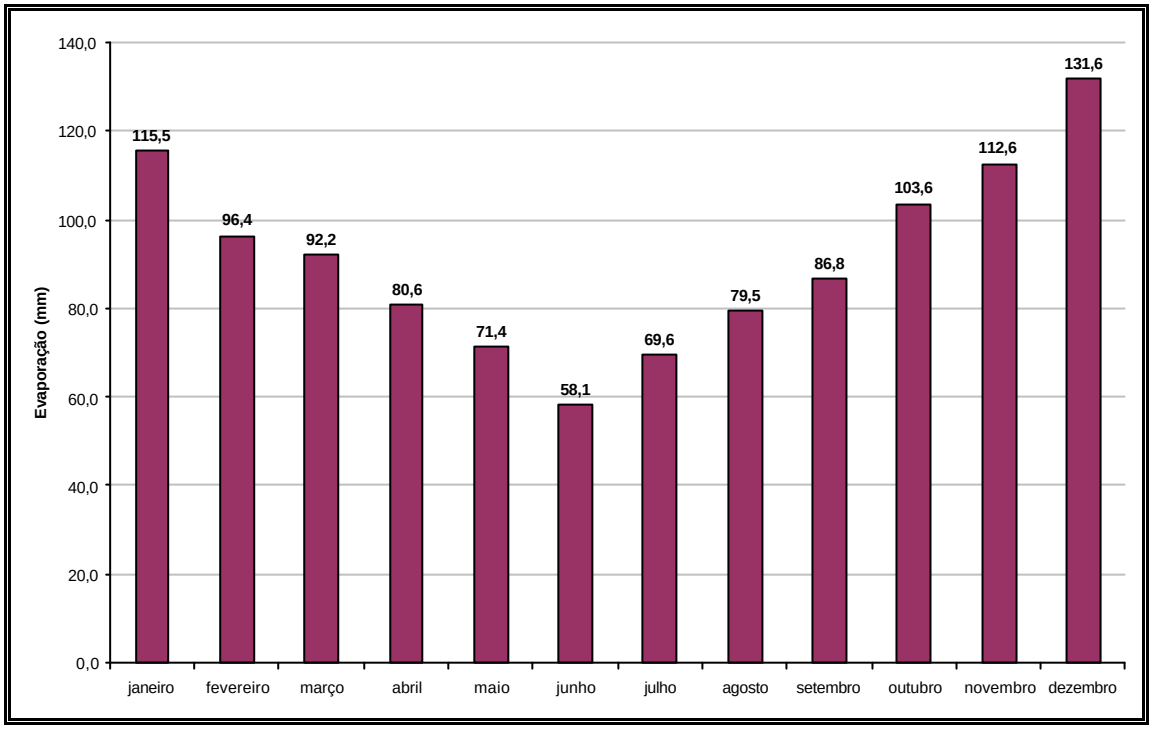


Figura 3.5.1 – Variação sazonal da evaporação potencial no posto 83907

3.5.3. Análise da série E/P interanual

A razão entre a Evaporação potencial (E) e a Precipitação anual (P) é de fundamental importância no estudo do balanço hídrico da região, esta relação é um indicador das condições desfavoráveis de disponibilidade hídrica. Para o cálculo dessa razão foi utilizado o posto pluviométrico 2855001, por o mais próximo com o mesmo período de dados.

Na figura 3.5.2, podemos observar que os anos mais secos apresentam maior evaporação, devido a menor nebulosidade e, conseqüentemente, maior insolação. Pela figura, observamos que os anos 60 foram mais secos e conseqüentemente de maior evaporação, do que os anos 70. Apenas nos anos de 1962 e 1964 (os mais secos do período) é que a evaporação potencial foi maior que a precipitação total, como mostra a figura 3.5.3, que apresenta os valores anuais de evaporação (posto 83907) e precipitação (posto 2855001).

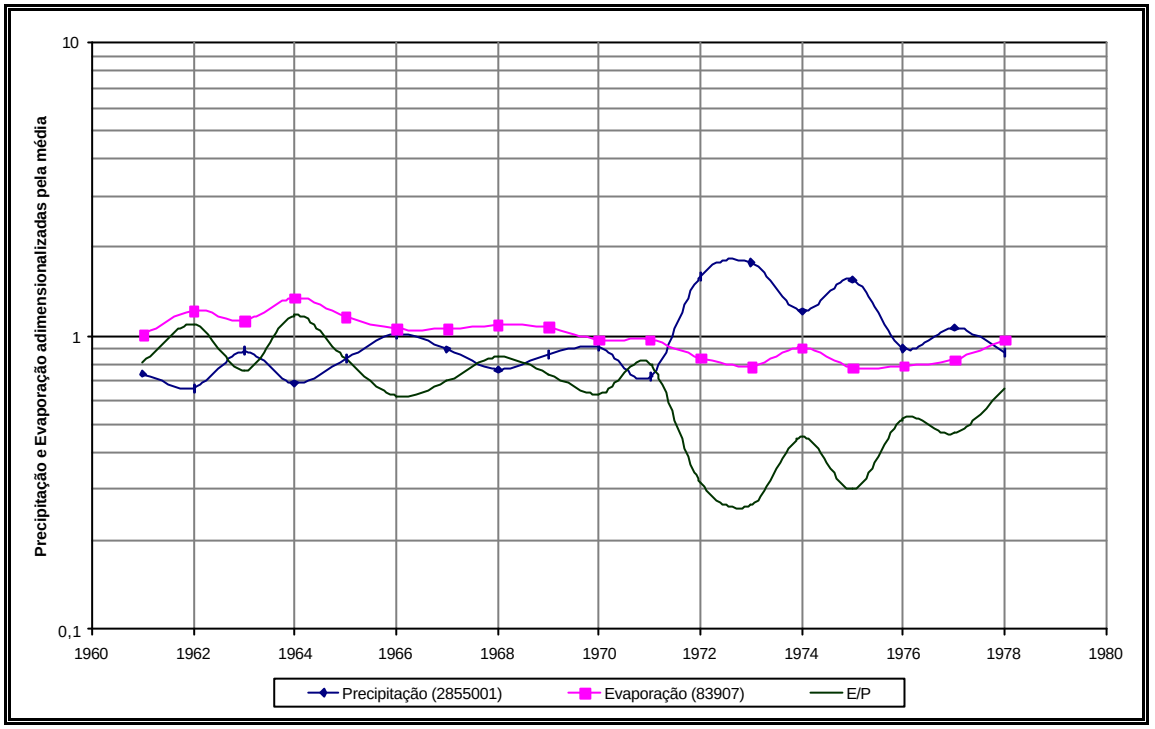


Figura 3.5.2 –Razão Evaporação / Precipitação para a região em estudo

A figura 3.5.4 apresenta o ajuste dos valores de evaporação potencial em função da precipitação anual. O ajuste obtido pode ser utilizado para estimar a evaporação num período sem dados, tomando como base a precipitação anual, sendo os valores mensais calculados mantendo a proporção mostrada na figura 3.5.5.

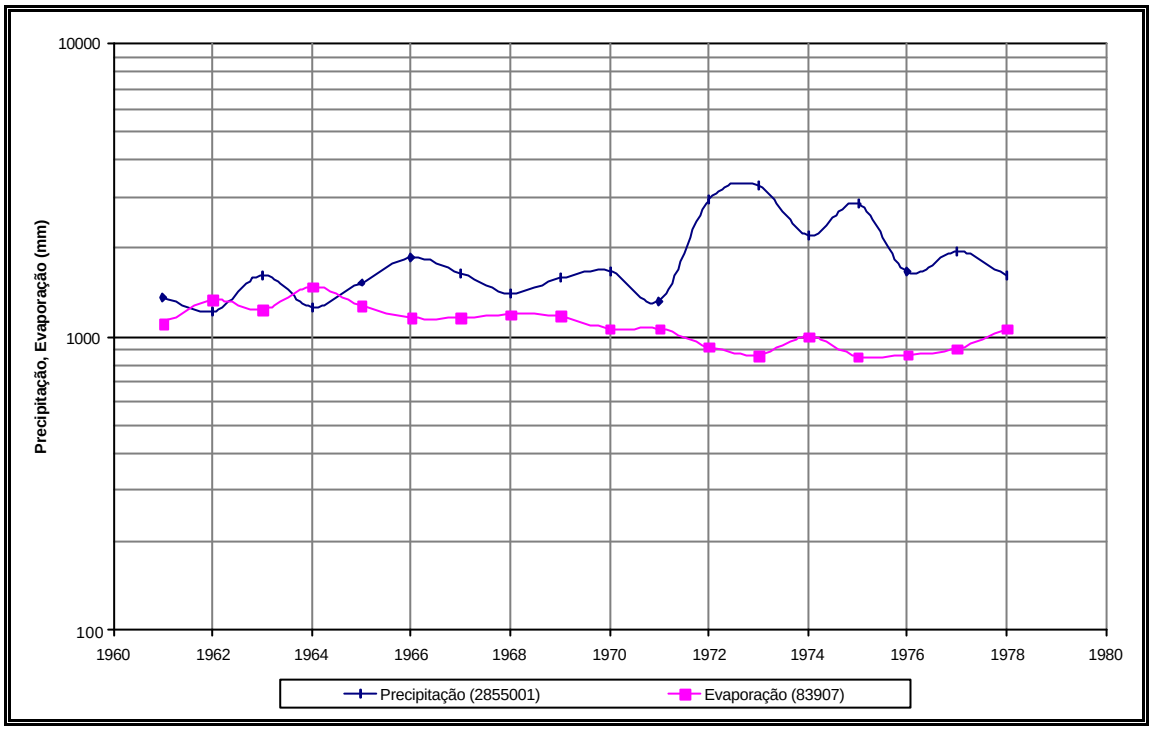


Figura 3.5.3 – Variabilidade interanual da Evaporação e da Precipitação

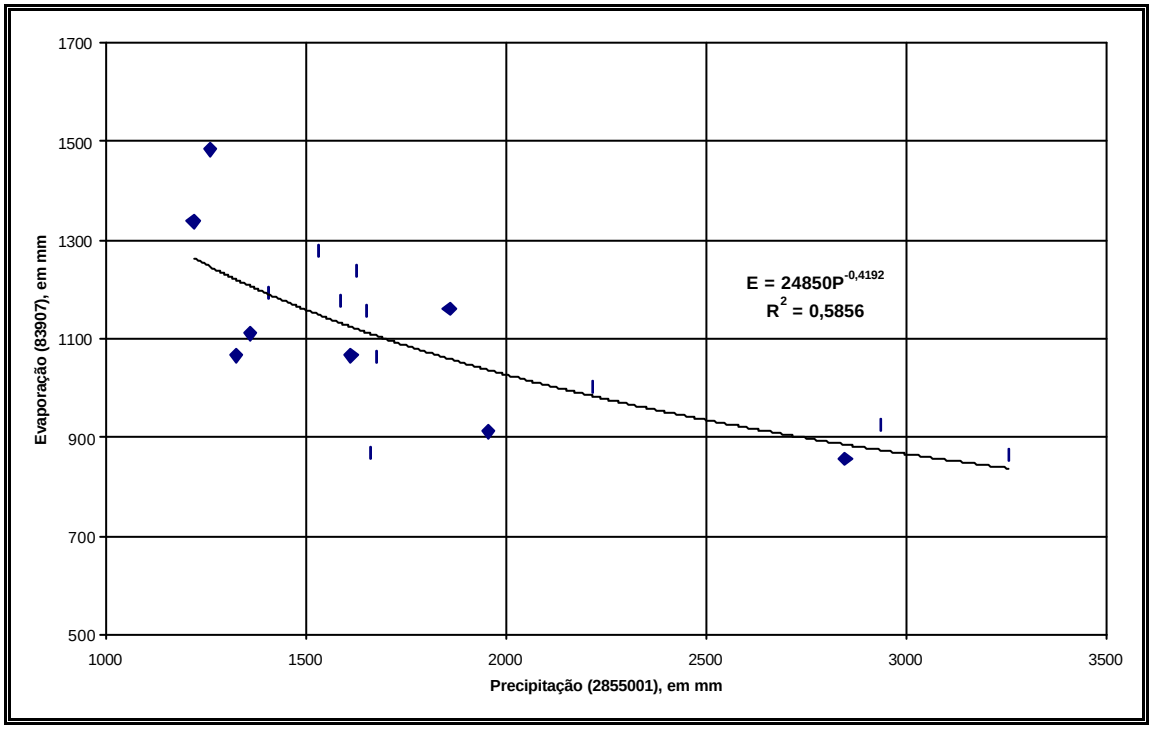


Figura 3.5.4 – Estimativa da Evaporação Anual em função da Precipitação

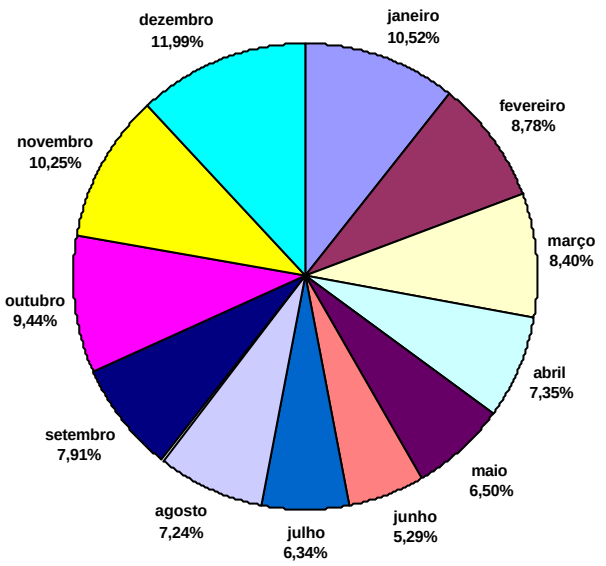


Figura 3.5.5 – Estimativa da evaporação mensal em função da sua sazonalidade média

O ajuste da evaporação potencial em função da precipitação não pode ser considerado bom, dessa forma é aconselhável que se utilize a própria evaporação média (Figura 3.5.1) para todos os anos da série.

3.6 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

3.6.1 Disponibilidade de Dados Fluviométricos

A região da área em estudo apresenta 10 estações fluviométricas com mais de 20 anos de dados que foram escolhidas para o estudo da disponibilidade hídrica, sendo que 3 postos estão fora da bacia (74205000, 74270000 e 74370000). As estações são caracterizadas no quadro 3.6.1 e a figura 3.6.1 apresenta a localização de cada posto.

A figura 3.6.2 apresenta o diagrama com a disponibilidade dos dados das estações fluviométricas empregadas neste estudo. Os postos foram divididos em duas classes de acordo com o número de anos completos de dados de cada posto. Na referida figura, verificamos que a região possui quatro postos com mais de 50 anos completos de dados, em contrapartida, apresenta um posto com 25 anos completos de dados.

O período escolhido foi o mesmo da precipitação (1977-2001) para a análise das vazões, porém nos postos 74270000, 74600000, 74700000 e 74880000 foi também considerado o período 1942 a 1976 (60 anos).

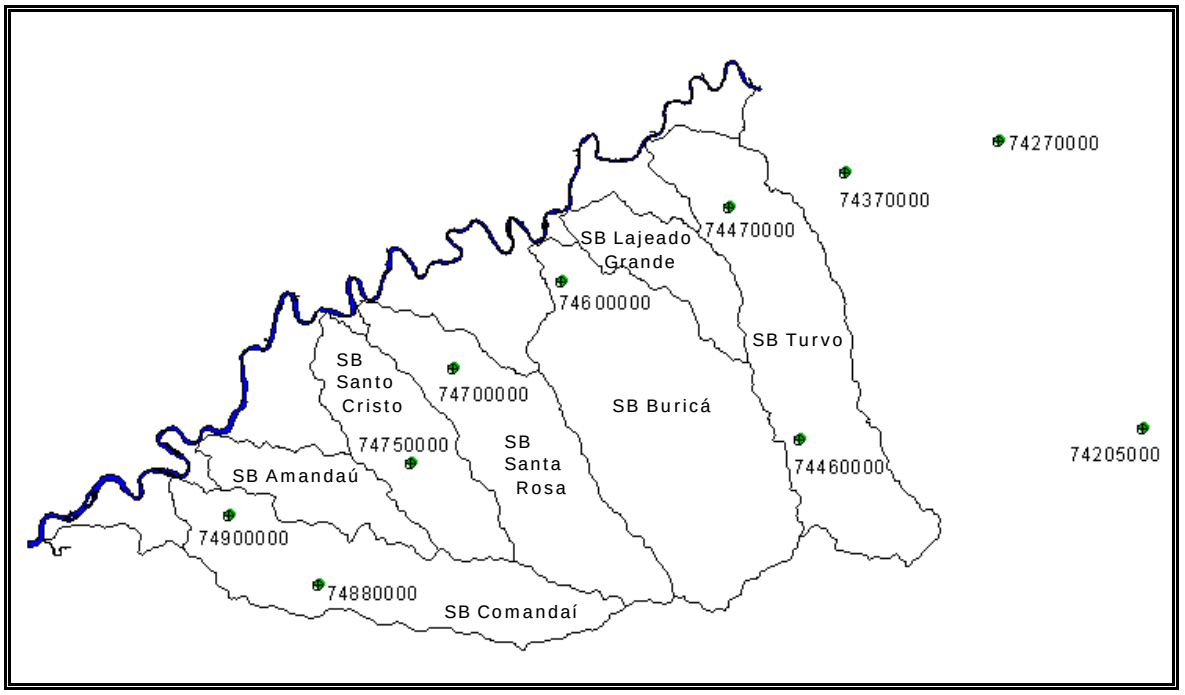


Figura 3.6.1 – Localização dos postos fluviométricos na região em estudo

Quadro 3.6.1 – Estações fluviométricos utilizados no estudo

Nº.	Código	Nome	Latitude	Longitude	Alt (m)	Área (km^2)	Rio	Município	Operadora
1	74205000*	LINHA CESCON	-27:48:42	-053:01:40	350	454	ARROIO CATURETE	SARANDI	CPRM
2	74270000*	PASSO RIO DA VARZEA	-27:16:49	-053:19:07	240	5356	RIO DA VARZEA	FREDERICO WESTPHALEN	CPRM
3	74370000*	PALMITINHO	-27:19:58	-053:38:22	240	2057	RIO GUARITA	PALMITINHO	CPRM
4	74460000	PONTE DO RIO TURVO	-27:49:13	-053:44:00	400	505	RIO TURVO	SANTO AUGUSTO	CPRM
5	74470000	TRES PASSOS	-27:23:34	-053:52:52	240	1538	RIO TURVO	TRES PASSOS	CPRM
6	74600000#	CASCATA BURICA	-27:31:19	-054:13:56	120	2265	RIO BURICA	HORIZONTINA	ANEEL
7	74700000	TUCUNDUVA	-27:40:21	-054:27:39	120	1139	RIO SANTA ROSA	TUCUNDUVA	CPRM
8	74750000	LINHA CASCATA	-27:50:43	-054:33:17	200	337	RIO SANTO CRISTO	SANTA ROSA	CPRM
9	74880000	PASSO SAO JOAO	-28:03:56	-054:45:21	700	816	RIO COMAMDAI	CERRO LARGO	CPRM
10	74900000	LINHA UNIAO	-27:55:54	-054:56:17	125	1248	RIO COMAMDAI	PORTO LUCENA	CPRM

* Postos fora da bacia U 30

\# Em abril de 1997 passou a ser operada pela CPRM e seu código mudou para 74610000

Fonte : Inventário das Estações Pluviométricas – ANA, 2003.

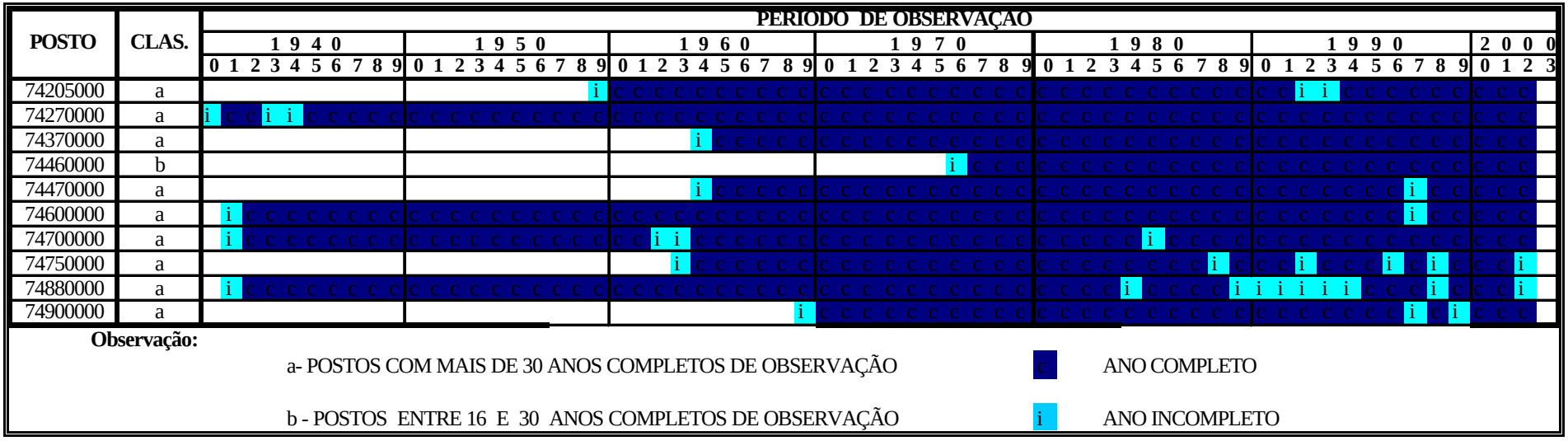


Figura 3.6.2 – Diagrama de disponibilidade temporal dos dados dos postos fluviométricos

3.6.2. Preenchimento das falhas das Vazões Mensais

O preenchimento das falhas existentes nos dados foi executado a nível mensal, ainda que se saiba que, perante os dados anuais, os dados mensais tenham maior grau de aleatoriedade.

O preenchimento foi executado com a finalidade de obter séries completas de vazão no período de observação dos postos e homogeneizar as séries de vazão para análise estatística regional.

Pelas figuras 3.6.3 e 3.6.4, que apresentam as séries mensais de vazões adimensionalizadas pela média do respectivo posto, verificamos que os postos se comportam de forma bastante similar, o que foi utilizado no preenchimento das falhas, através da substituição da falha pelo produto da média do próprio posto pelo valor adimensional do posto com área mais próxima a sua. Esse método foi adotado devido à existência de poucas falhas nas séries, tendo em vista que foram utilizados os dados consistidos da ANA (2003).

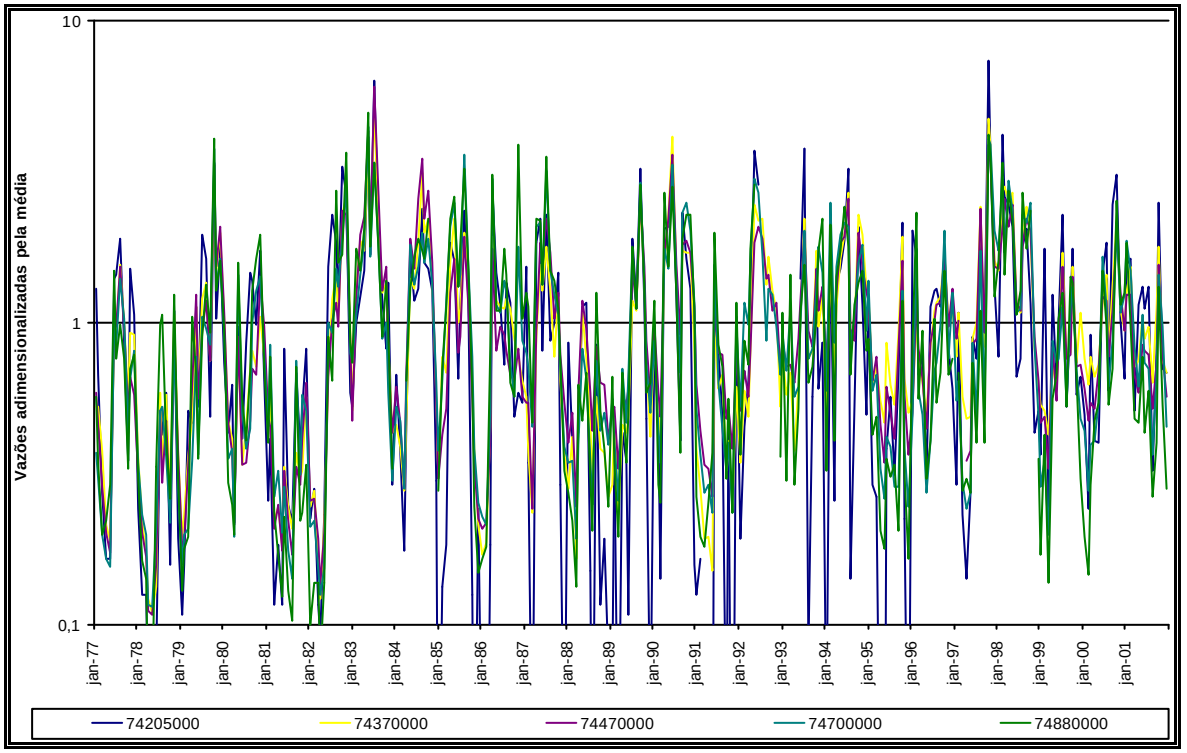


Figura 3.6.3 – Séries de vazões mensais adimensionalizadas pela média (I)

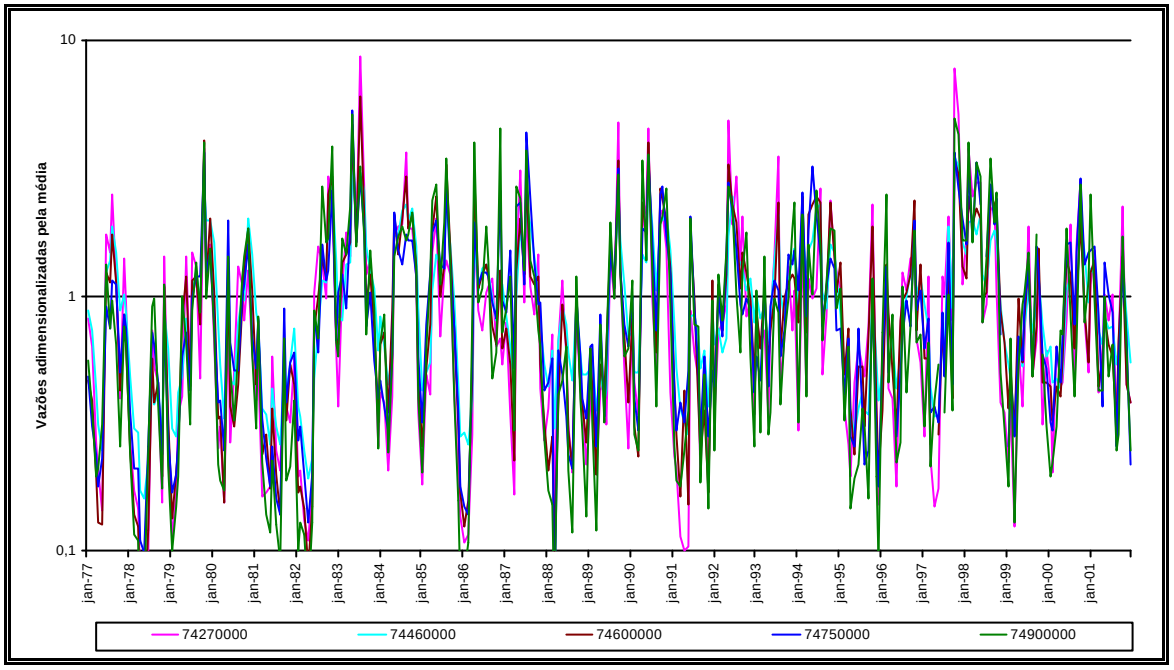


Figura 3.6.4 – Séries de vazões mensais adimensionalizadas pela média (II)

3.6.3. Vazões específicas

As figuras 3.6.5 e 3.6.6 apresentam as séries mensais de vazões específicas dos postos selecionados, considerando o período de dados de 1977 a 2001. Com exceção do posto 74205000, que apresentam valores próximos de zeros e algumas vezes nulos, os demais postos apresentam uma tendência comum ao longo do período. Esse posto não foi retirado porque reflete o efeito da escala (em pequenas bacias, as vazões podem não só diminuir com a área, como chegar a valores nulos) e a variabilidade espacial na região que é melhor observada em bacias pequenas (área menor que 500 km^2).

A figura 3.6.7 mostra as séries anuais de vazões específicas. De modo geral, as séries apresentam o mesmo comportamento, com exceção de alguns poucos anos. As vazões específicas médias de longo período são um bom indicador da disponibilidade hídrica da região, que apresentou pouca variação nos postos selecionados, ficando seu valor para a região em torno de 30 $l/s/km^2$, equivalente a 946 mm, metade da precipitação média anual na região.

O Quadro 3.6.2 apresenta as vazões específicas médias dos postos analisados e as estatísticas regionais da vazão específica média de longo período (1977-2001).

Quadro 3.6.2 – Vazões específicas médias (l/s/km^2) dos postos analisados (1977 a 2001)

Código	Qesp
74205000	26,34
74270000	33,19
74370000	33,49
74460000	31,00
74470000	29,82
74600000	29,26
74700000	31,73
74750000	29,63
74880000	29,66
74900000	29,67
Média	**30,4**
DP	**2,1**
CV	**0,07**
Máximo	**33,5**
Mínimo	**26,3**

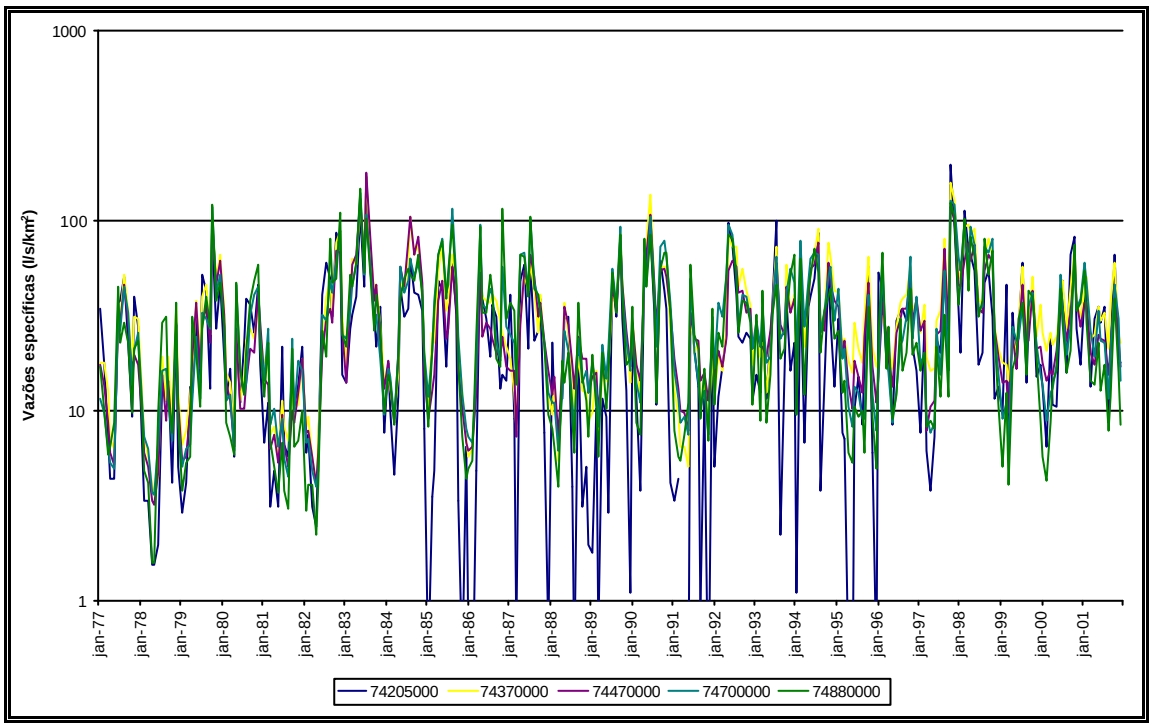


Figura 3.6.5 – Séries de vazões especificas mensais (I)

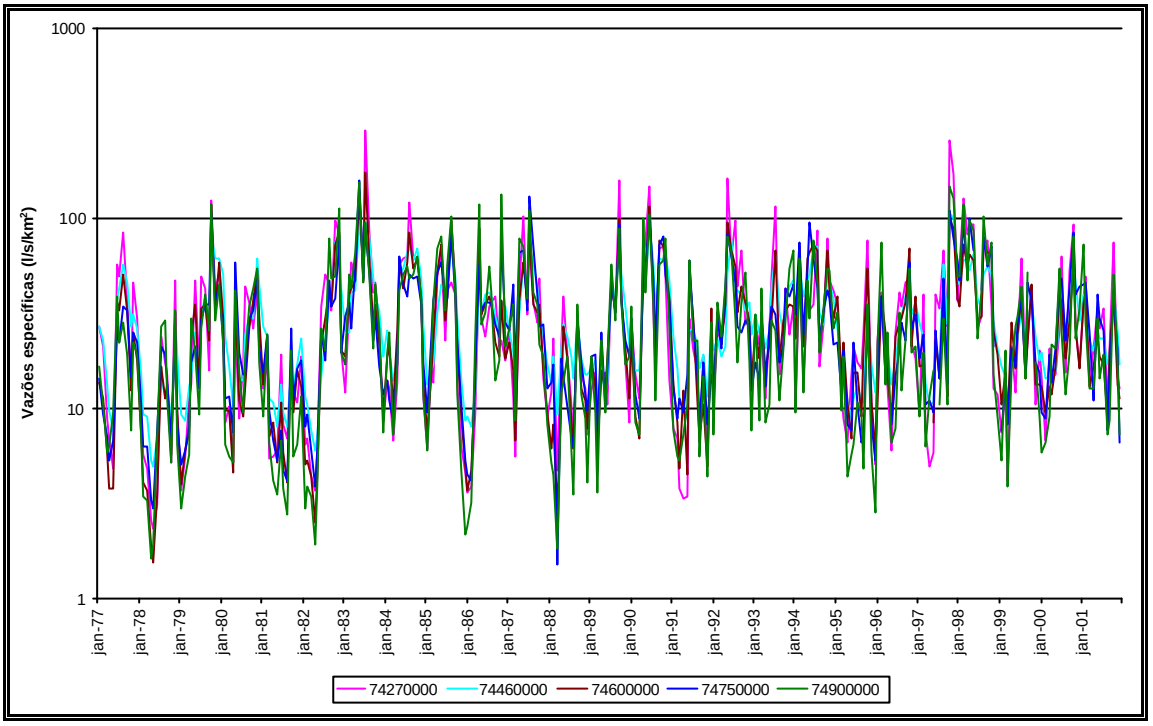


Figura 3.6.6 – Séries de vazões especificas mensais (II)

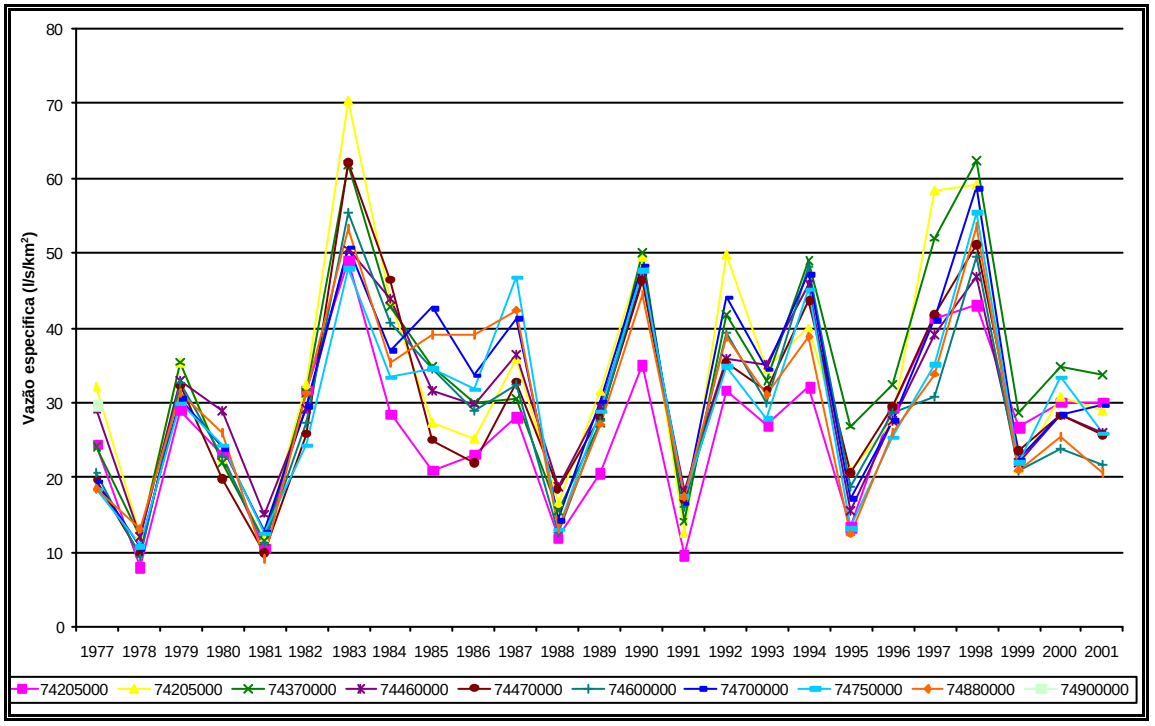


Figura 3.6.7 – Séries de vazões especificas anuais

3.6.4. Distribuição sazonal e inter-anual

As características estatísticas das vazões mensais específicas dos postos da região em estudo são apresentadas nos quadros 3.6.3 (médias), 3.6.4 (máximas) e 3.6.5 (mínimas). O período adotado foi o mesmo do período comum de dados de precipitação (1977 a 2001), devidamente preenchido. Os quadros mostram as vazões específicas média, mínima e máxima em cada mês, para cada posto, apresentando também a média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) dos postos para esses valores. Foram utilizadas as vazões específicas para permitir a comparação entre os postos. As tabelas foram ilustradas pela figura 3.6.8.

O quadro 3.6.3 mostra uma pequena variabilidade espacial nas vazões médias específicas mensais, com um coeficiente de variação (CV) menor que 18%, sendo o maior desvio padrão o do mês de Julho com 6 l/s/km^2.

Quadro 3.6.3 – Vazões médias específicas mensais (l/s/km^2), no período 1977 a 2001

Localização	Código	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fora da Bacia U 30	74205000	15,95	20,14	11,81	22,73	30,16	30,48	42,94	28,20	30,54	42,87	25,37	14,85
	74270000	17,36	23,64	15,25	24,29	40,96	35,04	55,60	37,72	40,40	55,65	33,52	18,79
	74370000	20,10	24,03	19,76	26,01	37,44	37,02	45,81	39,53	37,95	51,45	36,67	26,05
Rio Turvo	74460000	23,40	22,47	18,57	22,42	29,52	34,21	38,55	36,90	35,42	42,96	38,42	29,11
	74470000	19,12	20,42	17,45	23,60	33,25	32,90	41,30	35,75	32,47	44,80	32,88	23,93
Rio Burica	74600000	17,00	20,97	14,95	26,77	34,63	33,45	40,89	31,96	34,02	45,18	30,58	20,69
Rio Santa Rosa	74700000	20,52	24,53	17,75	30,02	36,83	35,49	38,56	33,84	34,73	46,72	36,98	24,82
Rio Santo Cristo	74750000	18,52	24,04	16,30	27,90	38,03	33,55	35,42	32,01	33,61	42,39	32,08	21,78
Rio Comandaí	74880000	18,54	22,31	14,66	30,14	32,92	34,06	37,07	32,17	31,76	43,51	37,55	21,23
	74900000	17,66	23,88	14,34	33,21	33,74	33,55	35,55	31,30	30,83	45,00	37,62	19,31
	Média	**18,8**	**22,6**	**16,1**	**26,7**	**34,7**	**34,0**	**41,2**	**33,9**	**34,2**	**46,1**	**34,2**	**22,1**
	D. Pad.	**2,1**	**1,6**	**2,3**	**3,6**	**3,6**	**1,7**	**6,0**	**3,5**	**3,1**	**4,3**	**4,1**	**4,1**
	CV	**0,11**	**0,07**	**0,15**	**0,13**	**0,10**	**0,05**	**0,15**	**0,10**	**0,09**	**0,09**	**0,12**	**0,18**
	Máximo	**23,4**	**24,5**	**19,8**	**33,2**	**41,0**	**37,0**	**55,6**	**39,5**	**40,4**	**55,7**	**38,4**	**29,1**
	Mínimo	**16,0**	**20,1**	**11,8**	**22,4**	**29,5**	**30,5**	**35,4**	**28,2**	**30,5**	**42,4**	**25,4**	**14,8**

O quadro 3.6.4 mostra que existe pouca variabilidade espacial nas vazões específicas mensais máximas, com um coeficiente de variação (CV) menor que 38%, que é pequeno em se tratando de valores máximos. O mês de julho apresentou a maior vazão específica mensal (153 l/s/km^2), seguido do mês de outubro (146 l/s/km^2), que é o mês de maior precipitação.

Quadro 3.6.4 – Vazões máximas específicas mensais (l/s/km^2), no período 1977 a 2001

Localização	Código	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fora da Bacia U 30	74205000	112,1	69,6	74,0	109,3	86,1	168,3	63,7	85,5	195,4	92,3	47,4	112,1
	74270000	126,0	81,6	92,0	162,2	148,8	287,3	120,2	157,0	257,7	170,8	52,3	126,0
	74370000	92,4	94,3	85,6	122,0	137,6	169,7	105,0	86,0	158,5	127,4	66,1	92,4
Rio Turvo	74460000	60,4	61,4	53,5	95,2	93,5	94,5	80,2	75,2	108,1	99,6	61,2	60,4
	74470000	61,1	76,7	67,0	129,4	108,6	180,1	104,7	78,0	117,0	100,8	62,3	61,1
Rio Burica	74600000	72,4	55,9	88,3	137,3	117,0	176,6	96,7	99,8	118,8	87,9	59,2	72,4
Rio Santa Rosa	74700000	96,6	54,0	94,8	141,4	106,2	108,0	115,0	92,2	128,2	122,9	64,5	96,6
Rio Santo Cristo	74750000	95,5	49,3	98,8	157,0	103,6	129,1	81,6	94,1	108,9	78,6	59,3	95,5
Rio Comandaí	74880000	101,2	44,4	92,3	147,1	84,3	105,1	95,7	85,3	125,0	115,9	65,8	101,2
	74900000	118,6	47,7	117,8	153,0	105,8	109,0	102,6	88,1	146,6	134,6	68,4	118,6
	Média	**52,9**	**93,6**	**63,5**	**86,4**	**135,4**	**109,1**	**152,8**	**96,5**	**94,1**	**146,4**	**113,1**	**60,7**
	D. Pad.	**9,4**	**22,8**	**16,5**	**17,9**	**21,6**	**20,8**	**57,8**	**17,2**	**23,2**	**47,4**	**27,3**	**6,5**
	CV	**0,18**	**0,24**	**0,26**	**0,21**	**0,16**	**0,19**	**0,38**	**0,18**	**0,25**	**0,32**	**0,24**	**0,11**
	Máximo	**73,6**	**126,0**	**94,3**	**117,8**	**162,2**	**148,8**	**287,3**	**120,2**	**157,0**	**257,7**	**170,8**	**68,4**
	Mínimo	**39,3**	**60,4**	**44,4**	**53,5**	**95,2**	**84,3**	**94,5**	**63,7**	**75,2**	**108,1**	**78,6**	**47,4**

O quadro 3.6.5 apresenta as vazões específicas mínimas mensais, com grande variabilidade espacial com um coeficiente de variação (CV) maior que 50%, o que é comum em se tratando de valores mínimos, pois no desvio padrão não passa de 3,2 l/s/km^2 (Novembro). O posto 74205000 foi o único que apresentou valores nulos de vazão mensal nos meses de março e abril.

Quadro 3.6.5 – Vazões mínimas específicas mensais (l/s/km^2), no período 1977 a 2001

Localização	Código	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fora da Bacia U 30	74205000	0,44	0,22	0,00	0,00	0,22	1,98	3,96	0,44	0,88	3,08	0,22	0,44
	74270000	3,57	3,86	3,81	2,54	2,30	3,12	8,29	6,74	6,53	5,19	6,18	4,57
	74370000	5,74	6,22	5,49	4,08	3,65	4,47	8,22	6,90	10,79	8,95	8,26	7,15
Rio Turvo	74460000	9,11	8,12	7,72	5,35	4,95	6,93	9,50	8,12	10,69	8,71	11,49	8,71
	74470000	5,40	5,66	5,01	3,32	3,19	4,68	6,57	5,07	9,88	7,02	10,14	6,70
Rio Burica	74600000	3,66	4,06	2,96	1,85	1,55	3,53	5,83	4,06	7,02	5,74	4,99	4,94
Rio Santa Rosa	74700000	5,00	6,32	4,83	3,69	3,60	6,67	5,53	4,48	9,13	6,94	7,46	7,73
Rio Santo Cristo	74750000	4,45	4,15	1,48	3,26	2,97	7,72	4,75	4,15	7,42	7,12	8,31	5,34
Rio Comandaí	74880000	2,94	4,04	3,92	1,59	1,59	6,74	3,80	3,06	6,00	6,50	6,99	4,41
	74900000	2,40	3,21	1,84	1,60	1,92	6,49	3,77	2,72	4,81	5,21	4,33	2,16
	Média	**4,3**	**4,6**	**3,7**	**2,7**	**2,6**	**5,2**	**6,0**	**4,6**	**7,3**	**6,4**	**6,8**	**5,2**
	D. Pad.	**2,3**	**2,1**	**2,2**	**1,5**	**1,4**	**1,9**	**2,1**	**2,3**	**3,0**	**1,7**	**3,2**	**2,5**
	CV	**0,54**	**0,47**	**0,60**	**0,56**	**0,52**	**0,37**	**0,34**	**0,49**	**0,42**	**0,27**	**0,47**	**0,49**
	Máximo	**9,1**	**8,1**	**7,7**	**5,3**	**5,0**	**7,7**	**9,5**	**8,1**	**10,8**	**8,9**	**11,5**	**8,7**
	Mínimo	**0,4**	**0,2**	**0,0**	**0,0**	**0,2**	**2,0**	**3,8**	**0,4**	**0,9**	**3,1**	**0,2**	**0,4**

Pela figura 3.6.8, observamos que as vazões mensais médias seguem a sazonalidade da precipitação, contudo, existe uma influência significativa da precipitação do mês anterior na vazão mensal, além da

precipitação do respectivo mês, como era de se esperar, já que as vazões são continuas, ao contrário das precipitações que são discretas. As vazões máximas ocorrem nos meses de julho e outubro e as mínimas nos meses de abril e maio.

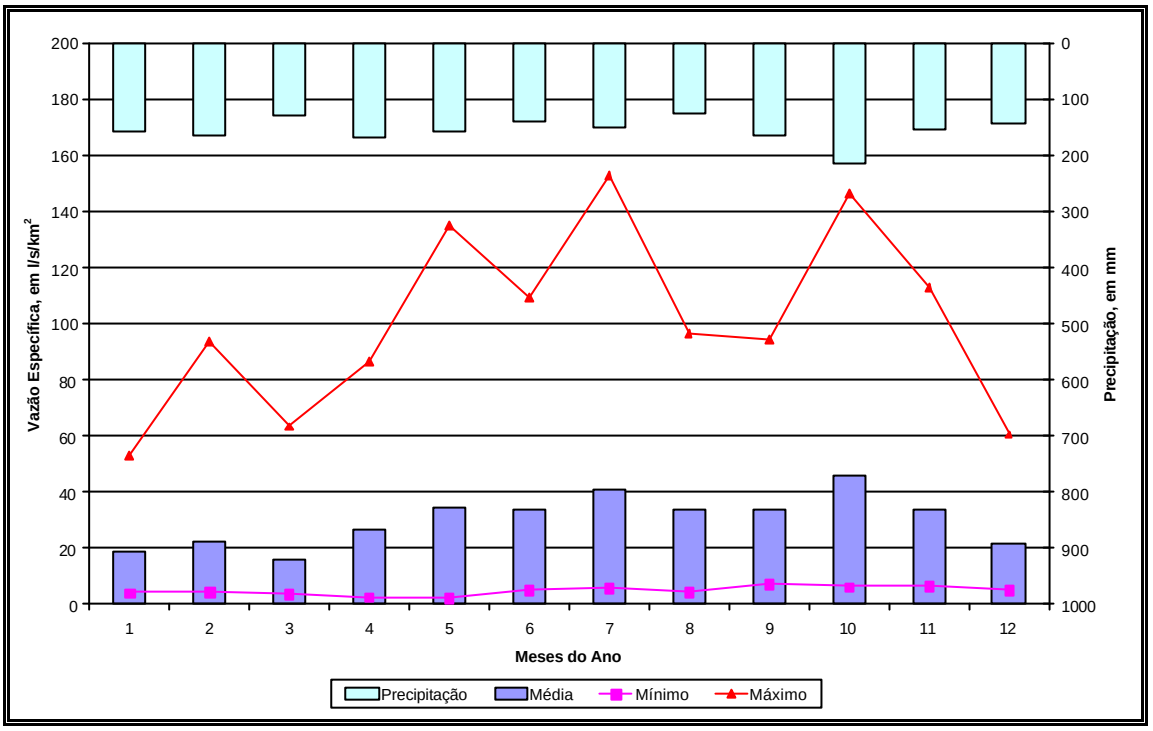


Figura 3.6.8 – Vazões específicas mensais – médias dos postos da região

A figura 3.6.9 mostra a variação interanual das vazões específicas médias anuais dos postos com séries longas (1950 a 2001). As vazões específicas foram utilizadas para permitir a comparação entre os postos. De modo geral, todos os postos seguem a mesma tendência de variação interanual.

A figura 3.6.10 apresenta a média móvel da vazão média específica anual dos últimos vinte anos. Observamos um aumento gradativo nas vazões a partir dos anos 80, de forma similar ao verificado nas precipitações. O que mostra que as séries no período comum de dados (1977-2001) retratam um período relativamente úmido. Deve se levar em conta que, no futuro, essa tendência pode inverter e voltar ao patamar dos anos 50 e 60.

No Anexo B, são apresentadas as séries mensais de vazão dos postos utilizados no estudo, com suas estatísticas básicas.

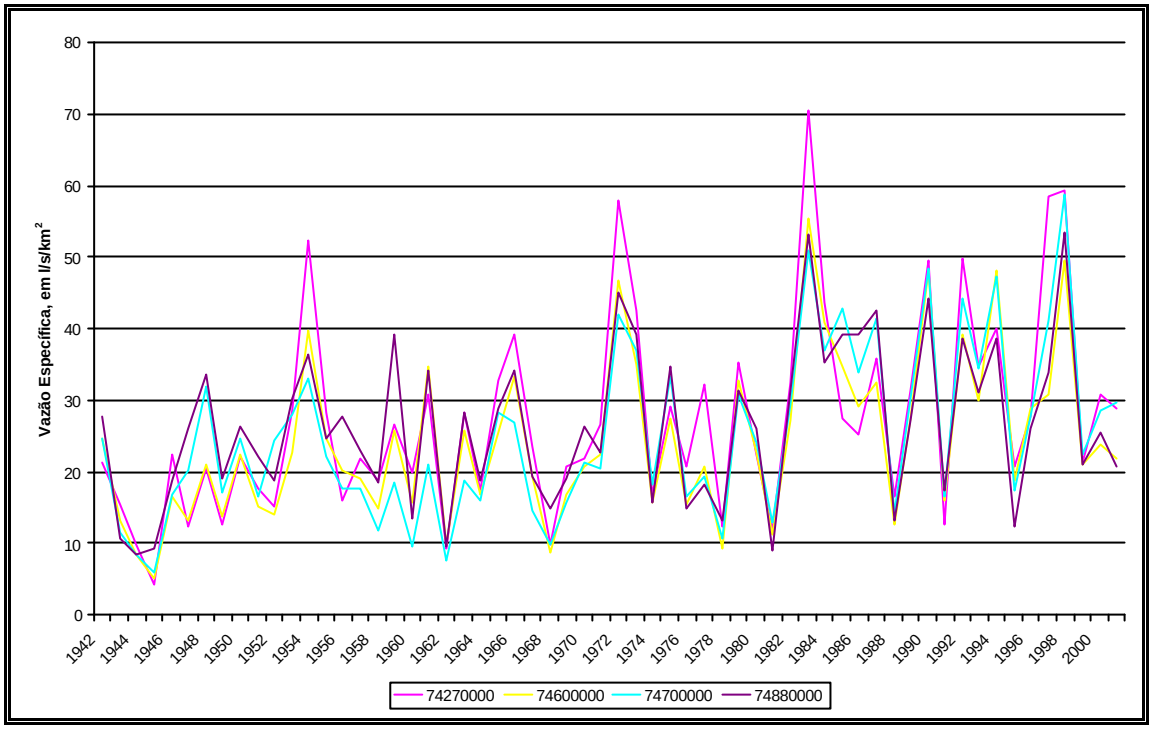


Figura 3.6.9 – Variação interanual das vazões específicas médias anuais

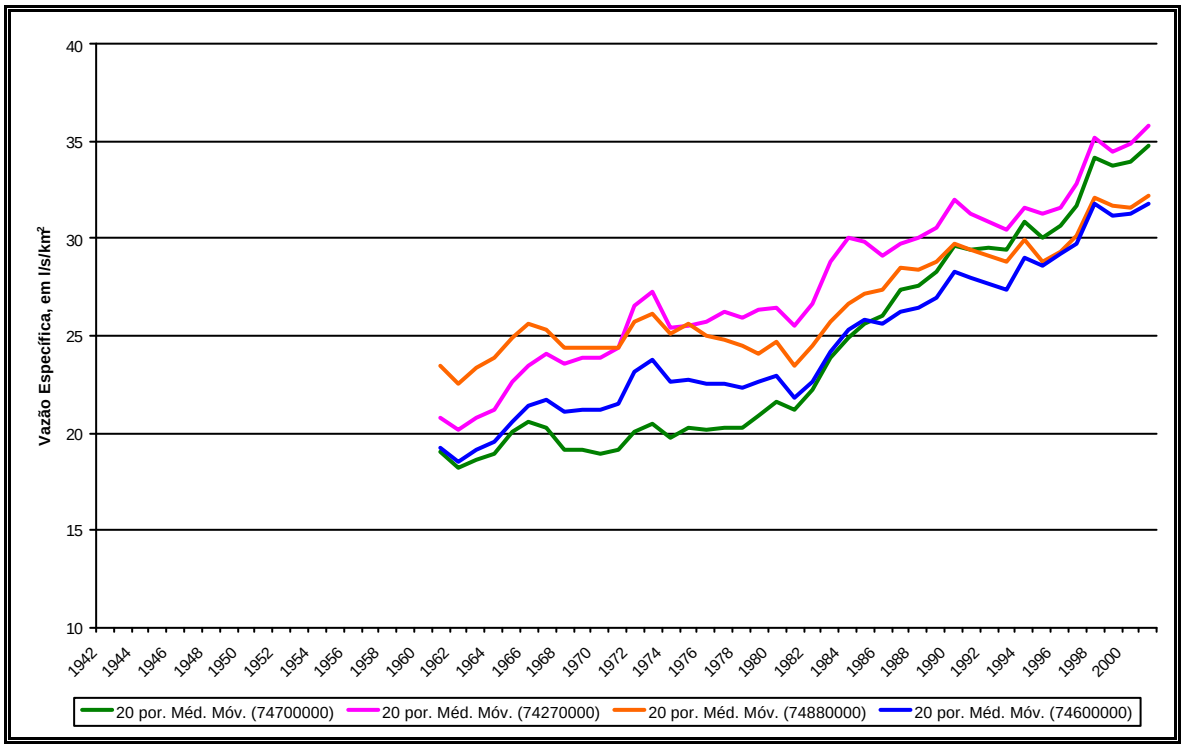


Figura 3.6.10 – Média móvel de vinte anos das vazões específicas anuais

3.6.5. Curva de permanência das vazões

As curvas de permanência dos postos fluviométricos utilizados nesse estudo foram calculadas para o período de dados de 1977 a 2001, usando os valores diários das vazões. As vazões foram divididas em 40 classes para o cálculo das permanências, usando o menor valor da classe como referência. As curvas obtidas são apresentadas na figura 3.6.11. Na figura, são apresentadas a vazões adimensionalizadas pela média para efeito de comparação entre postos. As curvas apresentam comportamento similar para os postos, sendo o posto 74205000 o mais seco (apresenta valores nulos) e o posto 74460000 é o mais regular, com vazões mais próximas da média.

O quadro 3.6.6 mostra os valores das vazões da curva de permanência dos postos analisados e o quadro 3.6.7 apresenta as vazões características das curvas de permanência dos postos analisados e razão entre as vazões características com a vazão média. O quadro confirma a maior regulação do posto 74460000 que apresenta vazão Q95 equivalente a 22% de sua vazão, o dobro da média dos demais postos, em contrapartida, o posto 74205000 tem uma Q95 de apenas 6% de sua vazão média (metade da média dos demais postos).

A figura 3.6.11 mostra as curvas de permanência das vazões adimensionalizadas pela média de cada posto no período (1977-2001). As curvas apresentam formatos similares, sendo verificada uma maior diferença nas vazões específicas mínimas.

Quadro 3.6.6 – Vazões da curva de permanência dos postos da região em estudo, no período 1977 a 2001, em m^3/s.

Permanência (%)	74205000	74270000	74370000	74460000	74470000	74600000	74700000	74750000	74880000	74900000
5	48,1	627,2	205,4	41,3	126,6	238,9	126,4	29,4	98,5	161,9
10	27,1	374,3	141,3	31,4	92,1	148,0	72,5	20	58,5	87,6
15	19,2	281	111,6	26,1	76	110,8	55	15,8	42,1	57,5
20	16	231,4	92,6	22,8	64,4	88,9	45	13,9	32,9	42,6
25	12,9	181,8	79,7	20,2	56,4	74,2	39,9	12,3	27,7	34,9
30	10	154,2	73,3	18	48,4	62,2	34,7	10,6	22,8	28,9
35	9,3	143,9	66,9	16,2	44	56,0	30,6	9	20,5	25
40	8,6	133,5	60,6	14,8	40,5	49,7	28	7,7	18,2	22,4
45	7,9	123,2	54,2	13,5	36,9	43,5	25,4	7,1	15,8	19,8
50	7,2	112,8	47,9	12,3	33,3	37,2	22,8	6,5	13,5	17,2
55	6,5	102,4	42,3	11	29,7	32,1	20,2	5,9	11,5	14,6
60	5,7	92,1	38,2	10	26,2	28,8	17,6	5,3	10,3	12,8
65	5	81,7	34	9,1	23,3	25,5	15,6	4,7	9,1	11,4
70	4,3	71,4	29,9	8,1	20,6	22,2	13,7	4,1	7,9	9,9
75	3,6	61	25,7	7,3	17,9	18,9	11,9	3,5	6,7	8,5
80	2,9	50,7	21,6	6,5	15,2	15,6	10	2,9	5,5	7
85	2,2	40,3	17,4	5,7	12,5	12,3	8,2	2,3	4,3	5,6
90	1,4	29,9	13,3	4,9	9,8	9,0	6,3	1,6	3,1	4,1
95	0,7	19,6	9,1	3,4	7,1	5,7	4,5	1	1,9	2,7
100	0	9,2	5	2	4,3	2,4	2,6	0,4	0,7	1,2

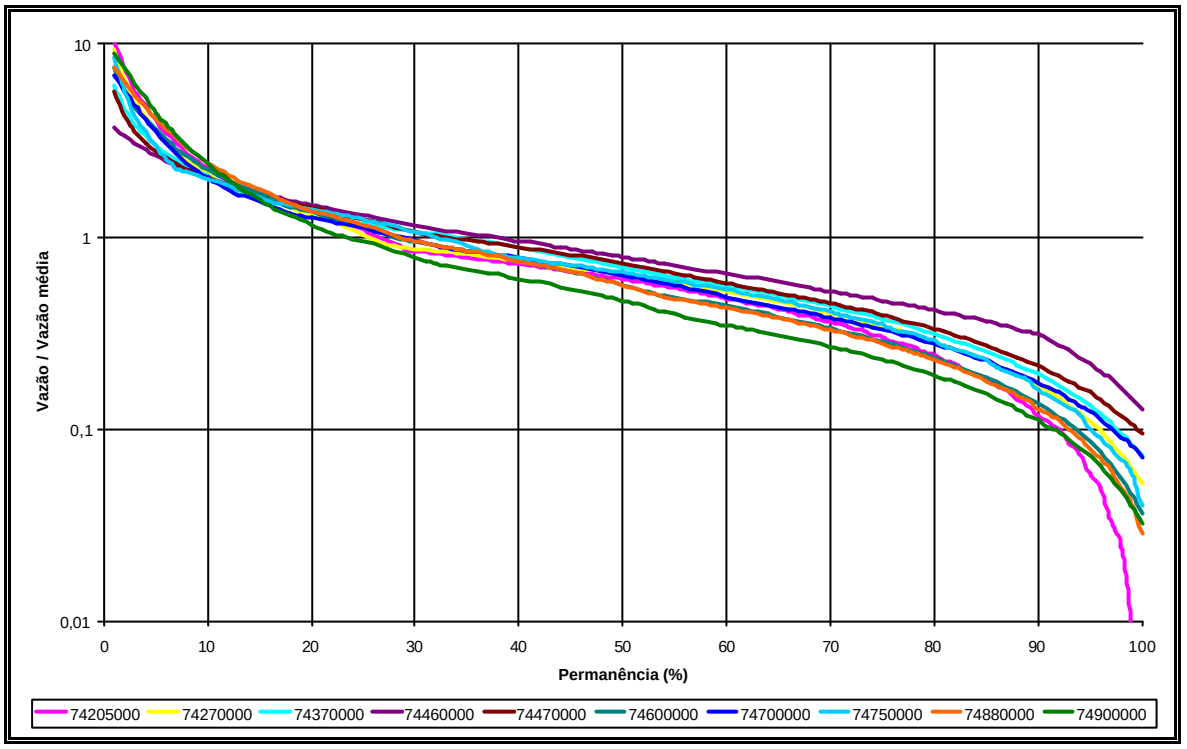


Figura 3.6.11 – Curva de permanências das vazões adimensionalizadas pela média

Quadro 3.6.7 – Vazões características dos postos da região em estudo, no período 1977 a 2001

Localização	Código	Área km²	Qmed m³/s	Q50 m³/s	Q90 m³/s	Q95 m³/s	Q50/Qmed	Q90/Qmed	Q95/Qmed
Fora da Bacia U 30	74205000	454	11,96	7,20	1,40	0,70	0,60	0,12	0,06
	74270000	5356	177,74	112,80	29,90	19,60	0,63	0,17	0,11
	74370000	2057	68,88	47,90	13,30	9,10	0,70	0,19	0,13
Rio Turvo	74460000	505	15,65	12,30	4,90	3,40	0,79	0,31	0,22
	74470000	1538	45,87	33,30	9,80	7,10	0,73	0,21	0,15
Rio Burica	74600000	2265	66,26	37,22	8,99	5,70	0,56	0,14	0,09
Rio Santa Rosa	74700000	1139	36,14	22,80	6,30	4,50	0,63	0,17	0,12
Rio Santo Cristo	74750000	337	9,99	6,50	1,60	1,00	0,65	0,16	0,10
Rio Comandaí	74880000	816	24,20	13,50	3,10	1,90	0,56	0,13	0,08
	74900000	1248	37,02	17,20	4,10	2,70	0,46	0,11	0,07

3.6.6. Regionalização das vazões

As vazões características apresentadas no quadro 3.6.5 foram regionalizadas em função da área de drenagem do posto fluviométrico. A área foi escolhida como parâmetro por ser de fácil mensuração, além de ser o de maior correlação com as vazões.

Foram utilizadas dados de bacias entre 300 e 5.300 km^2, o que deixa uma necessidade de extrapolação para bacias pequenas dos ajustes. Essa extrapolação pode ser considerada aceitável para bacias de até 20 km^2 (Silva Júnior, 2001), porém para bacias menores o efeito da escala hidrológica é muito marcante o que impede qualquer extrapolação, com exceção da vazão média que ainda pode ser utilizada para bacia acima de 1 km^2, sendo que o ajuste superestima os valores de vazão média para as bacias menores.

A figura 3.6.12 apresenta os ajustes. Pela figura, observamos que a vazão média apresenta o melhor ajuste, ao contrário da vazão Q95. Isso deve a maior variabilidade das vazões mínimas, que sofrem maior influencia da hidrogelogia e das precipitações da região.

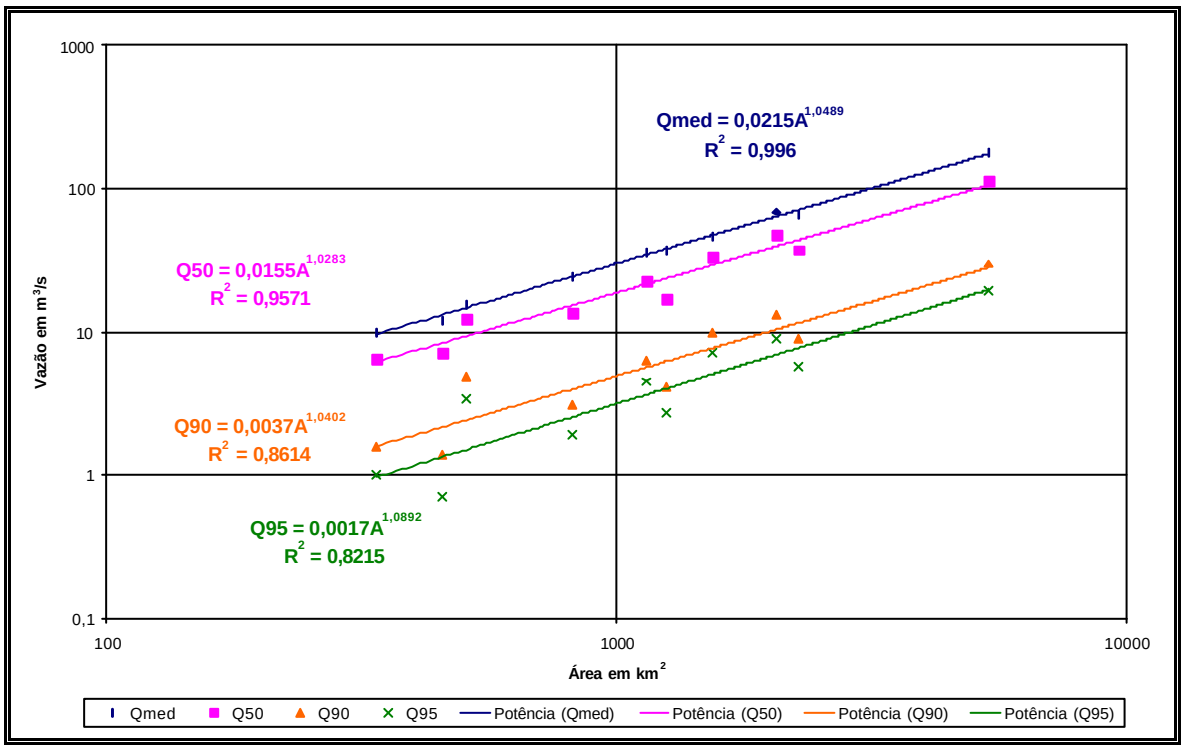


Figura 3.6.12– Ajuste das vazões características pela área de drenagem

A curva de permanência pode ser ajustada a uma função matemática que represente bem o trecho de interesse da curva. O trecho da curva de permanência normalmente utilizado é a faixa entre 50% e 95%. Esse trecho pode ser ajustado através dos valores de Q_{50} e Q_{95} estimados pela regionalização a uma equação do tipo exponencial, utilizada na Log-Normal.

Segundo Tucci (1993b), a curva de permanência obtida com base na distribuição Log-Normal, através das vazões Q_{50} e Q_{95}, segue a equação:

$$Q = e^{p.k_1 + k_2} \qquad (3.5)$$

onde:

$$k_1 = -\frac{\ln\left(Q_{50}/Q_{95}\right)}{0{,}45}; \qquad (3.6)$$

$$k_2 = \ln Q_{50} - 0{,}50 k_1; \qquad (3.7)$$

p = probabilidade no intervalo de 0 a 1;

Q = vazão, em m^3/s, para a probabilidade *p*;

Q_{50} e Q_{95} são as vazões, em m^3/s, para as probabilidades de 50% e 95%.

Substituindo os valores de Q_{50} e Q_{95} pelas equações apresentas na figura 3.6.12, obtemos:

$$k_1 = -4.912 + 0.135 \ln A; \qquad (3.8)$$

$$k_2 = -0.745 + 0.961 \ln A; \qquad (3.9)$$

onde *A* é a área da bacia em km^2.

3.6.7. Disponibilidade hídrica superficial nas sub-bacias

A disponibilidade hídrica superficial das sub-bacias foram obtidas em função das equações de regionalização apresentadas na figura 3.6.12. A vazão de estiagem Q7,10 pode ser estimada como sendo 65% da vazão Q95 para a região (Silva Junior, 2001), com relativa precisão (equivalente ao da regionalização), o que dispensa a utilização do método de regionalização para essa vazão característica. O quadro 3.6.8 mostra o potencial hídrico das sub-bacias em valores absolutos (m^3/s) e o quadro 3.6.9 em valores específicos (mm). Os quadros mostram uma relativa abundância hídrica na região, com coeficiente de escoamento superficial médio de 52%.

Quadro 3.6.8 – Disponibilidade hídrica nas sub-bacias e bacia U 30 (em m^3/s).

SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	Área de Drenagem (km^2)	Precipitação Anual (mm)	Vazão Média (m^3/s)	Vazão Específica ($l/s/km^2$)	Q50 (m^3/s)	Q90 (m^3/s)	Q95 (m^3/s)
Sub-bacia do Rio Amandaú	541,44	1782,1	15,84	29,25	10,03	2,61	1,61
Sub-bacia do Rio Buricá	2.355,24	1863,0	74,02	31,43	45,48	12,07	8,00
Sub-bacia do Rio Comandaí	1.431,52	1848,2	43,91	30,67	27,25	7,19	4,65
Sub-bacia do Rio Santa Rosa	1.399,59	1867,3	42,88	30,64	26,63	7,02	4,54
Sub-bacia do Rio Santo Cristo	898,10	1842,1	26,93	29,98	16,87	4,43	2,80
Sub-bacia do Rio Turvo	1.878,61	1848,0	58,39	31,08	36,04	9,54	6,26
Sub-bacia do Lajeado Grande	525,38	1802,2	15,34	29,21	9,72	2,53	1,56
Bacia U 30	**10.756,75**	**1857,0**	**364,14**	**33,85**	**216,82**	**58,58**	**41,86**

Quadro 3.6.9 – Disponibilidade hídrica nas sub-bacias e bacia U 30 (em mm).

SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	Área de Drenagem (km^2)	Precipitação Anual (mm)	Vazão Média (mm)	Coeficiente de Escoamento	Q50 (mm)	Q90 (mm)	Q95 (mm)
Sub-bacia do Rio Amandaú	541,44	1782,1	922,39	0,52	584,11	152,31	93,99
Sub-bacia do Rio Buricá	2.355,24	1863,0	991,15	0,53	608,93	161,58	107,16
Sub-bacia do Rio Comandaí	1.431,52	1848,2	967,31	0,52	600,41	158,38	102,51
Sub-bacia do Rio Santa Rosa	1.399,59	1867,3	966,24	0,52	600,03	158,24	102,30
Sub-bacia do Rio Santo Cristo	898,10	1842,1	945,50	0,51	592,54	155,44	98,33
Sub-bacia do Rio Turvo	1.878,61	1848,0	980,25	0,53	605,05	160,12	105,02
Sub-bacia do Lajeado Grande	525,38	1802,2	921,04	0,51	583,62	152,13	93,74
Bacia U 30	10.756,75	1857,0	1067,56	0,57	635,67	171,76	122,71

3.6.8. Balanço Hídrico (P; Q; E)

O balanço hídrico na Bacia U 30 e nas suas sub-bacias foi feito analisando as médias de longo período das variáveis hidrológicas: Precipitação (P); Escoamento Superficial (Q) e Evaporação Real (E). A demanda hídrica ainda não foi considerada, pois o mesmo ocorrerá em um capítulo posterior. As demais variáveis foram consideras desprezíveis em relação às variáveis citadas, por se tratar de um balanço de longo período. A evaporação real é a variável com maior incerteza, porém poder ser calculada em função das demais. A equação de balanço hídrico é:

$$E = P - Q \qquad (3.10)$$

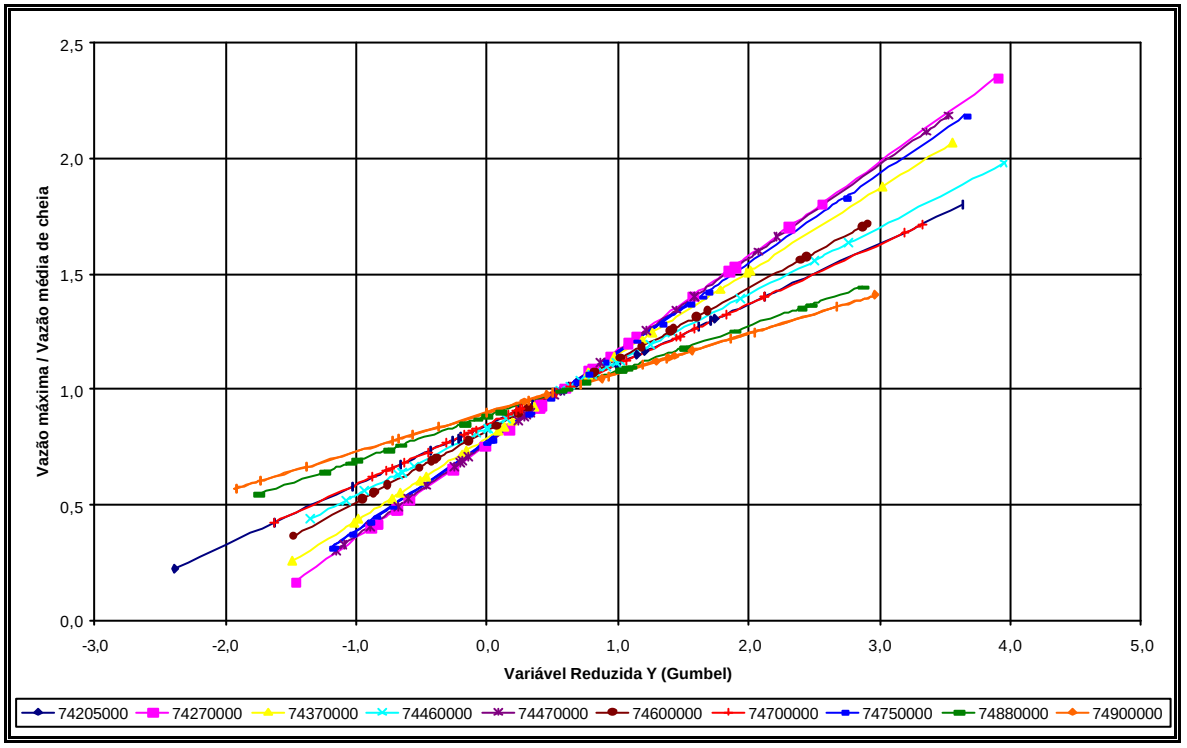
Dessa forma, foi possível calcular a evaporação real nas sub-bacias e Bacia U 30, como mostra o quadro 3.6.10. A evaporação tem como característica uma menor variabilidade temporal que as demais variáveis hidrológicas. A evaporação real apresentada no quadro 3.6.10 apresenta valores em torno de 72 a 82% da evaporação potencial média (1098 mm), o que é bastante satisfatório.

Quadro 3.6.10 – Balanço hídrico nas sub-bacias e bacia U 30 (em mm).

SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	Área de Drenagem (km^2)	Precipitação Anual (mm)	Vazão Média (mm)	Evaporação Real (mm)	ETR/ETP (%)
Sub-bacia do Rio Amandaú	541,44	1782,1	922,39	859,71	78,30
Sub-bacia do Rio Buricá	2.355,24	1863,0	991,15	871,85	79,40
Sub-bacia do Rio Comandaí	1.431,52	1848,2	967,31	880,89	80,23
Sub-bacia do Rio Santa Rosa	1.399,59	1867,3	966,24	901,06	82,06
Sub-bacia do Rio Santo Cristo	898,10	1842,1	945,50	896,60	81,66
Sub-bacia do Rio Turvo	1.878,61	1848,0	980,25	867,75	79,03
Sub-bacia do Lajeado Grande	525,38	1802,2	921,04	881,16	80,25
Bacia U 30	**10.756,75**	**1857,0**	**1067,56**	**789,44**	**71,90**

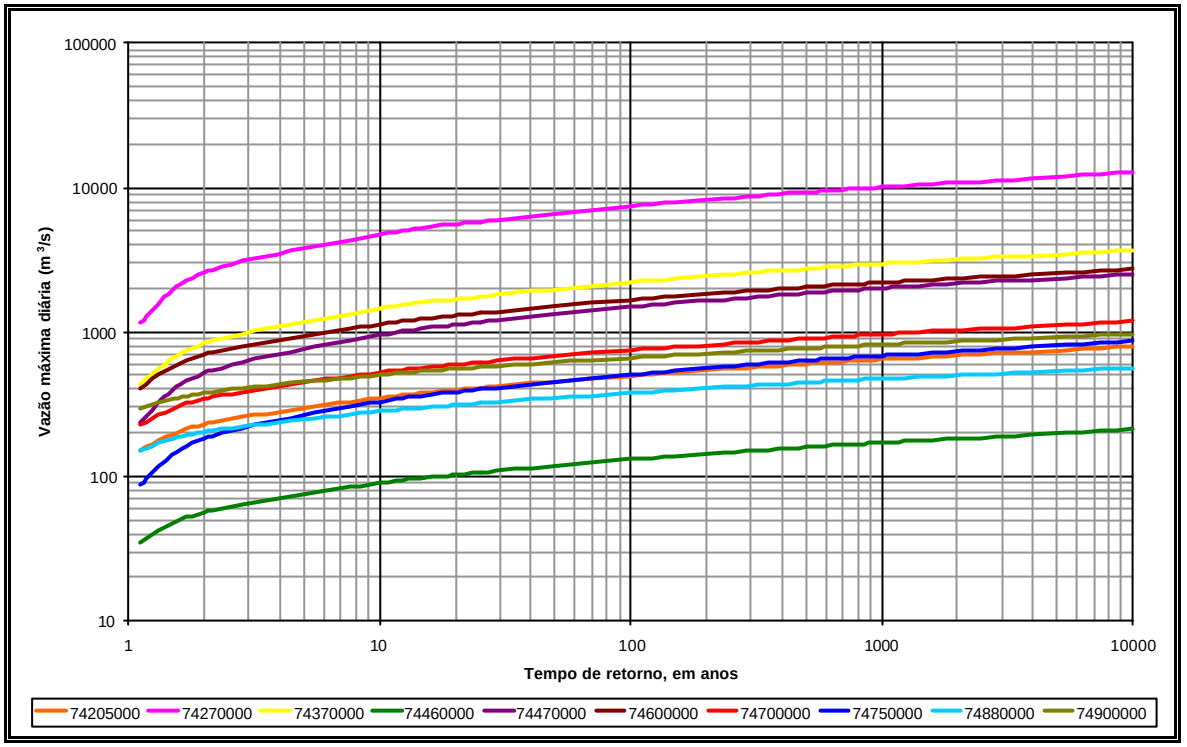
3.6.9. Vazões máximas

As curvas de probabilidade das vazões máximas diárias dos postos em estudo foram obtidas utilizando o período comum de dados (1977 - 2001), ajustando os valores da maior vazão diária de cada ano à curva estatística de Gumbel. As poucas falhas existentes foram preenchidas usando a vazão máxima do ano mais próximo ao período comum de dados no mesmo posto, ou seja, a primeira falha foi preenchida usando o valor de 1976, a segunda com o de 1975 e assim por diante. Para o cálculo das curvas, as vazões máximas diárias foram adimensionalizadas pela vazão média de cheia (Qmc = média das vazões máximas anuais no período analisado) e ajustadas a variável reduzida Y de Gumbel, como mostra a figura 3.6.13.

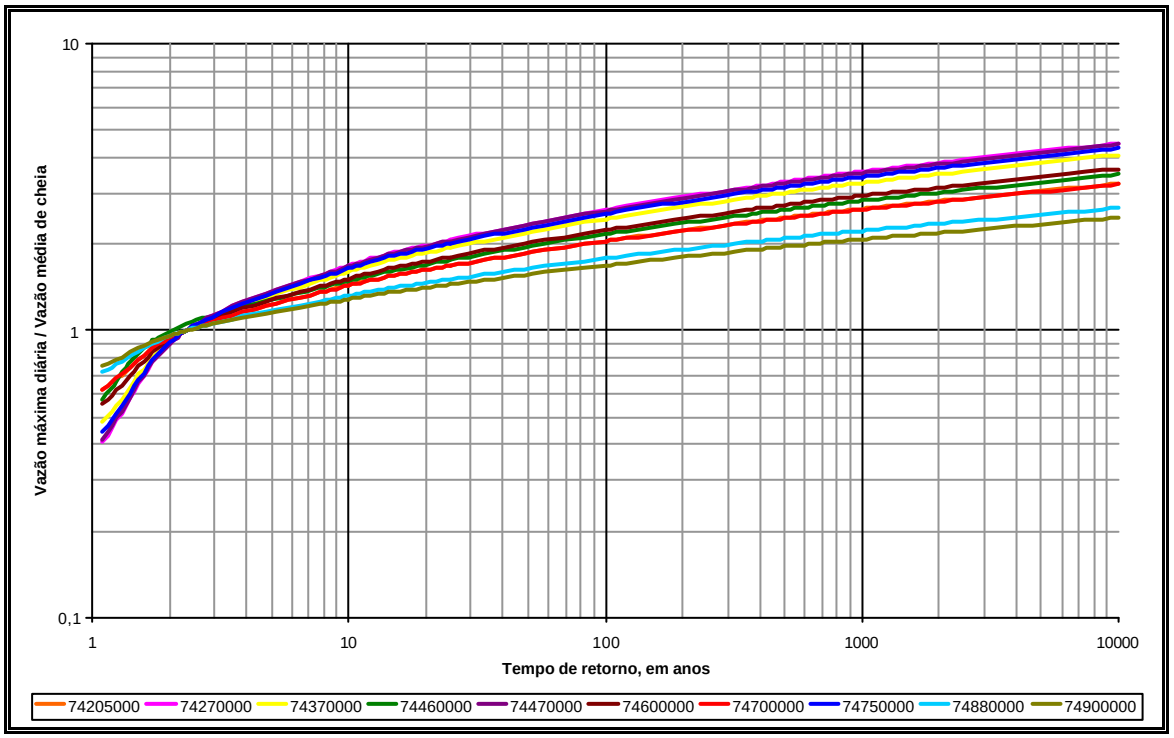


Figuras 3.6.13 – Ajuste das vazões máximas diárias adimensionais pela variável reduzida Y

A figura 3.6.14 mostra as curvas de probabilidade de vazões máximas diárias para cada posto em estudo. Os valores de vazão máxima diária dos postos são apresentados no quadro 3.6.11 em função do tempo de retorno (Tr), juntamente com a vazão média de cheia (Qmc). A figura 3.6.15 apresenta as curvas de probabilidade de vazões máximas diárias adimensionalizadas pela vazão média de cheia, mostrando uma dispersão nas forma das curvas, que é mais acentuada nos tempos de retorno maiores.



Figuras 3.6.14 – Curvas de probabilidade de vazão máxima diária (Gumbel)

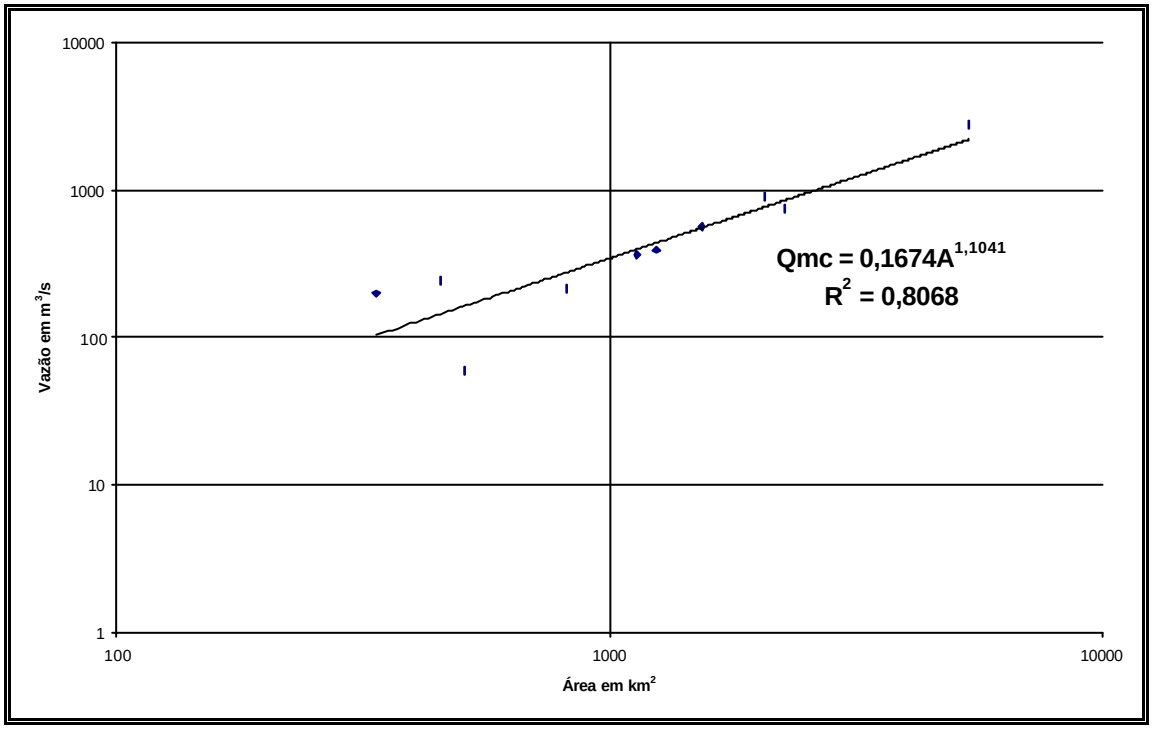


Figuras 3.6.15 – Curvas de probabilidade da vazão máxima diária adimensionalizada pela vazão média de cheia

Quadro 3.6.11 – Vazões máximas diárias nos postos em estudo

Tr (anos)	74205000	74270000	74370000	74460000	74470000	74600000	74700000	74750000	74880000	74900000
1,1	150,8	1150,6	431,2	34,8	236,5	410,7	226,6	87,7	152,1	294,9
2	229,6	2569,5	833,7	56,4	518,8	694,9	344,0	182,8	203,2	377,9
10	349,1	4723,2	1444,7	89,3	947,3	1126,3	522,2	327,1	280,7	504,0
25	409,2	5807,2	1752,2	105,9	1163,0	1343,4	611,9	399,7	319,7	567,4
100	498,2	7409,5	2206,8	130,4	1481,8	1664,4	744,5	507,1	377,4	661,2
500	600,5	9254,1	2730,1	158,5	1848,8	2033,9	897,1	630,7	443,8	769,2
1000	644,5	10047	2955,0	170,6	2006,6	2192,7	962,8	683,9	472,3	815,6
10000	790,6	12680	3702,0	210,8	2530,5	2720,1	1180,6	860,3	567,1	969,7
Qmc	**241,9**	**2792,0**	**896,8**	**59,8**	**563,1**	**739,5**	**362,4**	**197,7**	**211,2**	**390,9**
Área (km²)	**454**	**5356**	**2057**	**505**	**1538**	**2265**	**1139**	**337**	**816**	**1248**
Sub-bacia	**Fora da U 30**	**Fora da U 30**	**Fora da U 30**	**Rio Turvo**	**Rio Turvo**	**Rio Buricá**	**Rio Santa Rosa**	**Rio Santo Cristo**	**Rio Comadaí**	**Rio Comadaí**

Por fim, a vazão média de cheia foi regionalizada pela área de drenagem, como mostra a figura 3.6.16. A figura mostra uma dispersão nos postos de menor área, que são mais sensíveis à forma da bacia e não apenas á sua área.



Figuras 3.6.16 – Ajuste da vazão média de cheia com a área de drenagem

3.7. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DE RISCOS DE CHEIAS E VULNERABILIDADE À ESCASSEZ HÍDRICA NA BACIA U 30

3.7.1. Vulnerabilidade à escassez hídrica

A bacia dos Rios Turvo, Santa Rosa, Santo Cristo (U 30), de um modo geral, não apresenta problemas de escassez hídrica uma vez que a área da bacia onde chove menos durante o ano, tem um regime pluviométrico de mais de 1.700 mm.

Levando em consideração o gradiente de precipitações médias anuais, percebemos que as regiões próximas ao Rio Uruguai apresentam um regime pluviométrico menor que as regiões de maior altitude, como mostra a figura 3.4.20. Desconsiderando, a disponibilidade hídrica do próprio Rio Uruguai, este menor regime pluviométrico associado com as pequenas áreas de drenagem e menor capacidade de armazenamento hídrico, torna estas áreas mais vulneráveis a qualquer eventual período de estiagem mais prolongado.

Dessa forma, na figura 3.7.1 que apresenta as bacias hidrográficas segundo as suas vulnerabilidades hídricas, destacam-se como regiões mais vulneráveis as pequenas bacias próximas ao Rio Uruguai (figura 3.7.1).

Uma vez que na análise de vulnerabilidade à escassez hídrica foram adotadas como unidades de estudo as sub-bacias hidrográficas, não é possível avaliar a vulnerabilidade dentro de cada sub-bacia. Nestas, é razoável considerar que em suas partes altas, onde não existem cursos d'água perenes, deve haver ainda uma fragilidade local à escassez hídrica, devido às pequenas áreas de drenagem.

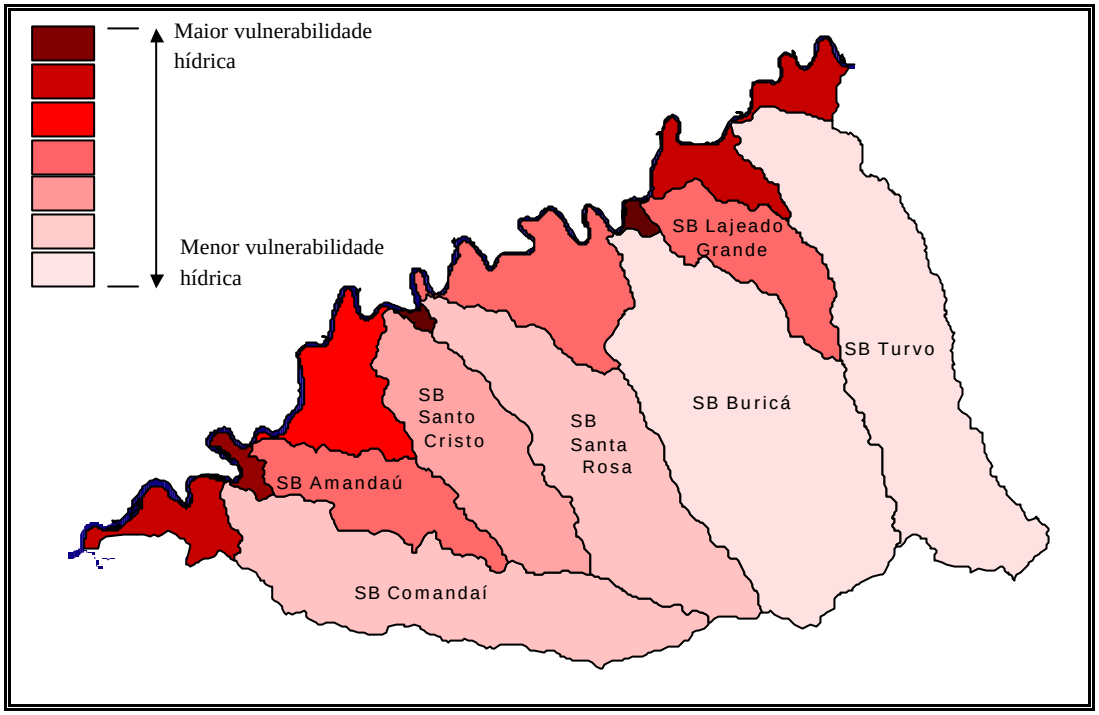


Figura 3.7.1 – Áreas de maior vulnerabilidade a escassez hídrica

3.7.2. Risco de cheias

As sub-bacias do Rio Turvo, Santa Rosa, Santo Cristo (U 30) apresentam formas alongadas em sua maioria, o que aumenta o risco de cheia em seus baixos cursos. Além disso, existe um represamento natural provocado pelo Rio Uruguai em épocas de cheia, o que torna a foz dos principais cursos d'águas da bacia mais vulneráveis a ocorrência de inundações. Felizmente, não existem grandes aglomerados urbanos nessas regiões, nem em outras regiões ribeirinhas localizadas nos médios cursos dos principais corpos d'água.

Dessa forma, a área urbana de maior risco de inundação é a cidade de Santa Rosa que é cortada pelos Arroios Pessegueirinho e Pessegueiro, rios de 1 e 2 ordem respectivamente, que sofrem muito com a ocupação de suas margens e com o lançamento de resíduos sólidos no seu leito. Nas fotos 3.7.1 a 3.7.3, pode ser observada a ocupação das margens do Arroio Pessegueirinho na área urbana de Santa Rosa.

Foto 3.7.1 – Ponte sobre o Rio Pessegueirinho em Santa Rosa/RS

Foto 3.7.2 – Margens do Rio Pessegueirinho em Santa Rosa/RS

Foto 3.7.3 – Vista da ocupação do vale do Pessegueirinho em Santa Rosa/RS

A figura 3.7.2 apresenta o mapa de risco de cheias para a Bacia U 30. O mapa foi elaborado levando em conta a topografia (diagnóstico de áreas inundáveis), influência do Rio Uruguai (que em época de cheia, represa os cursos principais das sub-bacias), cursos d'água principais (que apresentam inundações naturais) e áreas urbanas (que podem apresentar inundações devido à urbanização). Devido à escala de trabalho, não é possível detalhar os pontos de maior risco de inundação dentro das áreas urbanas.

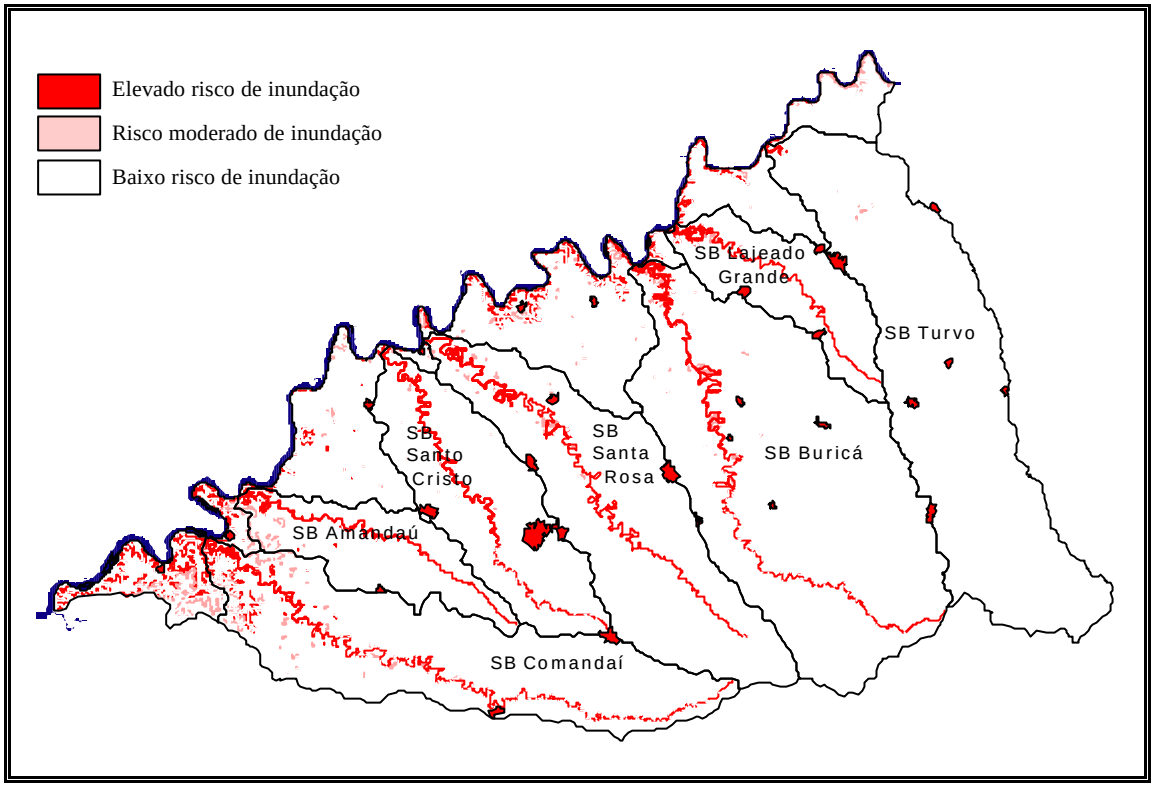


Figura 3.7.2 – Áreas de maior risco de inundações

3.8. REDE DE MONITORAMENTO DA ÁGUA

3.8.1. Introdução

Não foi objetivo desse estudo levantar uma rede de monitoramento da água para a Bacia U 30, e sim, apresentar sua disponibilidade hídrica, contudo, pela experiência adquirida no processo de elaboração do relatório sugere-se, a seguir, pontos para o monitoramento e coletas de dados.

3.8.2. Climatologia

A região apresenta uma boa distribuição de postos pluviométricos, o que facilitou o estudo das precipitações na bacia. Entretanto, o mesmo não foi verificado quanto à existência de estações pluviográficas e nem climatológicas. Dessa forma, segue uma sugestão de transformar algumas das estações pluviométricas em pluviográficas e/ou climatológicas, como mostra o quadro 3.8.1. O quadro 3.8.1 apresenta oito estações pluviométricas representativas da Bacia U 30 que abrangem vários níveis de altitude, distribuídas em toda área da bacia. As três primeiras estações já possuem aparelhos registradores de chuva, sendo necessário apenas equipar as demais estações. Quatro estações são sugeridas (em negrito no quadro) para a coleta de dados climatológicos, principalmente evaporação.

Quadro 3.8.1 - Estações Pluviométricas representativas da Bacia U 30 para coleta de dados pluviográficos e/ou climatológicos

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Pluviômetro Início	Pluviógrafo Início
2754001	Alto Uruguai*	Três Passos	-27:18:11	-054:08:04	120	jul-49	ago-76
2754009	Tucunduva	Tucunduva	-27:39:14	-054:26:32	120	jun-76	jun-76
2755001	Porto Lucena*	Porto Lucena	-27:51:16	-055:01:21	100	mar-49	ago-76
2754012	Santa Rosa-Ipagro*	Santa Rosa	-27:51:50	-054:29:03	273	jan-75	
2754007	Três de Maio	Três de Maio	-27:47:00	-054:14:00	403	dez-60	
2753009	Três Passos	Três Passos	-27:27:00	-053:56:00	450	dez-60	
2854003	Girua*	Girua	-28:01:35	-054:20:37	400	abr-43	
2753007	Santo Augusto*	Santo Augusto	-27:51:00	-053:46:00	520	jan-48	

*Estações para coleta de dados climatológicos

Os dados de pluviografia podem ser utilizados na elaboração de curvas i-d-f mais precisas, principalmente para as áreas urbanas, onde há o risco de inundação urbana. Os dados climatológicos podem ajudar no balanço hídrico, ao fornecer com maior precisão as perdas por evaporação na bacia.

3.8.3. Sedimentometria

A região apresenta uma boa distribuição de postos fluviométricos, que ajudou no estudo da disponibilidade hídrica na bacia. Destes postos, alguns já possuem dados sedimentométricos, como mostra o quadro 3.8.2, contudo suas séries de dados não são contínuas o suficiente para promover uma caracterização sedimentológica da água nas sub-bacias. Dessa forma, consideramos bastante salutar utilizar essas estações para coleta periódica (semanal, quinzenal ou mensal) de dados sedimentométricos.

As estações apresentadas no quadro 3.8.2 abrangem os principais rios da bacia: Rio Uruguai, Rio Turvo, Rio Buricá, Rio Santa Rosa, Rio Santo Cristo e Rio Comandaí. Considerando as estações existentes, ficarão de fora da rede de monitoramento o Lajeado Grande e o Rio Amandaú, onde sugere-se que sejam instaladas novas estações, cuja localização deverá ser, preferencialmente, próximo à foz dos respectivos cursos d'água.

Ao considerar a instalação de novas estações sedimentométricas, que venham complementar as anteriormente citadas, sugere-se que seja igualmente considerada a instalação de estações fluviométricas ao local, pois a vazão e sua variabilidade temporal são muito importantes para a análise dos sedimentos e da qualidade da água.

Quadro 3.8.2 - Estações Fluviométricas representativas da Bacia U 30 para coleta de dados sedimentométricos

Código	Nome	Município	Rio	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área (km^2)	Nível - Início	Vazão Início	Sedimentos - Início
74460000	PONTE DO RIO TURVO	SANTO AUGUSTO	RIO TURVO	-27:49:13	-053:44:00	400	505	fev-76	fev-76	
74470000	TRES PASSOS	TRES PASSOS	RIO TURVO	-27:23:34	-053:52:52	240	1538	fev-64	fev-64	ago-77
74500000	ALTO URUGUAI	TRES PASSOS	RIO URUGUAI	-27:18:11	-054:08:04	120,3	78884	jul-41	jul-41	
74610000*	CASCATA BURICA-NOVA	HORIZONTINA	RIO BURICA	-27:31:19	-054:13:56	120	2265	jun-97	jun-97	
74700000	TUCUNDUVA	TUCUNDUVA	RIO SANTA ROSA	-27:40:21	-054:27:39	120	1139	dez-41	dez-41	abr-78
74750000	LINHA CASCATA	SANTA ROSA	RIO SANTO CRISTO	-27:50:43	-054:33:17	200	337	set-63	set-63	jan-79
74800001	PORTO LUCENA	PORTO LUCENA	RIO URUGUAI	-27:51:00	-055:01:00	136	95200	jun-73		
74880000	PASSO SAO JOAO	CERRO LARGO	RIO COMAMDAI	-28:03:56	-054:45:21	700	816	nov-41	nov-41	
74900000	LINHA UNIAO	PORTO LUCENA	RIO COMAMDAI	-27:55:54	-054:56:17	125	1248	nov-69	nov-69	ago-78
		CRISSIUMAL/TIRADE TES DO SUL	LAGEADO GRANDE							
		PORTO LUCENA	RIO AMANDAÚ							

* Substitui, desde abril de 1997, o posto 74600000, localizado no mesmo ponto.

3.9. SÍNTESE CONCLUSIVA

Os quadros a seguir apresentam uma síntese do estudo de disponibilidade hídrica da Bacia dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo. O quadro 3.9.1 apresenta os aspectos fisiográficos das principais sub-bacias da Bacia U 30, o que percebemos que são bacias pequenas, entre 500 e 2.500 km^2, em sua maioria alongadas e com tempo de concentração entre 1 e 2,5 dias.

Quadro 3.9.1 – Aspectos fisiográficos das sub-bacias hidrográficas estudas

SUB-BACIA	CURSO D'ÁGUA	A (km^2)	L (km)	H (m)	P (km)	S (m/km)	I_F	C_C	tc (horas)
SB1	Rio Amandaú	541,44	83,8	250	140,57	2,98	0,077	1,69	18,9
SB2	Rio Buricá	2.355,24	195,45	350	231	1,79	0,062	1,33	44,1
SB3	Rio Comandaí	1.431,52	199,00	300	242,04	1,51	0,036	1,79	47,8
SB4	Rio Santa Rosa	1.399,59	185,14	300	212,81	1,62	0,041	1,59	44,0
SB5	Rio Santo Cristo	898,10	121,73	300	155,22	2,46	0,061	1,45	27,1
SB6	Rio Turvo	1.878,61	247,05	400	266,71	1,62	0,031	1,72	54,9
SB7	Lajeado Grande	525,38	85,33	300	125,17	3,52	0,072	1,53	18,0

A = Área de drenagem; L = Comprimento do talvegue; H = Desnível do talvegue; P = Perímetro da sub-bacia; S = Declividade do talvegue; I_F = Índice de forma; C_C = Coeficiente de compacidade; tc = tempo de concetração.

O quadro 3.9.2 apresenta a disponibilidade hídrica na bacia U 30 e em suas sub-bacias. Pelo quadro, observamos que a região é chuvosa (acima dos 1.800 mm) e com bom escoamento superficial (acima de 50% da precipitação total). No quadro, observamos que as vazões mínimas são elevadas, com valores acima de 10% da vazão média em 95% do tempo (Q95/Qmed > 0,10), o que mostra uma boa distribuição hídrica ao longo do tempo. A vazão de estiagem Q7,10 pode ser estimada como 65% da média da Q95 para a região (Silva Junior, 2001), o que representam ainda um volume hídrico considerado, equivalente a 1.000 l/s nas sub-bacias menores (Rio Amandaú e Lajeado Grande), mais que o suficiente para abastecer uma população de meio milhão de habitantes (toda bacia U 30 tem menos de 400 mil habitantes), ou seja, o suficiente para atender as demandas primárias (abastecimento humano e dessedentação de animais) nas sub-bacias em período de escassez hídrica.

O quadro 3.9.3 apresenta o balanço hídrico nas sub-bacias estudadas e mostra uma evaporação real pequena, em torno de 900 mm, equivalente 80% da evaporação potencial (EP = 1098 mm) e menos de 50% da precipitação total.

Quadro 3.9.2 – Disponibilidade hídrica nas sub-bacias e bacia U 30 (em m^3/s).

SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	Área de Drenagem (km^2)	Precipitação Anual (mm)	Vazão Média (m^3/s)	Vazão Específica ($l/s/km^2$)	Q50 (m^3/s)	Q90 (m^3/s)	Q95 (m^3/s)
Sub-bacia do Rio Amandaú	541,44	1782,1	15,84	29,25	10,03	2,61	1,61
Sub-bacia do Rio Buricá	2.355,24	1863,0	74,02	31,43	45,48	12,07	8,00
Sub-bacia do Rio Comandaí	1.431,52	1848,2	43,91	30,67	27,25	7,19	4,65
Sub-bacia do Rio Santa Rosa	1.399,59	1867,3	42,88	30,64	26,63	7,02	4,54
Sub-bacia do Rio Santo Cristo	898,10	1842,1	26,93	29,98	16,87	4,43	2,80
Sub-bacia do Rio Turvo	1.878,61	1848,0	58,39	31,08	36,04	9,54	6,26
Sub-bacia do Lajeado Grande	525,38	1802,2	15,34	29,21	9,72	2,53	1,56
Bacia U 30	**10.756,75**	**1857,0**	**364,14**	**33,85**	**216,82**	**58,58**	**41,86**

Quadro 3.9.3 – Balanço hídrico nas sub-bacias e bacia U 30 (em mm).

SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	Área de Drenagem (km^2)	Precipitação Anual (mm)	Vazão Média (mm)	Coeficiente de Escoamento	Evaporação Real (mm)
Sub-bacia do Rio Amandaú	541,44	1782,1	922,39	0,52	859,71
Sub-bacia do Rio Buricá	2.355,24	1863,0	991,15	0,53	871,85
Sub-bacia do Rio Comandaí	1.431,52	1848,2	967,31	0,52	880,89
Sub-bacia do Rio Santa Rosa	1.399,59	1867,3	966,24	0,52	901,06
Sub-bacia do Rio Santo Cristo	898,10	1842,1	945,50	0,51	896,60
Sub-bacia do Rio Turvo	1.878,61	1848,0	980,25	0,53	867,75
Sub-bacia do Lajeado Grande	525,38	1802,2	921,04	0,51	881,16
Bacia U 30	**10.756,75**	**1857,0**	**1067,56**	**0,57**	**789,44**

O quadro 3.9.4 apresenta as classes de uso do solo na bacia U 30 e em suas sub-bacias. Os usos predominantes Áreas Agrícolas e Campos Secos que juntos ocupam quase 86% de toda a bacia. Espelho d'água, zona urbana, mata nativa e reflorestamento são as classes de menor incidência nas sub-bacias, pois juntas representam menos de 2% de toda a bacia. Esses valores mostram que as sub-bacias são praticamente agrícolas, como uma cobertura florestal remanescente pouco significativa (próximo a 12%) o que contribui para o elevado coeficiente de escoamento superficial (acima de 0,50).

A figura 3.9.1 mostra a sazonalidade das vazões específicas médias, mínimas e máximas, juntamente com a precipitação e evaporação potencial para a região em estudo, com valores médios dos postos da região. Pela figura, observamos que os meses mais críticos de vazões mínimas são abril e maio, de vazão máxima são julho e outubro, este último também é o mês de maior pluviometria e vazão média. Verificamos que as vazões máximas mensais são na ordem de 4 vezes a vazão média do mês.

Quadro 3.9.4 – Classes de uso do solo na bacia U 30 e nas suas sub-bacias

Plano de Informação	Espelho D'Água	Zona Urbana	Área Agrícola	Campo Seco	Floresta	Reflores-tamento	Mata Nativa
Rio Turvo	0,52%	0,56%	69,34%	15,19%	13,50%	0,06%	0,82%
Lajeado Grande	0,00%	0,60%	71,66%	15,79%	11,94%	0,00%	0,00%
Rio Buricá	0,26%	0,71%	71,48%	15,16%	12,26%	0,00%	0,12%
Rio Santa Rosa	0,21%	0,52%	66,42%	17,40%	15,46%	0,00%	0,00%
Rio Santo Cristo	0,46%	1,81%	66,65%	16,80%	14,24%	0,04%	0,00%
Rio Amandaú	0,67%	0,06%	71,38%	17,09%	10,78%	0,02%	0,00%
Rio Comandaí	0,19%	0,35%	77,06%	14,59%	7,76%	0,02%	0,02%
Outras sub-bacias	0,02%	0,38%	60,38%	21,45%	9,83%	0,00%	7,94%
Bacia U 30	**0,28%**	**0,61%**	**69,01%**	**16,66%**	**11,98%**	**0,02%**	**1,45%**

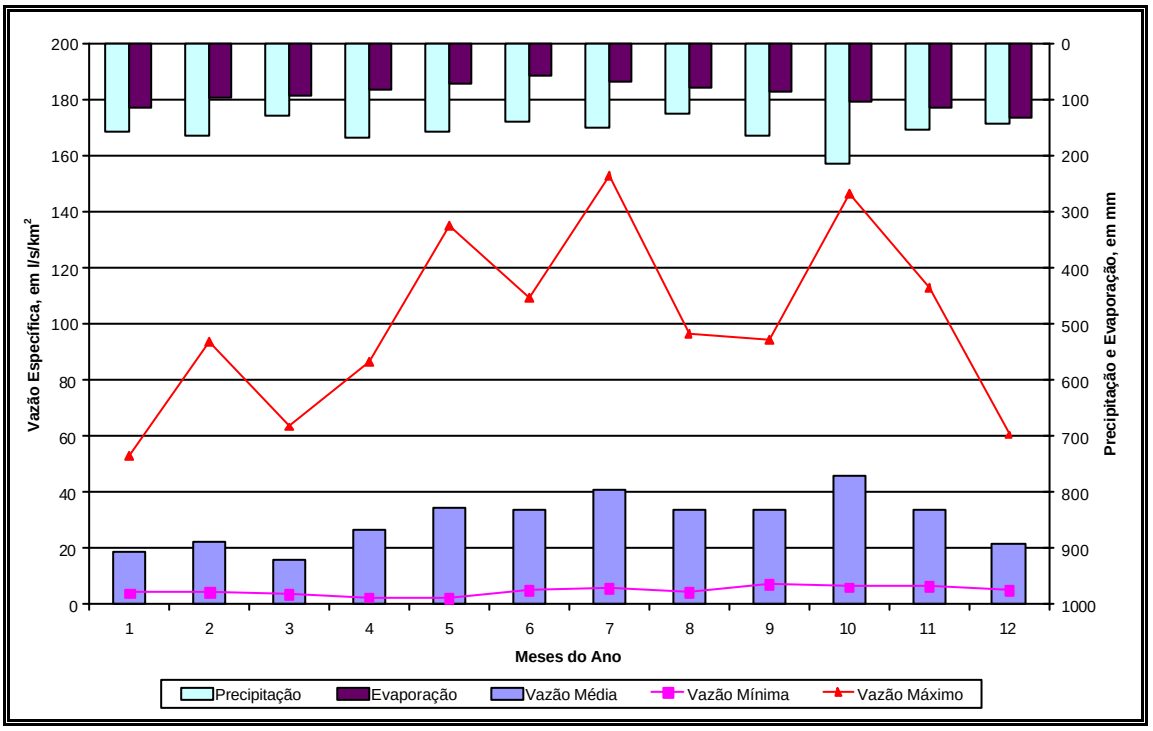


Figura 3.9.1 – Estatísticas das vazões específicas mensais, precipitação e evaporação (médias dos postos da região)

A figura 3.9.1 também mostra que não existe déficit hídrico a nível mensal, sendo no mês de dezembro, onde mais se aproxima a evaporação potencial da precipitação mensal.

A figura 3.9.2 apresenta as regionalizações efetuadas das vazões características com a área de drenagem. Como já era esperado, o melhor ajuste foi obtido com as vazões médias (Qmed), e os piores nas vazões mínimas (Q95) e máximas (Qmc).

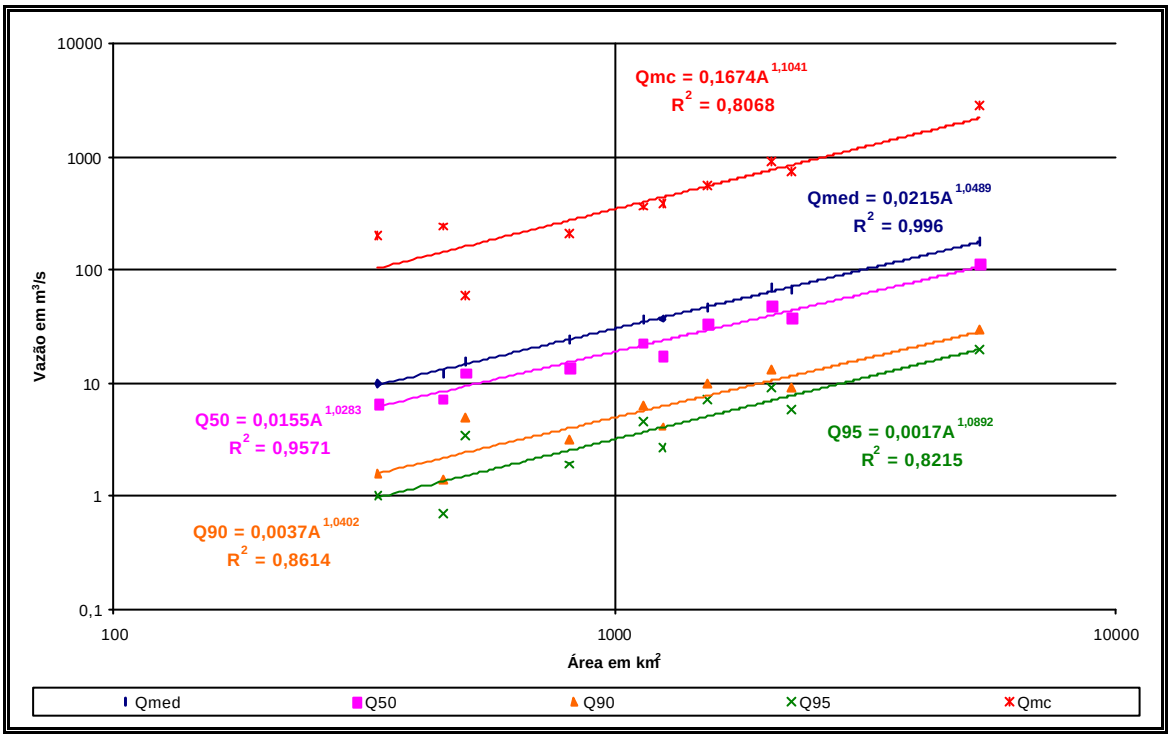


Figura 3.9.2– Ajuste das vazões características pela área de drenagem

Na regionalização foram utilizadas bacias entre 300 e 5.300 km^2, o que deixa uma necessidade de extrapolação para bacias pequenas dos ajustes. Essa extrapolação pode ser considerada aceitável para bacias de até 20 km^2 (Silva Júnior, 2001), porém para bacias menores o efeito da escala hidrológica é muito marcante o que impede qualquer extrapolação, com exceção da vazão média que ainda pode ser utilizada para bacia acima de 1 km^2, sendo que o ajuste superestima os valores de vazão média para as bacias menores.

Como conclusão, podemos dizer que a região apresenta boa disponibilidade hídrica, com boa distribuição espacial e temporal, o que não elimina a possibilidade de ocorrer eventos extremos, tanto de escassez quanto de cheia.