

A IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Martha Regina von Borstel Sugai¹, Heinz Dieter Fill¹ e Júlio Gomes¹

Resumo - O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. Para poder atingir estes objetivos, existe a necessidade de se estabelecer um equilíbrio entre as demandas dos vários usuários e de se garantir vazões mínimas para assegurar a preservação da qualidade ambiental. Entretanto, para poder atribuir os direitos de uso aos vários usuários é preciso saber qual a disponibilidade de água para um risco pré-fixado.

Dada a complexidade do ciclo hidrológico, essa disponibilidade só pode ser estimada a partir de longas séries de observações. Essas observações permitem estimar a função de distribuição das vazões naturais, através da sua curva de permanência, ou mediante o ajuste de um modelo estatístico apropriado, determinar vazões mínimas de uma dada duração em função do seu tempo de retorno (e.g. vazão de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno= $Q_{10,7}$). Ambas as abordagens são largamente utilizadas para associar a um dado risco uma vazão garantida no aproveitamento a fio de água de recursos hídricos. Frequentemente, contudo, por não se dispor de um monitoramento na própria bacia de interesse, extrapolam-se observações de bacias similares mediante técnicas de regionalização.

Este trabalho, para mostrar a importância de uma rede densa de estações hidrométricas na definição de vazões mínimas, compara, para bacias hidrográficas paranaenses, as estimativas da vazão $Q_{10,7}$ e das vazões de 95% e 99% de permanência obtidas por regionalização com aquelas obtidas usando somente dados locais.

As comparações efetuadas mostram diferenças bastante grandes entre bacias próximas, bem como entre valores regionais e locais. Por outro lado, é preciso considerar-se que muitas captações estão localizadas em rios de pequeno porte, sem nenhum monitoramento, nos quais as vazões específicas de estiagem tendem a ser menores, em função das estiagens abrangerem toda a sua bacia e da pequena extensão dos aquíferos alimentadores.

1 - INTRODUÇÃO

O presente artigo procura mostrar como o sistema de outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, recentemente instituído pela Lei nº 9433, depende fortemente de uma boa e extensa rede de postos de observação fluviométrica em todo território nacional, sob pena de graves erros de avaliação da disponibilidade hídrica dos rios. Esses erros podem comprometer seriamente a credibilidade do sistema e gerar conflitos insolúveis entre usuários. Atualmente, a rede de estações fluviométricas concentra-se em rios de médio e grande porte. Com a implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos será necessário ampliar essa rede e operar um grande número de estações em rios menores (área de drenagem < 500 km²) onde certamente teremos um número expressivo de usuários. Essas estações deverão operar dentro de padrões de qualidade com curvas de descarga bem definidas para proporcionar dados adequados à definição do volume de água a ser outorgado. Paralelamente, estudos e pesquisas de regionalização hidrológica serão necessários para transferir a informação disponível nos postos para os locais de captação de vazão.

2 - GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS: OUTORGA

A Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, definindo cinco instrumentos básicos para o gerenciamento dos recursos hídricos:

- I. os Planos de Recursos Hídricos;
- II. enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III. a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos;
- IV. a cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- V. Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

No artigo 11 da referida Lei são apresentados os objetivos do regime de outorga e que são: assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

Para atingir estes objetivos, existe a necessidade de se estabelecer o equilíbrio entre as de-

¹ Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza - CEHPAR, Convênio COPEL/UFPR, Caixa Postal 1309, CEP 80001-970, Curitiba-PR, fone (041) 366-2020 ramal 6311, fax (041) 266-2935, e-mail:martha@cch.copel.br, fill@cch.copel.br, julio@cch.copel.br.

mandas e prioridades dos vários usuários e a garantia de vazões mínimas para assegurar a preservação da qualidade ambiental. Portanto, para poder definir claramente os direitos de uso de vários usuários, é preciso saber qual a disponibilidade de água para cada risco pré-fixado.

Essa disponibilidade de água, que define o tamanho do bolo que poderá ser dividido entre os diversos usuários, será usada pelo poder outorgante (Governo Federal, Estadual ou do Distrito Federal) para examinar os pedidos de outorga e verificar se há ou não água suficiente para atender o pedido, tanto sob o ponto de vista de quantidade como de qualidade (Kelman, 1997). Uma vez definida a outorga, esta garante o acesso dos usuários à água, cada um sabendo qual o tamanho e qual o risco de indisponibilidade de sua fatia do bolo.

Neste contexto, destaca-se que erros na definição da disponibilidade de água, devido à inadequação dos dados ou dos modelos usados, pode, no caso de superestimativas, levar a cortes frequentes de uso da água, trazendo prejuízos significativos aos usuários (empresas de abastecimento de água, indústrias, irrigantes, etc...) e comprometer a credibilidade do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Por outro lado, se a disponibilidade de água for subestimada, podem ser inibidos investimentos econômicos significativos e importantes para a região.

3 - AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Como já foi mencionado, para tornar o sistema de outorga dos direitos de uso da água eficiente é necessário conhecer a distribuição temporal e espacial da água na bacia hidrográfica correspondente. Em geral, a distribuição temporal é tratada separadamente da distribuição espacial, analisando-se aquela em várias seções fixas dos rios e se for necessário interpolando-se os resultados entre essas seções.

3.1 - Critérios para avaliação

Uma metodologia bastante difundida em hidrologia para se definir a disponibilidade de água em função do risco em um dado local é a chamada curva de permanência de vazões, que relaciona cada vazão à frequência com que foi igualada ou superada ao longo de um período de tempo fixo, em geral igual ao período de observação das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Em muitos projetos tais como: abastecimento de água, irrigação e energia elétrica; apenas a distribuição das vazões de estiagem, isto é, das menores vazões em cada ano é importante. Neste caso, a vazão mínima anual é associada a um tempo de retorno preestabelecido. Deve se atentar ao fato de que são utilizadas apenas as menores médias móveis de uma dada duração em cada ano, obtendo-se uma série de valores de dimensão igual ao número de anos de observação. À essa série ajusta-se uma distribuição de probabilidades para obter uma relação entre vazão mínima e tempo de retorno. Um indicador de vazões mínimas desta categoria muito utilizado no meio técnico é a chamada $Q_{10,7}$, ou seja, a vazão mínima anual de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno. Evidentemente poder-se-ia aplicar no caso de vazões de estiagem também a técnica de análise de séries parciais, contudo este método não é muito difundido no meio técnico brasileiro. É importante ressaltar que o método de curva de permanência utiliza todas as vazões disponíveis em um local, enquanto o método de análise de vazões mínimas usa apenas as menores de cada ano.

Os resultados também devem ser interpretados diferentemente, enquanto a curva de permanência fornece a probabilidade marginal da vazão média em um dia qualquer ser inferior (ou superior) a um dado valor, a análise de vazões mínimas fornece a probabilidade de que a menor vazão média para uma determinada duração em um ano qualquer seja inferior a um dado valor.

3.2 - Estimativas locais

Quando se dispõe, no local de interesse ou próximo a ele, de uma estação fluviométrica de boa qualidade, a avaliação da disponibilidade hídrica pode ser realizada, usando-se apenas as observações nesta estação. Neste caso se diz que as estimativas, seja da curva de permanência, seja da distribuição das vazões mínimas anuais, são estimativas locais. Esta metodologia conduz a resultados satisfatórios e é largamente empregada na prática se: (1) existe uma estação fluviométrica no local e (2) esta estação dispõe de um período de observação razoavelmente longo (> 25 anos) e tem uma curva de descarga bem definida. Se o período de observação for apenas da ordem de 10 anos ou menor, devido a existência de flutuações de baixa frequência no regime hidrológico dos rios (isto é, às vezes temos períodos de 10 anos ou mais de vazões relativamente baixas e outros períodos dessa mesma magnitude com vazões acima da média), existe um risco considerável de que a disponibilidade da água na prática seja subdimensionada ou superdimensionada. Neste caso, o uso de estimativas locais de vazões mínimas pode conduzir a erros consideráveis.

Outra fonte comum de erros na avaliação de vazões mínimas é a extrapolação inferior da curva de descarga que é problemática devido ao caráter não linear da relação cota-descarga.

3.3 - Métodos de regionalização

Nos casos de escassez de dados observados nos locais de interesse, existe a possibilidade de utilizar técnicas de regionalização para: (1) obter estimativas da curva de permanência ou das vazões de estiagem em locais sem observação ou (2) melhorar a qualidade dessas estimativas em locais de poucos dados (Stedinger *et al*, 1993). Foi desenvolvido no Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza – CEHPAR um modelo de regionalização hidrológica que permite obter curvas de permanência e vazões de estiagem para o estado do Paraná (Kaviski e Krüger, 1995) e que será citado como modelo HG77. Entretanto, esse modelo baseia-se nas observações em postos fluviométricos dos quais 98% apresentam área de drenagem superior a 100 km² e portanto a validade dos resultados para áreas menores pode ser questionada. Outros métodos de regionalização para vazões mínimas baseados em técnicas de regressão foram propostos por Thomus e Benson (1970) e, mais recentemente, por Tasker (1989) e Vogel e Kroll (1990).

A regionalização atua tanto na redução do erro amostral (usando mais informações), como também na diluição de erros na curva de descarga (ponderando a informação local com dados de estações vizinhas). Por outro lado, a regionalização tende a disfarçar eventuais particularidades locais não captadas pelo modelo regional.

4 - ANÁLISE DE CASO

Para ilustrar como o emprego de técnicas tradicionais de estimativas de vazões mínimas pode levar a incertezas consideráveis na avaliação da disponibilidade de água, apresenta-se um estudo de caso no estado do Paraná.

4.1 – Dados utilizados

A Tabela 1 apresenta as estações utilizadas no estudo e que estão localizadas ao longo dos rios Ivaí e Piquiri ou em alguns de seus afluentes.

Tabela 1 - Estações fluviométricas utilizadas no presente estudo

Código	Estação	Rio	Área (km ²)	Período
64620000	Rio dos Patos	dos Patos	1086	1930-1992
64625000	Tereza Cristina	Ivaí	3572	1956-1992
64652000	Porto Monteiro	Alonso	2620	1974-1993
64659000	Barbosa Ferraz	Corumbataí	3294	1974-1992
64673000	Quinta do Sol	Mourão	1534	1974-1992
64680000	Jussara	Ligeiro	727	1976-1992
64682000	Japurá	dos Índios	807	1977-1992
64765000	Porto Paiquerê	Piquiri	3270	1971-1983
64773000	Ponte Leôncio Primo	Cantu	736	1978-1992
64775000	Balsa do Cantu	Cantu	2513	1967-1992
64785000	Ponte do Goio Bang	Goio Bang	1350	1967-1992
64810000	Balsa do Goio-erê	Goio-erê	2424	1963-1992
64815000	Fazenda Uberaba	Goio-erê	2941	1978-1992

4.2 - Dados locais

A Tabela 2 apresenta as vazões específicas com 95% e 99% de permanência e a vazão específica de estiagem $q_{10,7}$ para as 13 estações analisadas no presente estudo, obtidas a partir de dados locais apenas.

As vazões $q_{10,7}$ foram obtidas normalizando-se as vazões de estiagem de 7, 15, 21, 30, 45, 60, 90, 120, 150 e 180 dias de duração, agrupando-se os valores em uma série única, conforme proposto por Gomide (1970), e ajustando-se à essa série a distribuição de Weibull. A distribuição de Weibull, além de ser uma distribuição tradicional na análise de vazões mínimas (Benjamin e Cornell, 1970), é a distribuição de melhor ajuste para vazões de estiagem no estado do Paraná (Sant'Ana *et al.*, 1989). No presente estudo, os parâmetros da distribuição foram obtidos pelo método dos momentos.

As vazões $q_{95\%}$ e $q_{99\%}$ foram obtidas a partir da curva de permanência empírica, obtida pela classificação em ordem crescente das vazões médias diárias observadas, adotando-se os valores correspondentes à frequência relativa acumulada de 95% e 99%.

Tabela 2 - Valores de $q_{95\%}$, $q_{99\%}$ e $q_{10,7}$ obtidos a partir da análise com dados locais

Código	$q_{95\%}$	$q_{99\%}$	$q_{10,7}$
--------	------------	------------	------------

da Estação	(l/s/km ²)	(l/s/km ²)	(l/s/km ²)
64620000	2,60	1,01	1,36
64625000	2,31	1,50	1,31
64652000	1,23	0,25	1,02
64659000	1,21	0,24	0,49
64673000	6,81	4,71	4,66
64680000	8,52	7,07	7,08
64682000	10,09	8,65	8,45
64765000	3,75	2,23	1,51
64773000	0,77	0,16	0,53
64775000	2,71	1,77	1,57
64785000	5,92	4,48	4,21
64810000	7,98	6,92	6,61
64815000	8,61	7,59	7,14
Média	4,81	3,58	3,53
Desvio padrão	3,29	3,12	2,93
CV	0,69	0,87	0,83

4.3 - Regionalização

A Tabela 3 apresenta as vazões específicas com 95% e 99% de permanência e a vazão específica de estiagem $q_{10,7}$ para as 13 estações analisadas no presente estudo, obtidas a partir da regionalização pelo modelo HG77.

Nas estimativas regionais da vazão $q_{10,7}$ utilizou-se igualmente a distribuição de Weibull, mas estimando-se os seus parâmetros por regressão regional através do modelo HG77.

Para as vazões $q_{95\%}$ e $q_{99\%}$, dois tipos de estimativas regionais foram obtidas: (1) utilizando-se o modelo teórico (paramétrico) de curva de permanência de melhor ajuste e (2) utilizando-se um único modelo teórico de curva de permanência (no caso Weibull) para todas as estações.

Tabela 3 - Valores de $q_{95\%}$, $q_{99\%}$ e $q_{10,7}$ obtidos a partir da regionalização

Código da Estação	Melhor ajuste		Weibull		$q_{10,7}$ (l/s/km ²)
	$q_{95\%}$ (l/s/km ²)	$q_{99\%}$ (l/s/km ²)	$q_{95\%}$ (l/s/km ²)	$q_{99\%}$ (l/s/km ²)	
64620000	0,62	0,12	3,12	2,90	1,20
64625000	0,57	0,11	2,40	2,20	0,81
64652000	0,00	0,00	1,19	1,11	0,59
64659000	3,91	3,28	4,60	4,38	1,47
64673000	4,37	4,14	4,37	4,14	3,24
64680000	6,31	5,98	6,31	5,98	3,94
64682000	6,08	5,71	6,08	5,71	4,09
64765000	1,02	0,38	2,60	2,52	0,72
64773000	1,90	1,35	3,10	3,04	0,94
64775000	1,85	1,31	3,02	2,96	0,82
64785000	4,94	4,76	4,94	4,76	3,50
64810000	0,67	0,16	4,64	4,40	4,32
64815000	0,57	0,12	4,72	4,50	4,17
Média	2,52	2,11	3,93	3,74	2,29
Desvio padrão	2,28	2,32	1,50	1,42	1,56
CV	0,90	1,10	0,38	0,38	0,68

4.4 - Comparação dos resultados

Observa-se inicialmente que, como era de se esperar, a regionalização reduziu a dispersão entre os valores de $q_{10,7}$ (o coeficiente de variação CV passou de 0,83 para 0,68) e, principalmente, contribuiu para corrigir os valores mais extremos como é o caso das estações Japurá, Jussara, Fazenda Uberaba e Balsa do Goio-erê. No caso de estações com curva de descarga bem definida e longo período de observação, como é o caso de Rio dos Patos, as diferenças foram pouco significativas.

A mesma observação vale para regionalização das curvas de permanência quando se utilizou o mesmo modelo teórico para todas as estações (o CV passou de 0,68 para 0,38 no caso de $q_{95\%}$ e de 0,87 para 0,38 no caso de $q_{99\%}$). Quando adotou-se o modelo teórico de melhor ajuste, o que im-

plica em modelos diferentes para as várias estações, a dispersão aumentou consideravelmente (o CV passou de 0,68 para 0,90 no caso de $q_{95\%}$ e de 0,87 para 1,10 no caso de $q_{99\%}$).

Por outro lado, as diferenças relativas entre as estimativas locais e regionais, no caso de $q_{10,7}$, variaram entre 12% e 66% com uma tendenciosidade para os valores regionais fornecerem estimativas mais conservadoras. Na média, os valores regionais foram 35% inferiores aos valores locais.

Em relação às vazões $q_{95\%}$ e $q_{99\%}$, estas diferenças foram em média bem maiores. Para o caso de se utilizar o mesmo modelo teórico (distribuição de Weibull) para todas as estações, as diferenças resultaram entre 3% e 75% para $q_{95\%}$ e entre 6% e 95% para $q_{99\%}$. No caso de se adotar o modelo teórico de melhor ajuste, estas diferenças resultaram entre 16% e 100% para $q_{95\%}$ e entre 6% e 100% para $q_{99\%}$.

Perceber-se que na estimativa de vazões mínimas do tipo $q_{10,7}$, a regionalização pode oferecer ganhos, enquanto que a regionalização de curvas de permanência pode resultar em valores bastante discutíveis em função das diferenças entre as estimativas locais e regionais para os quantis $q_{95\%}$ e $q_{99\%}$.

Entretanto, mesmo no caso de $q_{10,7}$, existe o perigo das estimativas regionais mascararem particularidades locais. Portanto, a decisão sobre o emprego de séries locais ou regionais em um local em particular depende muito da experiência pessoal do Hidrólogo e de seu conhecimento das características das estações fluviométricas envolvidas.

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelo caso exemplo apresentado, percebe-se que a estimativa de vazões de estiagem e, particularmente, das curvas de permanência, através de técnicas de regionalização, apresenta uma série de incertezas e pode-se dizer que o erro de estimativa com os modelos atualmente disponíveis é relativamente grande. Thomas e Benson (1970) já chegaram a conclusão semelhante indicando para o erro do estimador regional $q_{10,7}$, valores superiores a 100%. Stedinger et al. (1993) confirmam a fraca performance dos estimadores regionais de vazão de estiagem.

Espera-se que novas pesquisas no desenvolvimento de melhores modelos de regionalização possam aumentar a precisão dos resultados. Destaca-se que uma maior disponibilidade de dados de campo, através da ampliação da rede hidrométrica existente, permitirá melhores estimativas ao possibilitar a definição de regiões mais homogêneas.

Finalmente, para melhorar a qualidade da curva de descarga no seu ramo inferior é essencial a realização de um grande número de medições diretas de vazão para a condição de baixas vazões.

Portanto, para que o sistema de outorga e cobrança dos direitos de uso da água possa funcionar adequadamente, é necessário investir pesadamente na ampliação e operação da rede de estações fluviométricas e na pesquisa e desenvolvimento tecnológico de melhores modelos de regionalização para vazões de estiagem

6 - REFERÊNCIAS

- Benjamin, J. R., Cornell, C. A. (1970). Probability, statistics and decision for civil engineers. Mc-Graw Hill. 684 p.
- Gomide, F. L. S. (1970). Contribuição ao estudo de períodos de estiagem. In: Congresso Latinoamericano de Hidráulica (4.: 1970 : Oaxtepec Morelos). Anales. Oaxtepec Morelos : IAHR. v.2, pp. 25-36.
- Kaviski, E., Krüger, C. M. (1995). Projeto HG-77. Regionalização de vazões em pequenas bacias hidrográficas do estado do Paraná : relatórios técnicos nº1 e nº2. Curitiba : CEHPAR.
- Kelman, J. (1997). Gerenciamento de recursos hídricos : parte I : outorga. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (12.: 1997 : Vitória). Anais. Vitória : ABRH. v. 1, pp 123-128.
- Sant'Ana, R. F. et al. (1989). Projeto HG-52. Aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte : regionalização de vazões de estiagem, de curvas de permanência e de vazões máximas de pequenas bacias hidrográficas do estado do Paraná : volumes I a IV. Curitiba : CEHPAR
- Stedinger, J. R. et al. (1993). Frequency analysis of extreme events. In: Maidment, D. J. (Ed.). Handbook of hydrology. New York : McGraw-Hill. Cap. 18.
- Thomas, D. M., Benson, M. A. (1970). Generalization of streamflow characteristics from drainage-basin characteristics. Water supply paper 1975. U. S. Geological Survey.
- Vogel, R. M., Kroll, C. N. (1990). Generalized low-flow frequency relationships for ungauged sites in Massachusetts. Water resources bulletin, vol. 26, nº 2, pp. 241-253.