

MONITORAMENTO EM PEQUENAS BACIAS PARA A ESTIMATIVA DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Geraldo Lopes da Silveira

*Universidade Federal de Santa Maria- Departamento de Hidráulica e Saneamento
ger_ufsm@sma.zaz.com.br*

Carlos E. M. Tucci

*Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Caixa Postal 15029 CEP 91501-970 Porto Alegre, RS*

RESUMO

A avaliação de disponibilidades hídricas de pequenas bacias é condição necessária para o estudo de: (i) pequenos aproveitamentos de recursos hídricos, (ii) preservação ambiental e; (iii) instrução de processos para a outorga de uso dos recursos hídricos. A ausência de dados dos pequenos mananciais introduz grandes incertezas nas avaliações. O monitoramento proposto neste estudo utiliza estruturas hidráulicas fixas (calhas Parshall) e régua limnimétrica com leitura diária. Para avaliar esta alternativa foi implantada uma rede experimental de 12 pequenas bacias, com áreas de 1 à 11 km², no Rio Grande do Sul e com monitoramento efetuado por um período de 2 a 3 anos. Os resultados encontrados mostraram-se promissores quanto à estimativa de vazões médias e mínimas. As vazões de cheia, que extravasam a estrutura, não podem ser registradas devido ao intervalo restrito de monitoramento de vazões. Entretanto, estes períodos representaram em média menos de 20% do fluviograma observado e não prejudicam a avaliação da disponibilidade hídrica seja por curva de permanência seja por curvas de regularização. A rede experimental configurou uma alternativa prática, robusta e de baixo custo para o monitoramento de pequenas bacias que pode ser útil ao gerenciamento de Recursos Hídricos.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica de pequenas bacias (área < 100 km²) é estimada com dados de bacias maiores (área > 300 km²). Estas estimativas são realizadas através de: (i) estudos de regionalização da curva de permanência de vazões e; (ii) da simulação chuva vazão.

No Brasil os estudos de regionalização hidrológica são definidos a partir de dados de bacias maiores e, conseqüentemente, não devem ser

aplicados fora dos limites estabelecidos pelas equações regionais e principalmente para as bacias consideradas pequenas (área < 100 km²). Estas limitações se devem principalmente devido aos seguintes fatores (Silveira, 1997): pelas diferenças nas escalas espaciais e temporais dos mecanismos de transformação chuva-vazão nas pequenas e grandes bacias; pelas dificuldades de caracterização de regiões hidrológicamente homogêneas devido às especificidades locais do meio-físico. Quando a área da bacia diminui, reduz a escala de detalhamento, e dificulta a caracterização de regiões homogêneas, ou seja, a heterogeneidade das pequenas bacias é muito grande; devido à dificuldade de obtenção de dados confiáveis convencionais para as vazões mínimas. Muitas vezes ao priorizar vazões as máximas e médias, os segmentos inferiores das curvas-chave dos postos fluviométricos deixam a desejar. A mobilidade do leito é uma das causas destas incertezas.

As conseqüências destes erros no gerenciamento dos recursos hídricos podem gerar conflitos na outorga de uso da água, inviabilizar a operação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (P-CHs), ou comprometer a qualidade da água dos rios.

LIMITAÇÕES DAS REDES DE COLETA EM PEQUENAS BACIAS

O monitoramento convencional de pequenas bacias implica na necessidade de uso de limnígrafos, pluviógrafos, manutenção especial (já que o leito se altera com freqüência), operação especializada e seguro contra depredações entre outras condições. Uma estimativa preliminar de custos iniciais, somente para instalação da estação hidrométrica, conduz a valores da ordem de R\$ 14.000,00 (limnígrafo + pluviógrafos + instalação) sem contar com os custos de operação e manutenção ao longo do tempo e, os riscos de depredação. Exemplos de estudos anteriores que

envolveram o monitoramento convencional de pequenas bacias, particularmente para o Rio Grande do Sul, podem ser encontrados nos trabalhos de Bordas et al (1981, 1990), Canali (1981), Silveira (1982) e Chevallier (1988).

A resposta de uma pequena bacia hidrográfica ao estímulo de precipitação pode ser observado na Figura 1. O escoamento ocorre num período reduzido, enquanto que a recessão dos escoamentos envolve vários dias. Para bacias com áreas de drenagens inferiores a 500 km² o tempo de concentração varia de alguns minutos a poucas horas.

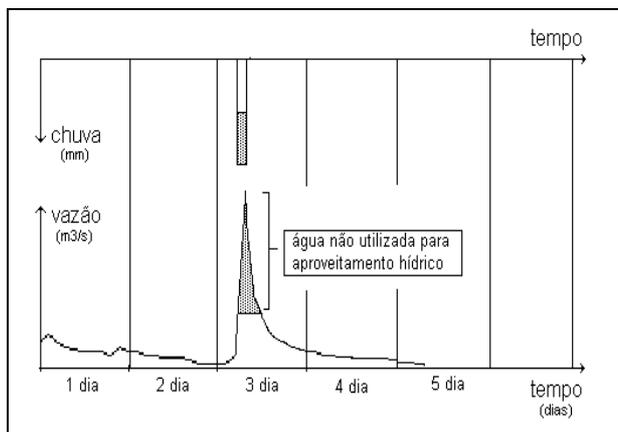


Figura 1. Esquema da resposta hídrica de uma pequena bacia.

Uma estação fluviométrica com apenas medições em régua de níveis, na seção de interesse do manancial, apresenta as seguintes limitações:

1. a falta de representatividade do linigrama observado devido a variabilidade do escoamento *de cheias*. Sendo assim o hidrograma é representado de forma tendenciosa (Figura 2). Como o volume do escoamento é subestimado, as vazões médias e máximas apresentam as maiores incertezas;
2. nas bacias pequenas, muitas vezes, o leito do rio tende a ser móvel, fazendo com que a relação cota-vazão se altere com grande frequência. A parcela da curva-chave mais sensível a esta variação das seções corresponde ao segmento das vazões mínimas (Figura 3).

Como se observa, uma bacia monitorada sem registradores e com leito móvel não teria utilidade. Por outro lado, a implementação de uma

rede de informações desejável é quase uma utopia, considerando-se a realidade de investimentos públicos em infra-estrutura e o tamanho do território nacional.

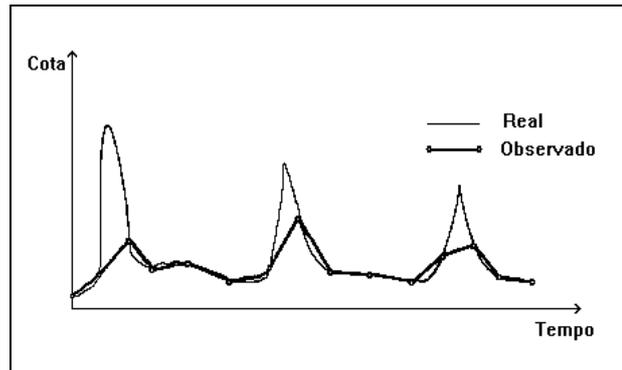


Figura 2. Hidrograma real e observado.

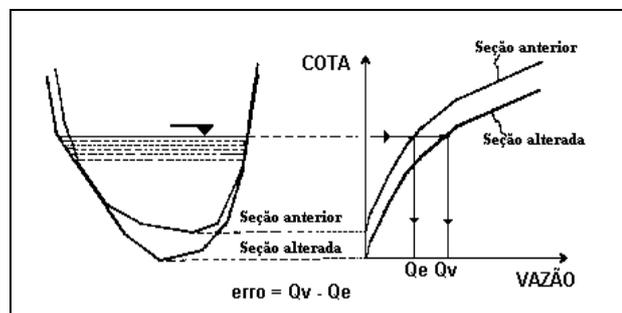


Figura 3. Erro da estimativa da vazão com mudança de leito.

MONITORAMENTO PROPOSTO E ANTECEDENTES

O IPH, (Silveira, 1985) para a avaliação de vazões em pequenas bacias com outro objetivo, desenvolveu um dispositivo para a Secretaria de Saúde e Meio-Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul que ambicionava fazer o controle biológico do inseto Simulídeo, através da dosificação do *Bacillus thuringiensis var. israelensis* (produto de controle biológico) nos córregos encachoeirados da região da Serra Gaúcha (Souza et al, 1994). Para a correta dosagem do produto de controle era necessário o conhecimento da vazão escoada no instante de sua aplicação. Para tanto, havia a necessidade de se estabelecer um processo de avaliação de vazão que fosse preciso, rápido e prático. Esta avaliação de vazão deveria também possuir como pré-requisito, a possibilidade de que pudesse ser efetuada sem a necessidade de profissionais especialistas no assunto, visto que se

caracterizaria por um trabalho de rotina e bastante amplo dentro do programa estadual de controle. Assim a escolha recaiu sobre estruturas do tipo calha Parshall com fundo raso (Alfaro et al, 1974), segundo esquema que pode ser visualizado na Figura 4, proposição de Silveira et al (1985). Atualmente existem mais de 250 calhas construídas no Estado pelo referido programa.

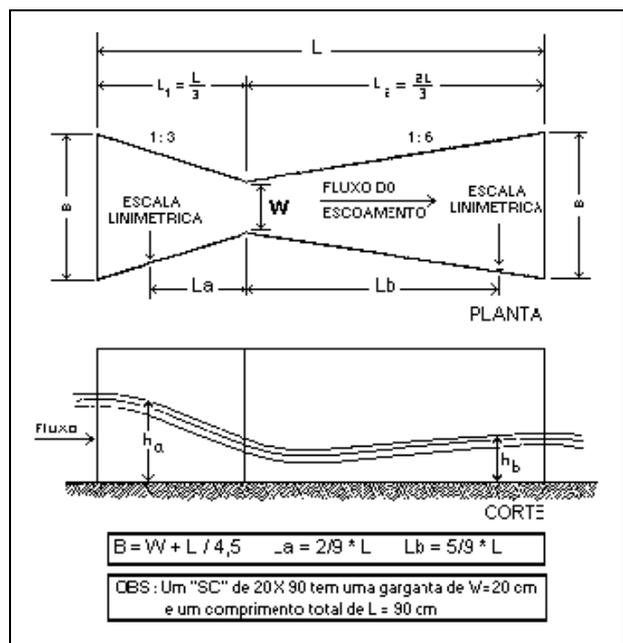


Figura 4. Calha tipo Parshall com fundo raso.

Embora as calhas tivessem sido construídas e dimensionadas com outro objetivo - controle biológico de Simulídeos - considerou-se a sua utilização, a nível experimental, para monitoramento hidrológico (Silveira, 1992 e 1995). O argumento para tal experiência seria a possibilidade de monitorar-se o segmento de fluviograma que permitisse o conhecimento das vazões medianas (Q50%) e mínimas (Q95%) escoadas pela pequena bacia. A idéia era monitorar o fluviograma ocorrido ao longo do tempo sem, entretanto, conseguir-se registrar os segmentos que contivessem os picos das enchentes devido ao extravasamento das calhas. Esse tipo de calha (Figura 5), normalmente é utilizada para avaliar as aflúncias a sistemas de irrigação (Carlesso, 1988), (Boss et al., 1984) e a sistemas de esgotos sanitários, (Jordão e Pessoa, 1995) possuindo capacidade de monitorar um intervalo restrito de vazões.

O procedimento constou de utilizar um observador na vizinhança da calha, normalmente o funcionário da prefeitura encarregado de dosar o Bti nos arroios ou um morador próximo. O mesmo

faz uma leitura mais ou menos periódica, anotando a data e horário da observação e o valor do nível d'água na calha. A observação não fica amarrada a um intervalo de tempo definido, o que elimina algumas incertezas das leituras convencionais, já que o observador dificilmente efetua a leitura sempre no mesmo horário.



Figura 5. Calha de fundo raso de Schneider 1 em Sapiranga.

A primeira questão que deve ocorrer ao hidrólogo é que este tipo de posto hidrológico não atende a primeira limitação (I), o que é real. As informações desses postos não permitem avaliar corretamente o volume dos hidrogramas de enchentes e os picos, já que não possui registrador e, em conseqüência, a vazão média e máxima.

Quanto à segunda limitação (II), esse tipo de posto a evita através da pequena estrutura hidráulica que, devido a estabilidade do leito, permite conhecer as vazões mínimas durante um grande número de dias ao longo do ano.

As vazões utilizadas são as vazões medianas e mínimas que ocorrem em uma bacia hidrográfica, ou seja, as vazões com alta permanência no tempo, exatamente aquelas registradas pelas calhas. Na Figura 6, de modo geral, é apresentado o hidrograma e a curva de permanência resultante da alternativa de monitoramento proposto.

REDE EXPERIMENTAL DE PEQUENAS BACIAS

As bacias da rede experimental localizam-se junto a três regiões (Figuras 7 e 8):

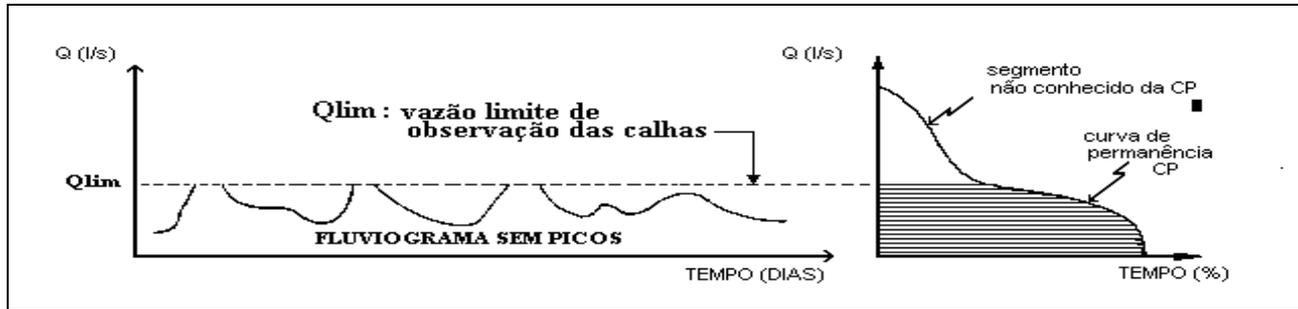


Figura 6. Esquema de monitoramento.



Figura 7. Situação da rede experimental na bacia do rio Caí.

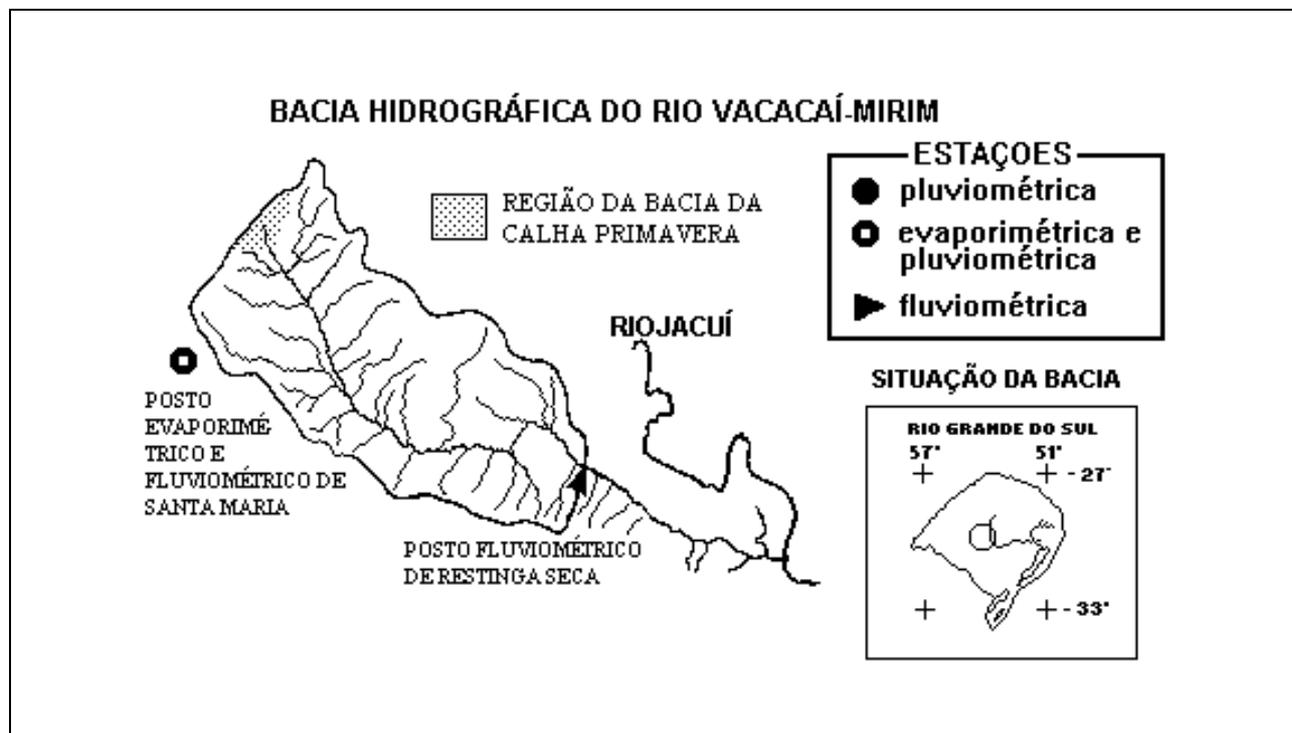


Figura 8. Situação da bacia Primavera na bacia do rio Vacacaí-Mirim.

- rio Caí: em seu curso superior, em bacias de cabeceira, no município de Nova Petrópolis;
- rio Caí: em seu curso médio, em vertentes da bacia do arroio Feitoria, nos municípios de Sapiranga e Dois Irmãos;
- rio Vacacaí-Mirim: junto ao município de Santa Maria (atual município de Itaara) em nascentes do rio Vacacaí-Mirim.

O rio Vacacaí-Mirim e o rio Caí desembocam no rio Jacuí.

No município de *Sapiranga* foram monitoradas as bacias de Schneider I, Schneider II e São Jacó; no de *Dois Irmãos*, as bacias de Carpintaria, Vale Direito e Vale Esquerdo; no de *Nova Petrópolis*, as bacias de Caí, Recanto Suíço, Paraíso, Linha Araripe e Linha Brasil; e, no de *Santa Maria*, a bacia de Primavera.

Todas as bacias localizam-se junto a unidade geomorfológica do Planalto Meridional, mais especificamente no seu rebordo ou próximo a ele. O Planalto Meridional Brasileiro teve sua origem na superposição dos sucessivos derrames vulcânicos na Bacia Geológica do Rio Paraná no Mesozóico.

Na região ocorrem camadas de arenito eólico Botucatu intercaladas entre as lavas basálticas ou entre as basálticas e as ácidas. Essas camadas, conhecidas como arenitos intertrapeanos, tem in-

fluência na alimentação de pequenas bacias. Nas Tabelas 1 e 2 constam uma síntese das características físicas das bacias.

A justificativa para a seleção destas bacias, na época do início da pesquisa, (Silveira, 1992), deveu-se ao requisito de obter-se junto às prefeituras, proprietárias das obras, o apoio necessário para o uso das mesmas, assim como a disponibilidade de funcionário ou outro esquema que permitisse a observação local. Isto deve-se ao fato de que, na época, não se tinha o argumento da eficácia do procedimento cuja viabilidade se queria pesquisar.

O objetivo principal da rede foi responder a questão fundamental desta seção uma vez que, confirmada a possibilidade de monitoramento prático, robusto e a baixo custo, o mesmo pudesse se caracterizar em um serviço de rotina por parte do Estado e das instituições de pesquisa, de modo a minimizar o problema da carência de dados para pequenas bacias. O custo médio de construção de uma calha, segundo Mardini (1997), é de R\$ 250, sem contabilizar-se os custos de localização do ponto de instalação, para efeito de transporte do material e deslocamento de pessoal. O *baixo custo* do monitoramento proposto é, portanto, relativo ao *alto custo* da aparelhagem de monitoramento contínuo e de sua manutenção e operação.

Tabela 1. Características físicas predominantes.

BACIA (calha)	MUNICÍPIO	ROCHA	SOLO PREDOMINANTE	RELEVO unid.geomorf	VEGETAÇÃO
SÃO JACÓ SCHNEIDER II SCHNEIDER I	SAPIRANGA	basalto	terra rocha estruturada	patamares da serra geral	REGIÃO DA FLORESTA ESTACIONAL SEMI-DEC. agricultura cíclica
CARPINTA V. DIREITO V.ESQUERDO	DOIS IRMÃOS				REGIÃO DA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL agricultura
L. BRASIL L. ARARIPE R. SUÍÇO CAÍ superior PARAÍSO sup CAÍ inferior PARAÍSO infe.	PETRÓPOLIS	riolito e riodacito	brunizem avermelhado	serra geral	REGIÃO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA agricultura
			terra bruna estruturado intermed. para podzólico bruno acinzentado	planalto dos campo gerais	
		basalto	solos litólicos	serra geral	REGIÃO DA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL vegetação secundária
PRIMAVERA	SANTA MARIA	riolito e riodacito	podzólico bruno acinzentado	planalto dos campos gerais	REGIÃO DA SAVANA GRAMÍNEO-LENHOSA C/FLORESTA DE GALERIA

Tabela 2. Índices fisiográficos.

BACIA (calha)	MUNICÍPIO	A(km ²)	P(km)	L(km)	cmd (m)	SV(%)	SS(%)	DD(km/km ²)	KGR	IC
SÃO JACÓ		8,98	13,00	4,75	542	24	5,30	0,70	1,21	0,33
SCHNEIDER II SCHNEIDER I	SAPIRANGA	3,23 6,13	7,31 11,50	1,96 4,00	530 535	32 31	11,50 8,70	0,61 0,65	1,14 1,30	0,38 0,31
CARPINTA V. DIREITO V.ESQUERDO	DOIS IRMÃOS	10,78 6,88 5,92	13,70 12,27 11,14	4,00 4,18 4,06	445 415 395	29 25 24	8,20 8,40 8,30	0,59 0,77 0,93	1,17 1,31 1,28	0,49 0,29 0,31
L. BRASIL L. ARARIPE R. SUÍÇO S.J. DO CAÍ PARAÍSO	PETRÓPOLIS	5,94 3,80 0,70 9,76 9,58	10,68 7,80 3,20 14,00 17,00	2,95 2,66 0,50 5,50 5,50	680 735 520 495 515	29 29 21 38 34	7,60 10,20 14,00 8,70 8,80	1,19 1,15 0,71 0,90 1,30	1,23 1,12 1,07 1,25 1,54	0,54 0,43 1,43 0,29 0,29
PRIMAVERA	SANTA MARIA	2,29	5,50	2,00	447	16	3,00	1,96	1,02	0,50

A representa a área da bacia; **P**, o perímetro; **L**, o comprimento do curso d'água principal; **CMD**, altitude mediana da bacia; **SV**, declividade média das vertentes; **SS**, declividade simples do curso d'água principal; **DD**, densidade de drenagem; **KGR**, índice de compacidade e **IC**, índice de conformação.

AVALIAÇÃO DOS DADOS REGISTRADOS

Representatividade do período de observação

A observação das calhas para as 12 pequenas bacias hidrográficas da rede experimental compreendeu o período de tempo apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Período de tempo dos dados coletados pela rede experimental.

CALHA	92/2	93/1	93/2	94/1	94/2	95/1	95/2
SÃO JACÓ		X	X	X	X	X	X
SCHNEIDER I		X	X	X	X	X	X
SCHNEIDER II		X	X	X	X	X	X
CARPINTA		X	X	X	X	X	X
V. DIREITO		X	X	X	X	X	X
V.ESQUERDO		X	X	X	X	X	X
L. BRASIL	X	X	X	X			
L. ARARIPE	X	X	X	X			
R. SUÍÇO	X	X	X	X			
S.J. DO CAÍ	X	X	X	X			
PARAÍSO	X	X	X	X			
PRIMAVERA		X	X	X	X		

O início dos períodos de observações das calhas tiveram datas diferenciadas em função dos contatos estabelecidos com os municípios e, do trabalho necessário a implantação do monitoramento, como inspeção inicial do local, treinamento do observador disponibilizado pela prefeitura ou, na impossibilidade, do morador próximo ao local. O tempo de encerramento das observações deve-se ao término de financiamento da pesquisa, inicialmente previsto para dois anos. Algumas calhas tiveram observações de até três anos em função do maior interesse das prefeituras em dar continuidade as observações. Para verificar a representatividade do período de observação com relação a um eventual período crítico, procurou-se estudar séries históricas de precipitação com períodos longos, das estações pluviométricas mais próximas às bacias estudadas.

Para a bacia Primavera do município de Santa Maria considerou-se como referência a estação pluviométrica de "Santa Maria" e, para as bacias dos demais municípios, a estação pluviométrica de "Sapucaia". Ainda, em conjunto com estas estações (mais próximas das regiões das bacias), selecionaram-se outras, para efeito comparativo, que também possuíssem um período mínimo de dados próximo a 20 anos (Tabela 4).

Tabela 4. Estações pluviométricas da rede nacional na região das bacias.

Estação	Período de dados	Média 76-95 (mm)
Sapucaia	1966-1995	1500
Taquari	1965-1995	1638
Santa Maria	1967-1995	1774
Quevedos	1976-1995	1786

Comparando-se a média das precipitações do período de monitoramento das calhas, 93 a 95, com a série completa (1976-1995), nos postos de Sapucaia e Santa Maria, observa-se que o período curto apresenta uma média de 7% acima em relação a série dos anos de 76-95. Na Figura 9 são apresentados os valores adimensionalizados e os anos das séries curtas de monitoramento das calhas.

Sendo a precipitação do período de monitoramento ligeiramente superior a do longo período, pode-se, em função disto, considerar temporalmente significativo o período monitorado, para efeito de validação do procedimento. Esta validação baseia-se no seguinte: sendo a média da precipitação do período de monitoramento superior à média de longo período, pode-se concluir que a chance de extravasamento das calhas é maior, em função do maior volume precipitado. Portanto, se a chuva ocorrida fosse menor no período (mais próxima da média ou inferior), teríamos a possibilidade de aumentar o percentual de tempo no qual as calhas conseguiriam registrar o fluviograma ocorrido, melhorando o resultado da performance do monitoramento.

Se, por exemplo, o período de monitoramento das calhas tivesse ocorrido nos anos de 78, 79 e 80, com precipitações abaixo da média (Figura 9), a avaliação dos percentuais de tempo monitorado pelas calhas (sem o extravasamento) estaria superestimada, o que prejudicaria estas conclusões, sobre a validação do esquema de monitoramento, de uma forma tão imediata.

Como o período de monitoramento das calhas é muito curto – 2 a 3 anos – não desenvolveu-se a aplicação de testes estatísticos mais pormenorizados porque não trariam contribuição efetiva a esta avaliação específica, visto que o período não se caracterizou por anos secos.

Entretanto, esta análise está *vinculada à validação do esquema de monitoramento* e não a representatividade do período em termos de produção hídrica, que pode ser avaliada pela curva de permanência. De qualquer forma, a precipitação total não é um indicador absoluto, mas relativo, já

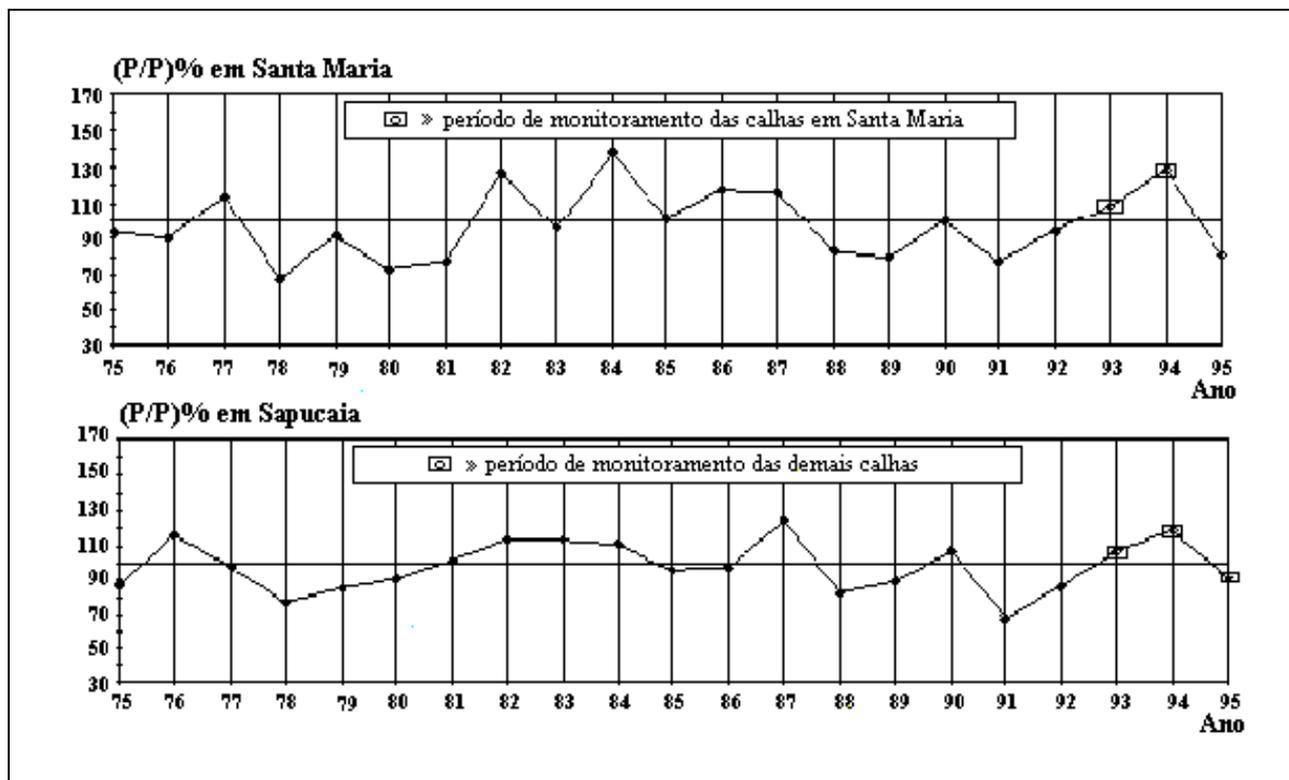


Figura 9. Localização no tempo das precipitações do período de monitoramento das calhas.

que o número de eventos por ano, poderia ser mais representativo na análise.

Curva de permanência

A análise hidrológica a ser desenvolvida para validação do monitoramento envolve o período de monitoramento da curva de permanência.

Na Figura 10 é apresentado segmento de hidrograma registrado nos anos de 1993 e 1994, no posto de Schneider I. O hidrograma, como era de se esperar, é interrompido em determinados trechos, quando extravasa o limite de observação das calhas.

Pela observação da Figura 10, pode-se considerar que as descontinuidades, decorrentes do extravasamentos das calhas, ocorrem nos momentos de elevação e de recessão dos escoamento, além do próprio intervalo de tempo da leitura. Entretanto, o início da elevação dos escoamentos, muitas vezes, não fica caracterizado nos segmentos do fluviograma observados pelas calhas. A explicação para tais ocorrências pode ser creditada a dois fatores: (i) ao intervalo de tempo de observações nas calhas e; (ii) a rapidez de ocorrência da elevação dos escoamentos.

Observando o ponto 1, assinalado na Figura 10, verifica-se que a descontinuidade de registro do fluviograma para a elevação de vazões ocorre em um trecho de recessão de escoamentos, fato este, que pode ser explicado devido a ocorrência de uma chuva intensa ocorrida dentro do intervalo diário de monitoramento adotado.

Observando o ponto 2, assinalado também na Figura 10, verifica-se que o mesmo ocorre *sempre* em uma magnitude superior a do ponto 1. Este fato, permite concluir, como seria teoricamente aceitável, que, sendo a recessão dos escoamentos mais lenta que a elevação, consegue-se registrar através da calha o decaimento das vazões a partir de um nível mais elevado. A elevação dos escoamentos sendo mais rápida não permite o seu registro para o intervalo de tempo adotado para o monitoramento.

Considerando-se o monitoramento com o intervalo de tempo diário, verifica-se que o mesmo possui um resultado diferenciado com relação ao caracterizado na Figura 6, mostrando uma diferença entre a abstração inicial e a realidade.

Uma vez que o fluviograma monitorado não registra as vazões altas pelo extravasamento das calhas, a curva de permanência pode ser construída para o seu ramo inferior, que não possui falhas e que corresponde aos interesses da avaliação da

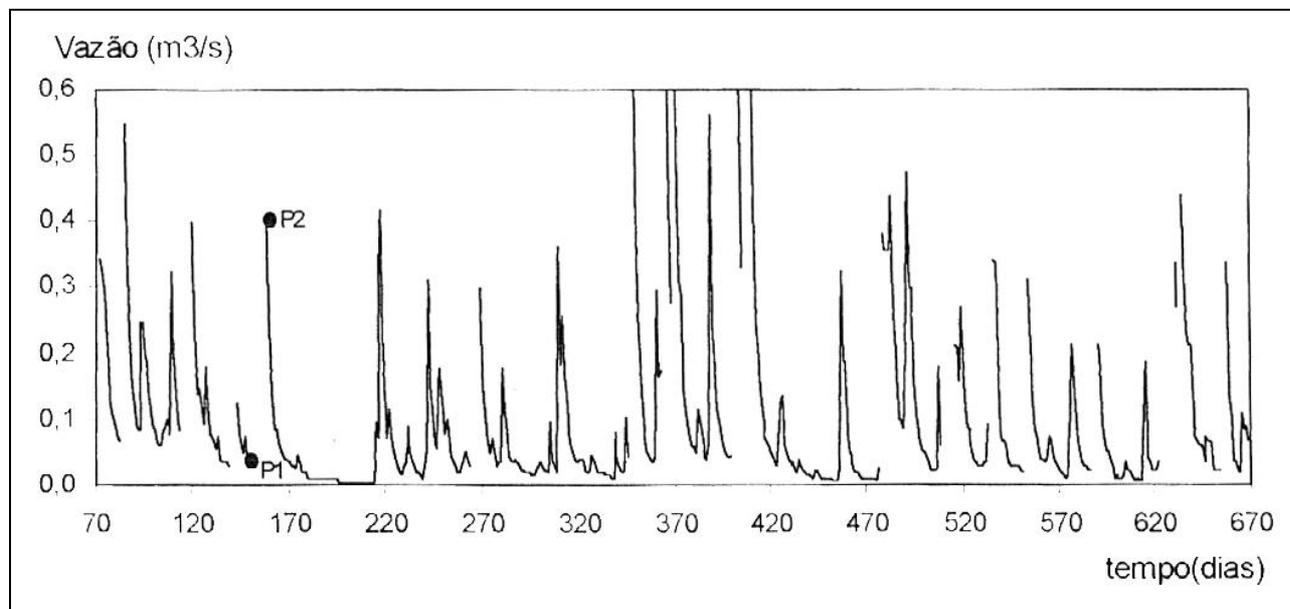


Figura 10. Segmentos de fluviograma observado em Schneider 1.

disponibilidade hídrica. Restaria saber se a magnitude do ramo não monitorado não afetaria as avaliações pretendidas, ou melhor, se conseguiria registrar os segmentos de curva de permanência, conhecendo-se no mínimo a vazão mediana escoada ($Q_{50\%}$).

Assim, a curva de permanência foi calculada atribuindo-se às vazões não registradas pelas calhas, valores superiores ao valor de vazão que provoca o seu extravasamento. Como estes valores de vazões são indefinidos, a curva de permanência fica indefinida para os valores altos de vazões aos quais são associados uma baixa permanência do tempo. Por exemplo, a bacia de Schneider I, corresponde a primeira curva de permanência da Figura 11.

Da mesma forma, para as curvas calculadas das Figuras 11 e 12, para outras bacias da rede experimental, pode-se avaliar a permanência e a respectiva vazão limite de observação da calha. No caso de Schneider 1, estes valores correspondem a 14% do tempo para um valor de vazão de $0,638 \text{ m}^{-1}$. Assim, a curva de permanência fica definida para o intervalo de 14 a 100% do tempo de registro. Com este percentual pode-se avaliar a disponibilidade hídrica da bacia.

As curvas de regularização também não são afetadas pelo desconhecimento do valor exato da vazão de extravasamento das calhas. Para esta avaliação adotou-se a estratégia de Silveira e Clarke (1994), que consiste em preencher a mesma série de duas formas: (i) com a própria vazão de extravasamento e; (ii) com um valor alto de vazão

calculado pelo método racional. Simulando-se a regularização até $Q_{40\%}$, as curvas de regularização encontradas, em cada bacia da rede, foram idênticas para as situações (i) e (ii). Isto confirma a expectativa de que o não conhecimento da vazão média escoada, devido o extravasamento da calha, não prejudica o cálculo das curvas de regularização para o uso em estudo de pequeno aproveitamento de recursos hídricos, como uma PCH. Esta observação é restrita às bacias de tamanho e características das monitoradas.

Com a construção das curvas das Figuras 11 e 12 obteve-se informações relativas:

- ao percentual do fluviograma observado,
- a vazão limite registrada em cada calha e;
- as vazões características de 50% e 95% de permanência no tempo ($Q_{50\%}$ e $Q_{95\%}$).

Estes valores são apresentados na Tabela 5.

Dimensão das calhas e vazão limite

Observando-se os resultados da Tabela 5, verifica-se que existe uma grande variabilidade da vazão limite de observação das calhas, de 46 a 265 l/s/km^2 . Esta variabilidade pode ser explicada pelo critério estabelecido pela SSMA/RS de definição do projeto de calha a ser implantada junto aos municípios que aderem ao Programa Estadual de Controle dos Simúlideos. O critério consiste de

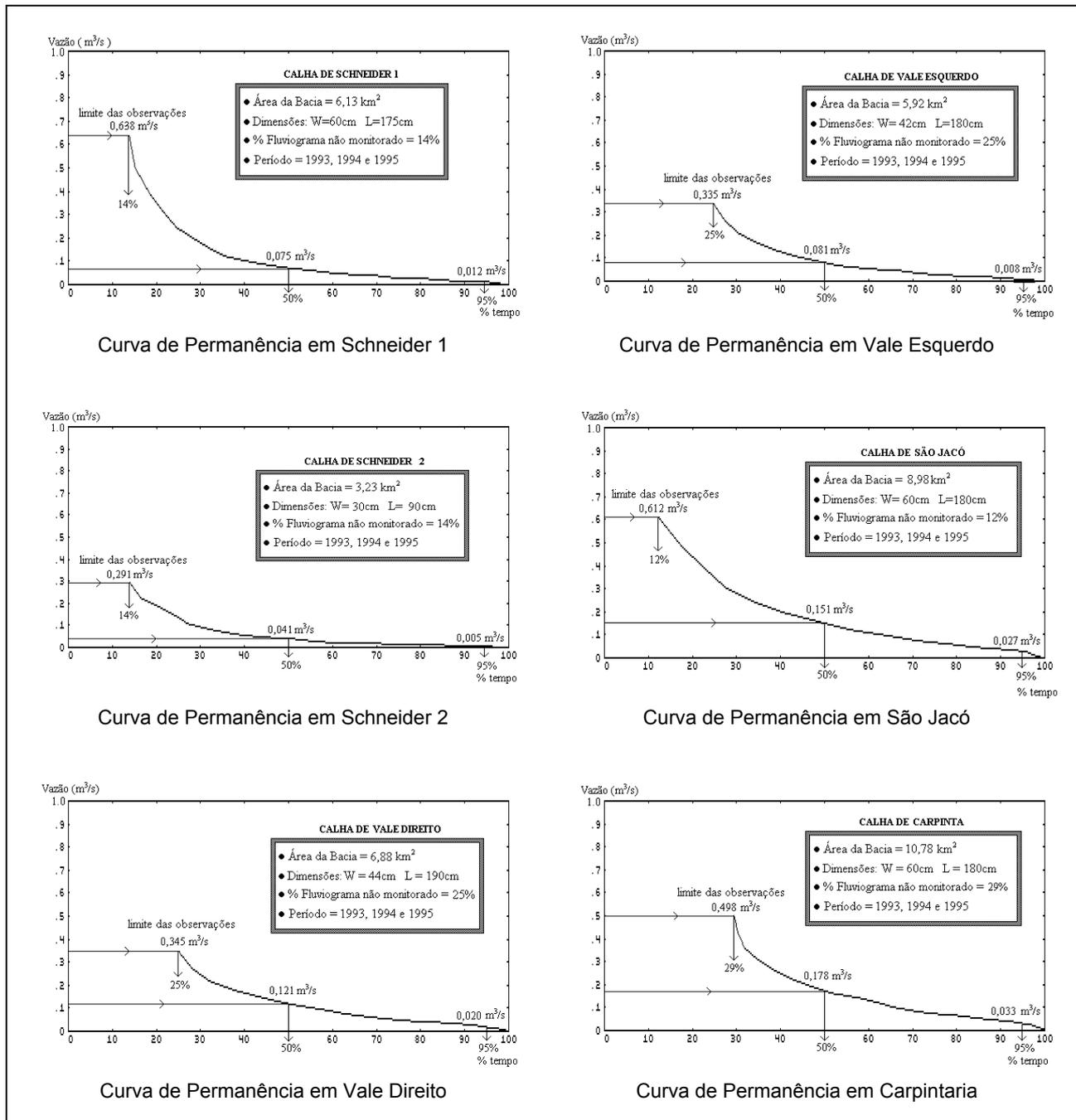


Figura 11. Curvas de permanência observadas pela rede experimental.

selecionar a calha de três tipos de padrões previamente projetados, (30,90); (40,120); e (40,180), onde o primeiro número (W), do par ordenado, representa a largura da garganta da calha e; o segundo número (L), o comprimento, segundo o esquema da Figura 3. A escolha da calha é definida em função de uma medição de descarga efetuada em período de estiagem do arroio.

Não existe a preocupação por parte da SSMA/RS, no caso, com a vazão limite de observação das calhas, pois referem-se a vazões de magnitude maior, não consideradas para aplicação do *Bti*, devido ao grande consumo do produto que seria necessário para estabelecer a dosagem de controle. Também não seria viável para a Secretaria um dimensionamento específico para cada bacia tendo em vista o grande

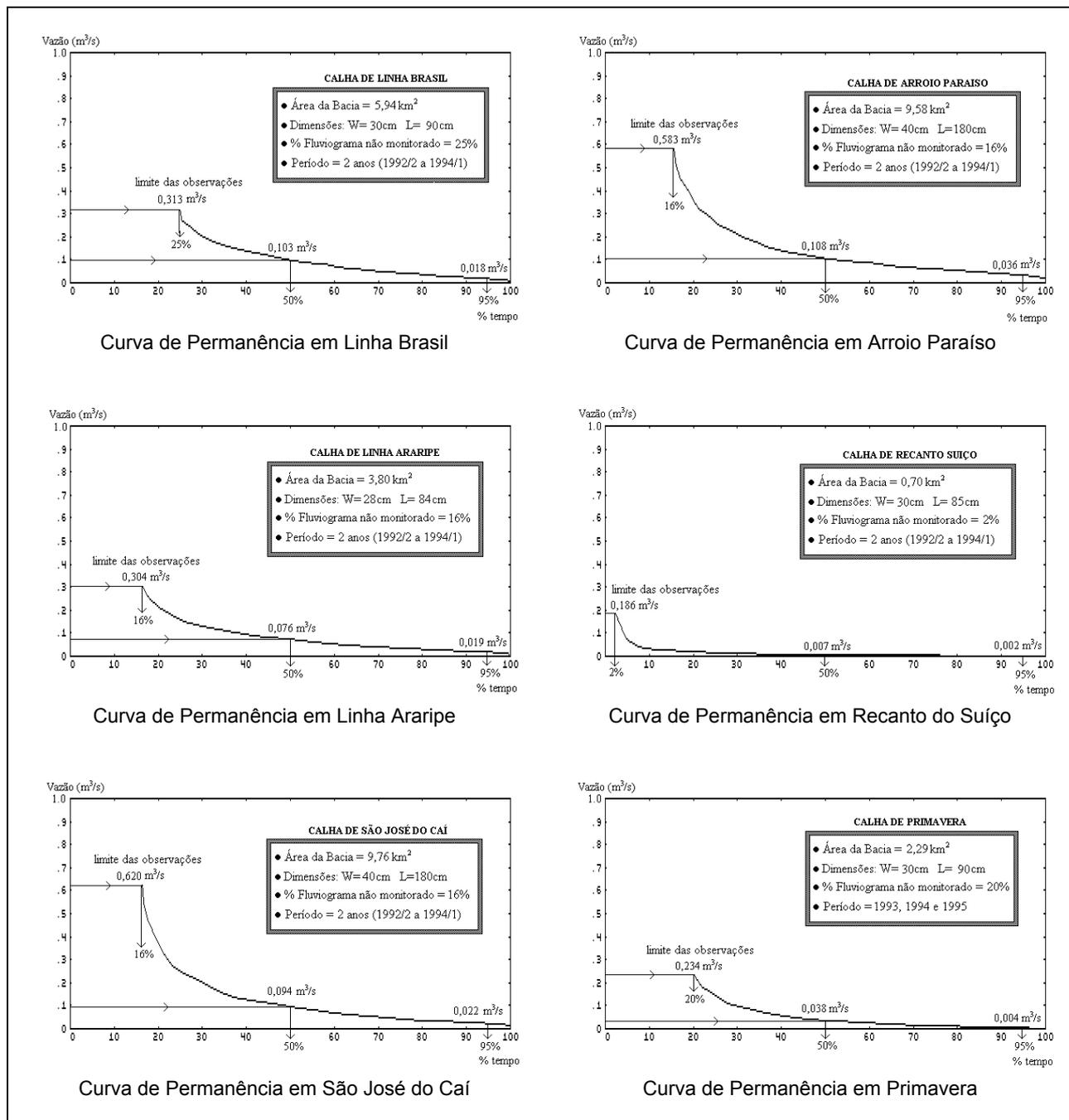


Figura 12. Curvas de permanência observadas pela rede experimental.

número de calhas implantadas, em torno de 250 (Souza et al, 1994), devido a abrangência do projeto. Assim, a escolha de calha refere-se a viabilidade real de leitura precisa do nível d'água durante a ocorrência das menores vazões.

Conforme ficou constatado pelas curvas de permanência obtidas, pode-se dizer que as estruturas permitem monitorar as vazões de maior magnitude, embora, por parte do Progra-

ma Estadual, a utilização das calhas visem apenas a avaliação as vazões mínimas.

Como as bacias têm tamanho e características físicas variadas, e as calhas dimensões padronizadas, têm-se que as vazões de limite superior são diferentes, mesmo em valores específicos, para cada bacia. Além disso, também colaboram para a variabilidade de ocorrência da vazão limite de observação das calhas, a hora

Tabela 5. Características das bacias: dimensão das calhas e vazões obtidas.

CALHA	A (km ²)	W (cm)	L (cm)	T.M (%)	Qlim (m ³ /s)	Q50 (m ³ /s)	Q95 (m ³ /s)	Qlim (l/s/km ²)	Q50 (l/s/km ²)	Q95 (l/s/km ²)
1-SÃO JACÓ	8,98	60	180	88	0,612	0,151	0,027	68	16,8	3,0
2-SCHNEIDER II	3,23	30	90	86	0,291	0,041	0,005	90	12,7	1,5
3-SCHNEIDER I	6,13	60	175	86	0,638	0,075	0,012	104	12,2	2,0
4-CARPINTA	10,78	60	180	71	0,498	0,178	0,033	46	16,5	3,1
5-V. DIREITO	6,88	44	190	75	0,345	0,121	0,020	50	17,6	2,9
6-V. ESQUERDO	5,92	42	180	75	0,335	0,081	0,008	57	13,7	1,4
7-L. BRASIL	5,94	30	90	75	0,313	0,103	0,018	53	17,3	3,0
8-L. ARARIPE	3,80	28	84	84	0,304	0,076	0,019	80	20,0	5,0
9-R. SUÍÇO	0,70	30	85	98	0,186	0,007	0,002	266	10,0	2,8
10-S.J. DO CAÍ	9,76	40	180	84	0,620	0,094	0,022	64	9,6	2,2
11-PARAÍSO	9,58	40	180	84	0,583	0,108	0,036	61	11,3	3,8
12-PRIMAVERA	2,29	30	90	80	0,234	0,038	0,004	102	16,6	1,7

Onde **A** é a área da bacia; **W**, a largura da garganta da calha em cm; **L**, o comprimento da calha em cm; **T.M.**, o tempo monitorado pela calha em percentual do tempo total; **Qlim**, a vazão limite observada nas calhas; e **Q**, as vazões para as respectivas permanências em termos absolutos e específicos.

de registro do nível por parte do observador associada ao tempo de resposta das bacias aos estímulos de precipitação. A resposta rápida da bacia, na maioria das vezes, não coincidia com a hora definida pelo observador para registro da vazão. Mas, considerando o tempo médio da permanência da vazão limite de observação, verifica-se que o valor encontrado não compromete os objetivos de seu uso.

Pelo período de observação por meio das calhas, pode-se concluir que boa parte do volume d'água originário, principalmente, do escoamento superficial não foi registrado; água esta que entretanto, não seria utilizada pelos pequenos aproveitamentos de recursos hídricos com reduzida reservação. Os segmentos do fluviograma de maior interesse à avaliação de disponibilidade hídrica natural estão no trecho de curva de permanência compreendido entre 40% e 95% do tempo.

Nestas condições, o procedimento de monitoramento das pequenas bacias a baixo custo, com o uso das calhas, permite um conhecimento suficiente de suas disponibilidades hídricas, assim como facilita o estabelecimento de um banco de dados para estudos de novas metodologias de avaliação hidrológica.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através do monitoramento hidrológico estabelecido com a rede experimental de pequenas bacias, conclui-se que a utilização de estruturas hidráulicas do tipo Parshall pode representar procedimento adequado para a avaliação das

potencialidades hídricas, de pequenas bacias, em regiões com carência de dados necessários aos estudos de viabilidade econômica de pequenos aproveitamentos de recursos hídricos.

Os argumentos para a implementação deste tipo de monitoramento alternativo são:

- a possibilidade de monitoramento de disponibilidades hídricas (vazões medianas e mínimas) com registros em intervalos de tempo diário, mesmo para pequenas bacias com a magnitude das da rede estabelecida (de 1 a 11 km²), evitando-se portanto, o uso de limnógrafos, sua operação e manutenção de alto custo.
- a robustez da estrutura hidráulica, que a protege contra depredações,
- a facilidade de medições de vazões com o micro-molinete hidrométrico, em seções retangulares de leito fixo, como as do seu canal de aproximação. Nestas estruturas uma medição de descargas pode ser executada por uma pessoa em apenas trinta minutos.
- ao baixo custo da informação, consequência do baixo custo de construção das calhas e da facilidade de obtenção dos dados. Os níveis são obtidos pelas leituras das réguas limimétricas, através de um observador local, e a vazão, pela respectiva curva de descargas. Sem contabilizar os custos variáveis (transporte de material e deslocamento de pessoal) o custo médio para a construção da calha, segundo Martini (1997), fica em cerca de R\$ 250 (material e mão de obra).

Ao analisar-se o inventário das estações fluviométricas DNAEE (1991), constata-se o reduzido número de postos fluviométricos em pequenas bacias hidrográficas em grande parte do país. Assim, a forma de monitoramento proposto, pode ser uma das alternativas para suprir tais carências.

No caso específico do Rio Grande do Sul, o monitoramento alternativo das potencialidades hídricas fluviais de pequenas bacias é mais conveniente ainda, pois existem mais de 200 calhas já construídas pelo Programa Estadual de Controle dos Borrachudos. Estas calhas possibilitam desenvolver-se o monitoramento continuado.

Esta avaliação comprovada pelo monitoramento exercido nas calhas, proporciona a possibilidade de inventariar-se as potencialidades hídricas de uma pequena bacia e projetar o estabelecimento de uma estação fluviométrica completa. A construção de um calha complementada com a implantação de réguas de registro de níveis máximos ocorridos, permite registrar o fluviograma completo para a pequena bacia. As vazões medianas e mínimas registradas nas calhas, permitem avaliar as disponibilidades hídricas para consumo.

Por fim, considerando a forma de monitoramento hidrológica proposta como tecnicamente viável, pode-se complementá-la com a avaliação de parâmetros da qualidade das águas, para a rede atualmente estabelecida no Rio Grande do Sul, reforçada pelo fato de que a maioria das calhas existentes pertencem à mata atlântica brasileira, zona de preservação ambiental permanente.

REFERÊNCIAS

- ALFARO, J. F. 1974. Medidas de Águas en Canales por Medio del Aforador "Sin Cuello". In: Simpósio Internacional de Irrigação, 1., 1974, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre: UFRGS. p. 459-529.
- BORDAS, M. P., TUCCI, C. E. M., SILVEIRA, R. L., SEMMELMAN, F. R. & D'AMICO, J. J. 1981. Regime Hidrológico e sedimentológico dos cursos d'água da encosta meridional do derrame basáltico sul-americano: Bacia representativa do rio Forqueta (RS). In: Simpósio Brasileiro em Hidrologia e Recursos Hídricos, 4, 1981, Fortaleza. *Anais*. São Paulo: ABRH, vol. 1, p.160-75.
- BORDAS, M. P., LANNA, A. E., LUCA, S. J. 1990. Projeto Potiribu: *avaliação e controle dos impactos da agricultura sobre os recursos hídricos do derrame basáltico sulamericano*. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência, 42, 1990, Porto Alegre. 2f.
- BOSS, G. B., REPLOGLE, J. A., CLEMMENS, A. J. 1984. *Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems*. New York: John Wiley. 315p.
- CANALI, G. E. 1981. *Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais*. Porto Alegre: UFRGS Curso de Pós-Graduação em Hidrologia Aplicada. 234f. Dissertação (Mestrado).
- CARLESSO, R. 1988. Calha Medidora de Vazões. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 41, n. 382, p. 24-26, nov./dez.
- CHEVALLIER, P. 1988. *Complexité hydrologique du petit bassin versant*. Exemple en savane humide Booro-Boroton (Côte d'Ivoire). Montpellier: Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 331 p. Thèse (Doctorat).
- DNAEE. 1991. *Inventário das estações fluviométricas*. Brasília. Não paginado.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. 1995. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. Rio de Janeiro: ABES. 720p
- MARDINI, L. B. 1997. *Medidores fixos de vazão em pequenas bacias rurais para utilização de larvicida*. (Porto Alegre): Programa Estadual de Controle dos Simulídeos no Rio Grande do Sul Brasil. Palestra a ser proferida no curso "La Biología e el control de los Mosquitos" na Universidade da Florida, Vero Beach, EUA, de 27/10 a 07/11/1997.
- SILVEIRA, G. L. 1982. *Erosão do solo na região da encosta do planalto no Estado do Rio Grande do Sul: representatividade dos parâmetros de chuva e influência da área cultivada, da declividade e do uso do solo na produção de sedimentos*. Porto Alegre: UFRGS - Curso de pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 151 f. Dissertação (Mestrado).
- SILVEIRA, G. L. 1992. *Estudos hidrológicos para dosificação do Bacillus thuringiensis israelensis no combate ao Simulídeo: relatório parcial da pesquisa*. Santa Maria, UFSM.
- SILVEIRA, G. L. 1995. Informações hidrológicas em pequenas bacias hidrográficas rurais. *A Água em Revista*, Belo Horizonte, v. 3, n. 4, p. 31-39, fev.
- SILVEIRA, G. L. 1997. *Quantificação de vazão em pequenas bacias carentes de dados*. Porto Alegre: UFRGS - Curso de pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 180 f. Tese de Doutorado

- SILVEIRA, G. L., & CLARKE, R. T. 1994. *Representatividade dos dados monitorados em pequenas bacias com medidores fixos de vazão*. Relatório de estudo especial do programa de pós graduação do IPH/UFRGS.
- SILVEIRA, R. L., (coord.), 1985. *Projeto Simulídeo* – IPH: relatório parcial. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Não paginado.
- SOUZA, M. A., MARDINI, L. F., GOMES, E. & SILVEIRA, G. L. 1994. Evolução do controle biológico de Simulídeos através do *Bacillus thuringiensis israelensis* no Rio Grande do Sul, Brasil. In: Seminário Qualidade de Águas Continentais no Mercosul, 1, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre: ABRH. P. 261-278.

Monitoring Small Basins for Estimating the Available Water Resource

ABSTRACT

Knowledge of the available water resource in small drainage basins is a pre-requisite for (i) small developments which exploit the resource; (ii) safeguarding the environment; and (iii) providing an information base for decisions concerning the grant of permits to use water. The absence of data from small streams gives rise to much uncertainty in the evaluation of such resources. The monitoring proposed in this paper makes use of fixed hydraulic structures (Parshall flumes) and daily observation of water-level. To evaluate this alternative, an experimental network was used consisting of 12 small basins ranging in area from 1 to 11 km², in the State of Rio Grande do Sul. These were monitored for a period of two to three years. For the estimation of median and low flows, the results are promising. Flood flows, which overtop the flumes, cannot be recorded because of the limited interval of flow monitoring. However, high flows represent on average less than 20% of observed hydrograph, and do not prevent evaluation of the available resource, whether in terms of a flow duration curve or storage-draft-frequency curves. The experimental network proved that such monitoring is a practical, low-cost alternative sufficiently robust for monitoring small basins to be included in water resource management procedures.