

ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS COM ESCASSEZ DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Pétrick Anderson Soares¹, Adilson Pinheiro², Karine Heil Soares³ e Evelyn Zucco⁴

Resumo: A determinação da disponibilidade hídrica em bacias com escassez de dados fluviométricos foi estudada em pequenas bacias hidrográficas. O modelo hidrológico WIN_IPH2 foi usado para simular o processo de transformação da precipitação em vazão. O modelo é calibrado com séries curtas de vazões e, posteriormente, é realizada a extensão da série de vazão a partir de séries longas de precipitação. Com as séries das vazões estendidas foram estabelecidas as curvas de permanência. Os resultados encontrados foram comparados com aqueles obtidos no estudo de regionalização de vazões realizado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado de Santa Catarina, e com as séries observadas. Os desvios das vazões de permanência observada em relação aquelas obtidas através da regionalização variaram entre 0,7 e 94,1%. Os menores desvios foram obtidos na bacia com maior área de drenagem (509,9 km²). Em contrapartida, os desvios entre as vazões de permanência observadas e simuladas foram inferiores a 44,6%. Constatou-se que para bacias com pequenas áreas de drenagem, as estimativas das vazões de permanência simuladas são mais precisas do que aquelas obtidas através da regionalização.

Palavras-chave: Disponibilidade hídrica. Modelização hidrológica. Gestão de recursos hídricos.

1 Introdução

A disponibilidade hídrica natural em uma bacia hidrográfica pode ser representada pelas vazões médias e mínimas, sendo o conhecimento destas de grande importância para um adequado planejamento do uso e da gestão compartilhada dos recursos hídricos, minimizando assim os conflitos entre os diversos usuários (NOVAES, 2005). Gerir recursos hídricos é uma necessidade premente e que tem o objetivo de ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais por água em níveis sustentáveis, de modo a permitir, sem conflitos, a convivência de seus usos atuais e futuros.

Um dos mecanismos da gestão de recursos hídricos é a outorga do direito de uso, instituída pela Lei Federal nº 9.433 (BRASIL, 1997). No processo de outorga deve haver estudos referentes ao balanço entre disponibilidade e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais (BRASIL, 1997).

A disponibilidade hídrica é a vazão que pode ser utilizada nas diversas atividades de consumo e desenvolvimento da sociedade, sem que para isto ocorra o comprometimento da demanda ecológica (CRUZ; TUCCI, 2008; CRUZ; SILVEIRA, 2007^a; MILHOUS, 1998). Considerando a variabilidade dos estoques de água na natureza, ora com ocorrências em excesso, ora em regimes de escassez, o confronto com as demandas deve ser feito para as condições de eventos mínimos, como forma de assegurar um atendimento pleno em grande parte do tempo (NOVAES, 2005). Contudo, o processo de outorga pelo uso da água só é viável se existirem dados de disponibilidade hídrica nos cursos de água.

Segundo Cruz e Tucci (2008), o hidrograma, a curva de permanência, a curva de probabilidade de vazões médias e mínimas, são algumas das ferramentas para determinar a disponibilidade hídrica em uma bacia. A metodologia mais empregada é a curva de permanência, que representa a disponibilidade hídrica em função da frequência de ocorrência (CRUZ; SILVEIRA,

¹E-mail: petrickps@gmail.com

²E-mail: pinheiro@furb.br
FURB – Universidade Regional de Blumenau. Campus II – Complexo Tecnológico. Rua São Paulo, 3250 – Itoupava Seca. 89030-000. Blumenau-SC.

³E-mail: karine.hs@bol.com.br

⁴E-mail: evelynzucco@gmail.com

2007b). A curva de permanência relaciona a vazão, ou nível de um rio, e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada, em um período histórico definido (TUCCI, 2004). Esta curva pode ser estabelecida com base em valores diários, semanais ou mensais. A função da curva de permanência é tratada estatisticamente, admitindo intervalos de confiança para determinação da permanência das vazões nos anos secos e úmidos, podendo ser determinada para cada mês, ano ou período de monitoramento, visando a caracterização da sazonalidade (CRUZ; SILVEIRA, 2007^a). Para Cruz e Tucci (2008), a curva de permanência não se refere à probabilidade das vazões em qualquer ano, mas sim, uma “garantia” de ocorrência das vazões num horizonte de planejamento.

O desenvolvimento de estudos para quantificação de disponibilidade hídrica é limitado pela ausência de dados fluviométricos em pequenos rios, pois a rede hidrometeorológica do Brasil atende principalmente as grandes bacias hidrográficas, geralmente superiores a 300 km² (BLANCO; SECRETAN; FAVRE, 2007). A escassez de dados para estudos em hidrologia e recursos hídricos, devido a não disponibilidade temporal e espacial de informações, levou à busca de formas de transferências dos dados conhecidos de um local para outro, dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. Uma das técnicas de transferência de informações comumente utilizada é a regionalização hidrológica (FROES; NUNES; COELHO 1997; MULLER; MAZER; KAVISKI 1999; EUCLYDES et al., 2001; CRUZ, 2001; AZEVEDO, 2004; CHAVES et al., 2002; AGRA et al., 2003; NOVAES, 2005). A regionalização consiste na extrapolação de parâmetros ou variáveis hidrológicas para regiões sem ou com poucos dados disponíveis (TUCCI, 2002).

Os estudos de regionalização hidrológica são definidos a partir de dados de grandes bacias, não sendo recomendada a aplicação fora dos limites estabelecidos pelas equações regionais e, principalmente, para as bacias consideradas pequenas (SILVEIRA; TUCCI, 1998). Silveira G., Tucci e Silveira, A. (1998) descrevem que estas restrições se devem, principalmente, às diferenças entre as escalas espaciais e temporais dos mecanismos de transformação chuva-vazão nas pequenas e grandes bacias, além das dificuldades de caracterização de regiões homogêneas

devido às especificidades locais do meio físico.

Este trabalho tem por objetivo determinar a disponibilidade hídrica, para condições de vazões mínimas e médias, em pequenas bacias hidrográficas localizadas no estado de Santa Catarina, que apresentam séries históricas de vazões curtas, através da determinação das curvas de permanência.

2 Material e métodos

Cinco pequenas bacias hidrográficas que possuem séries históricas de vazões disponíveis foram selecionadas. Todas estão situadas na bacia do rio Itajaí, Santa Catarina, sendo elas a bacia do ribeirão Concórdia (30,7 km²), do ribeirão Garcia (158,0 km²), do rio dos Cedros (509,9 km²), do rio Itajaí Mirim (284,0 km²) e do ribeirão das Pombas (144,0 km²) (Figura 1).

Em duas bacias, a série histórica de vazões diárias foi interrompida devido à desativação das estações fluviométricas, uma bacia apresenta série de observação efetivamente curta e duas apresentam séries longas, cujas estações estão em funcionamento.

Para se obter as curvas de permanência, as séries históricas de vazão curtas foram estendidas através de simulação com modelo hidrológico de transformação de precipitação em vazão. A fim de se verificar o desempenho da estimativa das vazões com elevada frequência de permanência, os valores simulados foram comparados com os valores das séries temporais observadas e com aqueles obtidos pelos estudos de regionalização.

Nas estações fluviométricas com séries longas, foram selecionados, de forma aleatória, quatro anos para a calibração dos parâmetros do modelo hidrológico. Com os parâmetros ajustados, foram realizadas as extensões das séries de vazões, a partir das séries longas de precipitações, medidas em uma estação pluviométrica situada no interior ou nas proximidades da bacia.

As séries temporais de dados hidroclimatológicos foram coletadas junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH. Na Tabela 1 encontram-se os períodos de dados coletados, as séries históricas observadas e os códigos das estações utilizadas.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.12, n. 1, p. 29-38, jan./jun. 2010

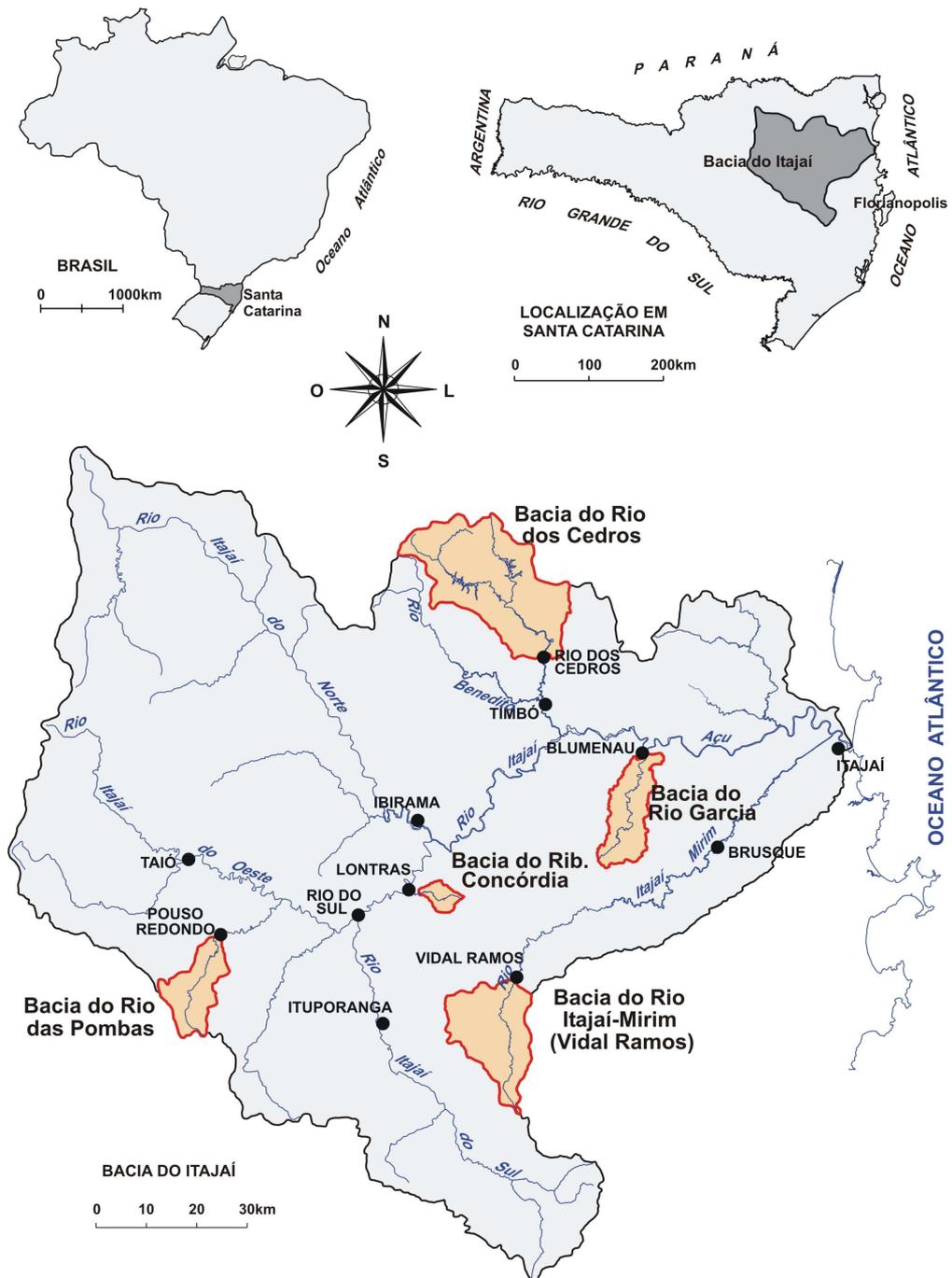


Figura 1 - Bacias estudadas

Tabela 1 – Características das séries

Bacia	Área de drenagem (km ²)	Código da estação	Série histórica observada	Período de Calibração
Ribeirão Concórdia	30,7	*	2006 - 2009	2006 - 2009
Ribeirão Garcia	158,0	83820000	1934 - 1967	1964 - 1966
Rio dos Cedros	509,9	83675000	1929 - 2004	1987 - 1989
Rio Itajaí Mirim	284,0	83892990	1987 - 2006	1988 - 1990
Rio das Pombas	144,0	83060000	1934 - 1966	1941 - 1943

(*) – estação monitorada em projeto de pesquisa

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.12, n. 1, p. 29-38, jan./jun. 2010

Com os dados hidroclimatológicos tratados, foi efetuada a calibração do modelo WIN_IPH2 (BRAVO et al., 2006). Ele simula os processos de transformação da precipitação em vazão e, a comparação dos hidrogramas simulados com os hidrogramas observados. Diversos indicadores de eficiência do modelo podem ser utilizados. Neste trabalho foi utilizado o coeficiente de Nash.

O modelo WIN_IPH2, acopla três modelos, o IPH II (TUCCI, 2006), o algoritmo SCE-UA (DUAN; SOROOSHIAN; GUPTA, 1992) e o algoritmo MOCOM-UA (YAPO; GUPTA; SOROOSHIAN, 1998). O modelo IPH II é do tipo conceitual, concentrado, composto por algoritmos de perdas de evaporação e interceptação, separação do escoamento e propagação dos escoamentos superficiais e subterrâneos (TUCCI, 2006). Os algoritmos permitem a calibração automática dos parâmetros do modelo IPH II.

As séries históricas curtas não permitem de desenvolver a fase de verificação do modelo. Neste caso, foi considerado que as séries são estacionárias

e o ajuste dos parâmetros do modelo obtido no período de calibração pôde ser mantido na geração de vazões. A calibração do modelo seguiu o procedimento do tipo “off-line” que utiliza todos os dados disponíveis (BLANCO; SECRETAN; FAVRE, 2007).

Com a etapa de calibração dos parâmetros do modelo finalizada, foi realizada a extensão das séries de vazões a partir de séries longas de precipitações. Para cada bacia foi adotada uma estação pluviométrica representativa, situada no interior ou nas proximidades da bacia. Foi adotada uma única estação, pois a densidade de estações pluviométrica é baixa, não permitindo o cálculo de séries históricas de precipitações médias diárias para bacias de pequena dimensão. Além da baixa densidade, o número de falhas de precipitações diárias é elevado e algumas foram desativadas ou mesmo ativadas ao longo do tempo. Na Tabela 2 são apresentados os códigos e o período das séries históricas das estações pluviométricas empregadas.

Tabela 2 - Estações pluviométricas utilizadas nos processos de simulação

Bacia	Código da estação	Série Observada
Rib. Concórdia	02749008	1941 - 1980
Rib. Concórdia	02749039	1979 - 2009
Rib. Garcia	02649007	1944 - 2009
Rio dos Cedros	02649008	1941 - 2009
Rio Itajaí Mirim	02749033	1976 - 2009
Rio das Pombas	02749006	1941 - 2009

Com a série histórica de vazão estendida foi construída uma curva de permanência para cada bacia. Foram determinados os valores de vazões com frequências que variam de 5% até 99,999%.

As vazões com frequência de permanência determinadas para as bacias foram comparadas com os valores obtidos junto ao estudo de regionalização de vazões de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2006), e comparadas com as séries históricas observadas. Desta maneira, foram comparadas as duas ferramentas para a determinação da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas.

Para construir a curva de permanência foram utilizados os coeficientes de

multiplicação apresentados em SANTA CATARINA (2006), de acordo com a região homogênea no qual a bacia se encontra. As bacias do ribeirão Concórdia, rio dos Cedros e do rio Itajaí Mirim pertencem a região homogênea X e as bacias do ribeirão Concórdia e rio das Pombas pertencem a região IX (SANTA CATARINA, 2006). As vazões médias de longo termo (Q_{mit} em m^3/s) foram estabelecidas em função da precipitação média anual (P em mm) e da área de drenagem da bacia contribuinte (AD em km^2) conforme a Tabela 3. Partindo-se dos valores absolutos, foram determinadas as vazões médias específicas para as cinco bacias.

Tabela 3 - Equações para determinação da vazão média de longo termo Q_{mlt} (adaptado de SANTA CATARINA, 2006).

Bacia	Equação
Ribeirão Concórdia	$Q_{mlt} = 1,887.10^{-5} \times p^{1,142} \times AD^{0,928}$
Ribeirão Garcia	$Q_{mlt} = 9,393.10^{-4} \times p^{0,362} \times AD^{1,092}$
Rio dos Cedros	$Q_{mlt} = 1,887.10^{-5} \times p^{1,142} \times AD^{0,928}$
Rio Itajaí Mirim	$Q_{mlt} = 9,393.10^{-4} \times p^{0,362} \times AD^{1,092}$
Rio das Pombas	$Q_{mlt} = 2,698.10^{-5} \times p^{0,946} \times AD^{1,049}$

3 Resultados e discussão

A partir das séries históricas de vazão, precipitação e de evapotranspiração, para cada bacia procedeu-se a calibração do modelo. Na calibração do modelo, os parâmetros são ajustados visando obter hidrogramas simulados similares aos hidrogramas observados. O modelo WIN_IPH2 apresenta um algoritmo de otimização dos parâmetros, que foi usado na primeira etapa de calibração. Os valores

finais dos parâmetros foram obtidos através de calibração manual.

A Figura 2 apresenta os hidrogramas observados e simulados para as bacias do ribeirão Garcia e do rio dos Cedros e a Tabela 4, as vazões características obtidas para as cinco bacias. As vazões médias são adequadamente reproduzidas pelo modelo, no entanto, com relação às vazões máximas, a simulação apresenta baixo desempenho e, as vazões mínimas são superiores àquelas observadas.

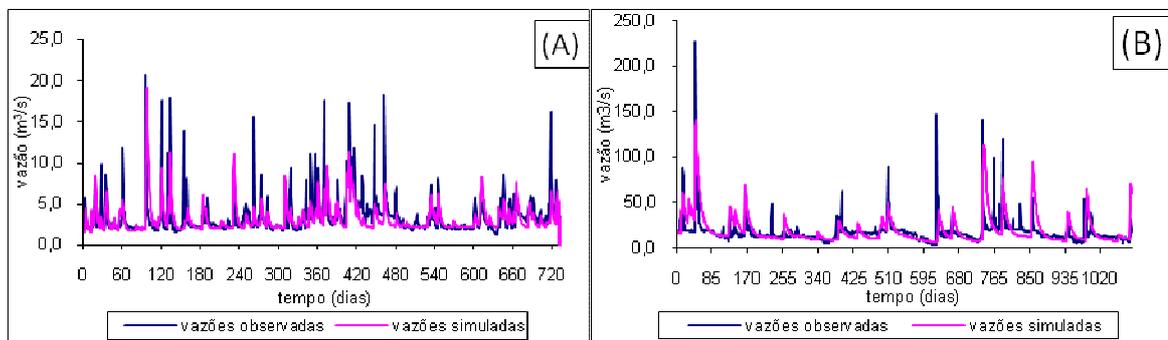


Figura 2 - Vazões observadas e simuladas para o ribeirão Garcia (A) e para o rio dos Cedros (B).

Tabela 4 - Vazões características observadas e simuladas na fase de calibração dos parâmetros do modelo WIN_IPH2 (m^3/s)

Bacia	Vazão mínima		Vazão média		Vazão máxima	
	Observada	Simulada	Observada	Simulada	Observada	Simulada
Rib. Concórdia	0,04	0,03	0,57	0,63	46,19	41,81
Rib. Garcia	1,31	1,48	3,44	3,20	20,60	19,08
Rio dos Cedros	2,70	6,00	16,69	19,48	225,80	140,15
Rio Itajaí Mirim	0,76	1,74	6,94	6,00	101,00	74,14
Rio das Pombas	0,20	0,24	2,39	3,91	61,80	99,81

A Tabela 5 apresenta as vazões médias específicas determinadas para as cinco bacias. Os valores das vazões médias observadas variaram entre $0,017$ e $0,031 m^3 s^{-1} km^{-2}$ e as simuladas variaram entre $0,020$ e $0,038 m^3 s^{-1} km^{-2}$. Isso demonstra que as

vazões médias simuladas foram superiores àquelas observadas. Com o período curto, as vazões médias simuladas não apresentaram comportamento uniforme, mas no período longo, elas foram sempre superiores às observadas, indicando que os

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.12, n. 1, p. 29-38, jan./jun. 2010

parâmetros não se mantiveram estacionários ao longo do tempo. Modificações no uso e ocupação do solo podem afetar os processos hidrológicos, tais como infiltração e evapotranspiração. Vibrans (2003) mostrou

que na bacia do rio Itajaí as modificações na distribuição dos usos e ocupações foram importantes, devido ao aumento da cobertura vegetal nas últimas décadas.

Tabela 5 - Vazão média específica para cada bacia.

Bacia	Área de drenagem (km ²)	Vazão média específica (m ³ s ⁻¹ km ⁻²)			
		Curto período		Longo período	
		Observada	Simulada	Observada	Simulada
Rib. Concórdia	30,7	0,018	0,020	*	0,027
Rib. Garcia	158,0	0,022	0,020	0,022	0,025
Rio dos Cedros	509,9	0,033	0,038	0,031	0,036
Rio Itajaí Mirim	284,0	0,024	0,021	0,025	0,028
Rio das Pombas	144,0	0,017	0,027	0,019	0,029

(*) – a estação de monitoramento não possui dados com série longa

A Figura 3 apresenta a curva de permanência para a bacia do ribeirão Concórdia. São apresentados os resultados da simulação de longo período e os valores obtidos através do estudo de regionalização das vazões desenvolvido para o estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2006). A relação entre as duas curvas foi avaliada através do coeficiente de determinação de Pearson. O valor obtido para o R² foi igual a

0,7886. Ele indica que o modelo explica cerca de 80% da curva de permanência obtida através da regionalização. Na bacia do ribeirão Concórdia a performance foi baixa. Isso pode estar associado à pequena dimensão da bacia e a escala de simulação que foi diária. O tempo de concentração da bacia é da ordem de 2 h. O adequado seria a realização da simulação em escala de tempo mais curto, como o horário.

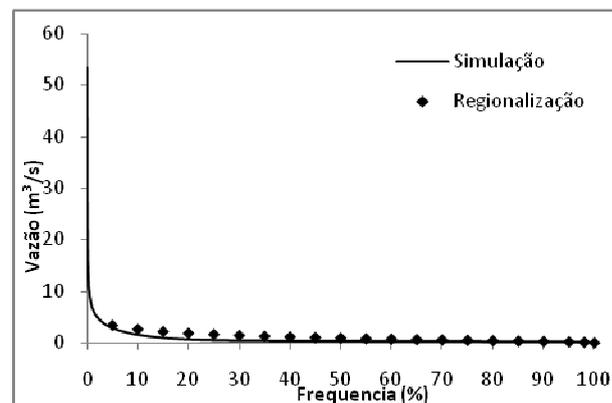


Figura 3 - Curva de permanência simulada e a partir das vazões de regionalização, para o ribeirão Concórdia.

A Figura 4 apresenta as curvas de permanência obtidas com as séries observadas, as séries simuladas e através do estudo de regionalização. A partir dessas curvas, foram avaliadas as correlações das vazões de permanência da série observada com aquelas da série simulada e obtida através da regionalização. As correlações foram avaliadas pelo coeficiente de determinação de Pearson, apresentados na

Tabela 6. A melhor correlação foi obtida para as curvas de permanência observada e simulada na bacia do rio das Pombas, onde o coeficiente de determinação R² foi de 0,9867. Igualmente, para o rio Itajaí Mirim o coeficiente de determinação foi elevado. Por outro lado, a pior correlação também foi obtida entre as curvas de permanência observadas e simuladas na bacia do ribeirão Garcia (R² = 0,8242). A série observada na

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.12, n. 1, p. 29-38, jan./jun. 2010

estação localizada no ribeirão Garcia funcionou apenas no período de 1934 a 1966, ano no qual ela foi desativada. Por conta desse período relativamente curto de dados, mesmo com boa calibração, o coeficiente R^2 obtido entre as curvas de permanência observada e simulada foi o mais baixo.

As variações dos coeficientes de determinação entre as curvas de permanência observadas e da regionalização foram menores. Eles variaram entre 0,9187 e 0,9722. Essa variação foi menor do que aquela obtida entre as curvas de permanência observadas e simuladas. Agra et al. (2003) aplicando a metodologia de regionalização de vazões para estimar a

curva de permanência do rio Carreiro, encontraram o coeficiente R^2 com valor igual a 0,993.

A Tabela 7 apresenta as vazões com permanência de 90, 95 e 98%, com os respectivos desvios em relação aos valores observados. Esses valores de permanência têm sido adotados como vazões de referência, na aplicação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (SILVA et al., 2006; CHAVES et al., 2002; STUART; CAMPOS; COSTA, 1997; BAENA et al., 2004). Para a bacia do ribeirão Concórdia os desvios não foram determinados, pois a série observada disponível é curta.

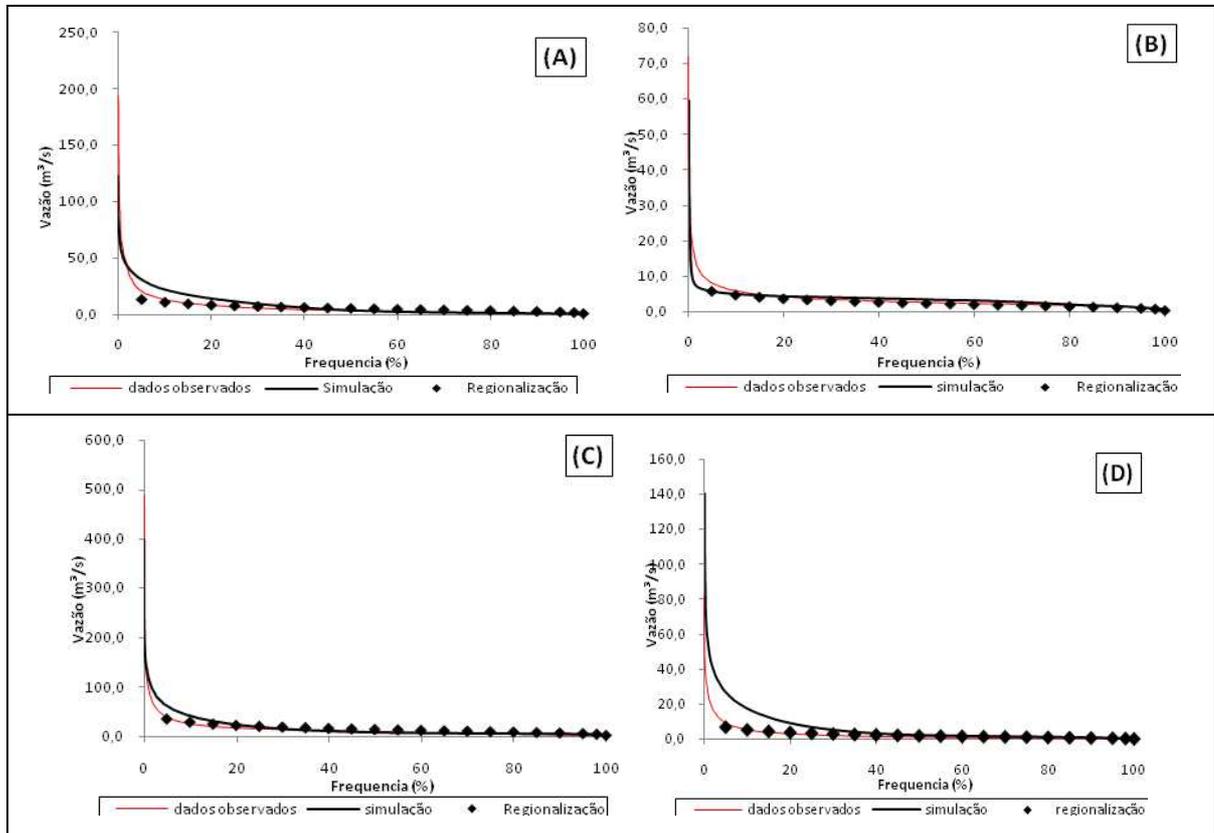


Figura 4 - Curva de permanência observada, simulada e da regionalização, para as bacias do rio Itajaí Mirim (A), ribeirão Garcia (B), rio dos Cedros (C) e rio das Pombas (D).

Tabela 6 - Coeficientes de correlação R^2 obtidos para cada bacia estudada

Bacia	Área da bacia (km ²)	(R^2) Observada e simulada	(R^2) Observada e regionalização
Ribeirão Concórdia	30,7	*	*
Ribeirão Garcia	158,0	0,8242	0,9722
Rio dos Cedros	509,9	0,9358	0,9709
Rio Itajaí Mirim	284,0	0,9863	0,9262
Rio das Pombas	144,0	0,9867	0,9187

(*) – inexistência de série com dados históricos

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.12, n. 1, p. 29-38, jan./jun. 2010

Os desvios das vazões de permanência observadas em relação aquelas obtidas através da regionalização variaram entre 0,7 e 94,1%. Os desvios foram positivos, sendo superior a 88,5% na bacia do ribeirão Garcia e negativos de 81,1% no rio Itajaí Mirim. Nota-se que essas variações podem induzir sérias dificuldades à disponibilização dos recursos hídricos entre os usuários. Os menores desvios foram obtidos na bacia do rio dos Cedros, que

possui a maior área de drenagem (509,9 km²). Em contrapartida, os maiores desvios entre as vazões de permanência observadas e simuladas foram obtidos para essa bacia. Para as outras, os desvios foram inferiores a 34,7%. Isso demonstra que para bacias com pequenas áreas de drenagem, as estimativas das vazões de permanência simuladas são mais precisas do que aquelas obtidas através da regionalização.

Tabela 7 - Vazões mínimas observadas, simuladas e obtidas pela regionalização, e os erros comparativos entre os dois métodos e a série histórica observada.

Bacia	Vazão de permanência	Observada (m ³ /s)	Simulada (m ³ /s)	Desvio (%)	Regionalização (m ³ /s)	Desvio (%)
Rib. Concórdia	Q _{90%}	*	0,318	*	0,344	*
	Q _{95%}	*	0,291	*	0,265	*
	Q _{98%}	*	0,253	*	0,185	*
Rib. Garcia	Q _{90%}	1,360	1,485	9,2	2,639	94,1
	Q _{95%}	1,180	1,048	-11,2	2,209	87,2
	Q _{98%}	0,944	0,770	-18,4	1,780	88,5
Rio dos Cedros	Q _{90%}	4,895	6,201	26,7	4,790	-2,2
	Q _{95%}	4,040	5,657	40,0	4,010	-0,7
	Q _{98%}	3,470	5,016	44,6	3,230	-6,9
Rio Itajaí Mirim	Q _{90%}	1,380	1,272	-7,8	0,243	-82,4
	Q _{95%}	1,080	0,950	-12,0	0,204	-81,1
	Q _{98%}	0,922	0,616	-33,1	0,164	-82,2
Rio das Pombas	Q _{90%}	0,496	0,668	34,7	0,664	33,9
	Q _{95%}	0,360	0,417	15,8	0,511	42,0
	Q _{98%}	0,262	0,239	-8,7	0,358	36,5

(*) – estação não possui dados observados em longo período

Esse aumento da precisão da estimativa das vazões com elevada permanência obtida para pequenas bacias e, com escassez de dados, representado pelas séries históricas curtas, pode ser acrescido a outras vantagens que esse procedimento apresenta. Dois aspectos devem ser destacados. Primeiro, as vazões de permanência permitem a gestão dos recursos hídricos em condições de escoamentos estacionários, no qual um único valor para a seção fluviométrica é considerado. Os modelos de simulação permitem determinar valores distribuídos temporalmente, podendo ser inseridos os efeitos do uso e ocupação do solo sobre a evolução das vazões. Segundo, as curvas de permanência não fornecem informações necessárias para a gestão de volumes de águas, como no caso do uso de reservatórios de regularização. Com os modelos de simulação esse tipo de problema pode ser avaliado de forma adequada. Os parâmetros ajustados para uma bacia com séries curtas de vazões podem ser

transferidos para áreas com características hidrológicas similares.

Em oposição a essas vantagens, deve ser ressaltado os requerimentos técnicos à implementação dos modelos de simulação e do uso dos estudos de regionalização. Esses últimos requerem informações simples, como a área de drenagem e a precipitação total média anual. Os modelos de simulação exigem maior conhecimento técnico-científico para o seu desenvolvimento e aplicação a diferentes condições de bacias hidrográficas. As séries históricas de vazão, mesmo que curtas e, de precipitação, séries longas, devem existir e serem consistentes.

4 Conclusões

A determinação da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas, geralmente, desprovidas de medições de vazões, constitui-se em importante problema na aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos. A superação dessa dificuldade tem sido alcançada pelo uso da

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.12, n. 1, p. 29-38, jan./jun. 2010

regionalização de vazões, as quais são realizadas empregando-se medições efetuadas em médias e grandes áreas de drenagem.

A comparação entre as curvas de permanência observadas com aquelas simuladas e determinadas pelo estudo de regionalização mostrou que a simulação do processo de transformação da precipitação em vazão gera resultados mais precisos em bacias de pequenas dimensões, onde em geral, existe escassez de dados fluviométricos. Para bacias com maior área de drenagem, a precisão na estimativa das vazões de alta frequência de permanência foi maior com o estudo de regionalização. Para

as bacias com áreas de drenagem de 30,7 a 284,0 km², as curvas de permanência obtidas com as simulações apresentaram precisões adequadas, enquanto que as estimativas das vazões com o estudo de regionalização apresentam desvios expressivos. A metodologia apresentada caracteriza uma solução para a avaliação de disponibilidade hídrica quando a regionalização não consegue produzir resultados satisfatórios. Ou mesmo quando a regionalização é capaz de produzir bons resultados, os modelos de simulação permitem inserir os efeitos do uso e ocupação do solo sobre a evolução temporal das vazões.

5 Estimation of available water in small watershed with shortages streamflow data

Abstract: *Water availability determination in basins with limited stream flow data was studied in small watersheds. The WIN_IPH2 hydrological model was used to simulate the process of transformation precipitation into streamflow. The model is calibrated with a short series of stream flows and then long series of rainfall is used to extend the streamflows series. Once the series of flow curves were extended, the permanence curves were established. The results were compared with those obtained in the study of regionalization of flows performed by the State Secretary of Sustainable Economic Development of the Santa Catarina State, and the observed series. Deviations from permanence flow observed from those obtained through regionalization ranged between 0.7 and 94.1%. The smallest deviations were obtained in the basin with greater drainage area (509.9 km²). In contrast, deviations observed between the permanence stream flow and simulated were less than 44.6%. It appears that for basins with small drainage areas, the estimative of permanence flow simulated is more accurate than that obtained through regionalization.*

Key-words: Water availability. Hydrologic modeling. Water resources management.

6 Referências

AGRA, S. G. et al. Metodologias de regionalização de vazões: estudo comparativo na bacia do rio Carreiro – RS. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, 2003, Curitiba. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2003.

AZEVEDO, A. A. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paranã.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

BAENA, L. G. N. et al. Espacialização da Q_{7,10}, Q_{90%} e Q_{95%} visando a gestão dos recursos hídricos: Estudo de caso para a bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Engenharia na Agricultura.** v.12. n.1. p. 24-31. 2004.

BLANCO, C. J. C. SECRETAN, Y.; FAVRE, A. A. Análise, aplicação e transposição de um modelo chuva-vazão para simulação de curvas de permanência de pequenas bacias da Amazônia.

RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.12, n.1, p.205-216. 2007.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências, 1997.

BRAVO, J. M. et al. **Manual de Usuário do Modelo hidrológico WIN_IPH2.** p.63. 2006.

CHAVES, H. M. L. et al. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** v.7. n.3. p.43-52. 2002.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais.** 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.12, n. 1, p. 29-38, jan./jun. 2010

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. Disponibilidade hídrica para outorga (II): avaliação integrada por bacia. **REGA**. v. 4, n. 2, p. 65-76. 2007a.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência. **REGA**. v. 4, n. 2, p. 51-64. 2007b.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.13, n.1, p.111-124. 2008.

DUAN, Q.; SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. **Water Resources Research**. v.28. n.4. p. 1015-1031. 1992.

EUCLYDES, H.P. et al. Regionalização hidrológica na bacia do Alto São Francisco a montante da barragem de Três Marias, MG. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 6. n. 2. p. 81-105. 2001.

FROES, C. M. B.; NUNES, H. M. T.; COELHO, M. F. C. D. A Modernização do Cadastramento e Concessão de Outorga do Direito de Uso da Água no DR/MG. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, 1997, Vitória. **Anais...** Porto Alegre: ABRH. CD-ROM.

MILHOUS, R. T. **Restoring river substrate using instream flows: the Gunnison and Trinity Rivers**. In: Wetlands Engineering & river Restoration Conference, 1998. Restoration Engineering Approaches to Ecosystem. American Society of Civil engineers, Virginia. CD-ROM. Disponível em: <<http://www.mesc.usgs.gov/pubs/online/den97pap.htm>>. Acesso em: 27 abr. 2010.

MÜLLER, I. I.; MAZER, W.; KAVISKI, E. Sistema Computacional para Estudos de Viabilidade de Pequenas Centrais Hidrelétricas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Porto Alegre: ABRH. CD-ROM.

NOVAES, L. F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SANTA CATARINA. **Regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais do estado de Santa Catarina, volume 1 – texto**. 2006. Disponível em: <<http://www.aguas.sc.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2009.

SILVA, A. M. et al. Vazões mínimas e de referência na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10. n.2. p. 374-380. 2006.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.3, n.3, p.97-110. 1998.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 3. n. 3. p. 111-131. 1998.

STUDART, T. M. C.; CAMPOS, J. N. B.; COSTA, A. M. A alocação e o uso dos recursos hídricos no Ceará. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, 1997, Vitória. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 1997. CD-ROM.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. 2002.

TUCCI, C. E. M. **IPHS1 - Manual de Fundamentos**. Versão Preliminar Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, 2004.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre. Editora da Universidade. ABRH/UFRGS. 678p. 2006.

VIBRANS, A. C. **A cobertura florestal da Bacia do Rio Itajaí: elementos para uma análise histórica**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

YAPO, P. O.; GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S. Multi-objective global optimization for hydrologic models. **Journal of hydrology**. v. 204. p. 83-97. 1998.

7 Agradecimentos

Agradecemos MCT/FINEP/CT-HIDRO-IGRH 01/2007, Projeto intitulado “Disponibilidade Hídrica para Aplicação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos. Quantidade e Qualidade de Água”, convênio 2076/07, pelo financiamento de pesquisa, a CAPES pelas bolsas do primeiro e quarto autores e ao PIBIC-CNPq pela bolsa do terceiro autor.