

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES ASSISTIDA POR MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA ANÁLISES DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA, ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO IBICUÍ - RS

Margarita Pereira^{1}; Rafael Kayser² & Walter Collischonn³*

Resumo – A disponibilidade hídrica de uma região deve ser avaliada com base na vazão natural dos rios, que seria a vazão observada nos rios caso não existissem as retiradas de água para irrigação e outros usos e caso não houvesse operação de reservatórios a montante. O cálculo da disponibilidade de água numa bacia hidrográfica tem duas dificuldades que podem ser consideradas comuns. Uma delas é a carência de dados pela falta de estações de medição no local desejado, ou se tiver locais de medição na região, estes não possuem dados confiáveis ou não tem a quantidade de dados necessários para uma boa representatividade; e a segunda dificuldade se refere à problemática de que dados de vazão observada em postos fluviométricos nem sempre representam a vazão natural, o que faz concluir que qualquer metodologia de estimativa de disponibilidade hídrica baseada apenas em regionalização dos dados dos postos fluviométricos exigiria a compensação de erros devido por exemplo às retiradas de água ao longo do rio. Neste trabalho é apresentado, dentro de um estudo de caso, uma metodologia de como a modelagem hidrológica pode auxiliar e complementar estudos de regionalização de vazões para análise de disponibilidade hídrica.

Palavras-Chave – Disponibilidade hídrica, regionalização de vazões, modelagem hidrológica.

REGIONALIZATION OF FLOW ASSISTED BY HYDROLOGICAL MODELING FOR ANALYSIS OF AVAILABILITY OF WATER. CASE STUDY: IBICUÍ RIVER WATERSHED - RS.

Abstract – The water availability in a region should be evaluated based on natural river flows. This would be possible in rivers with no uses such as water withdrawals for irrigation and operation of reservoirs upstream. The estimation of water availability in a watershed faces two common difficulties: first, the lack of accurate time series data, because of inappropriate location, number or poor data gauging stations for a good representation. The second refers to the problem that data observed at gauging stations do not always represents the natural river flow. Any methodology for water availability estimation based only on regionalization of flow from gauging station data require error compensation due to water withdrawals along the river. Based on a case study, this work introduces a methodology to answer how hydrological modeling can assist and complement flow regionalization studies for analysis of water availability.

Keywords – Availability of water, Regionalization of flow, hidrological modeling.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água num rio é geralmente utilizada para abastecimento de água para população e indústrias, irrigação de áreas agrícolas, produção de energia através de hidrelétricas, garantir calado para navegação, conservação do ecossistema e diluição de água residuais (Tucci, 2005).

Esta disponibilidade deve ser avaliada com base na vazão natural dos rios, que seria a vazão observada caso não existissem as retiradas de água para irrigação e outros usos e caso não houvesse

^{1*} Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH – UFRGS, mmepereira@gmail.com

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH – UFRGS, rafael.hbkayser@gmail.com

³ Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH – UFRGS, collischonn@iph.ufrgs.br

operação de reservatórios a montante. A reconstituição das vazões naturais é de fundamental importância para a atividade de planejamento do uso dos recursos hídricos, tendo a finalidade de resgatar as características naturais de magnitude e variabilidade das vazões afetadas pelas ações antrópicas nas bacias (ONS, 2005). A quantificação dos processos hidrológicos depende da observação das variáveis hidrológicas que os descrevem ao longo do tempo e por sua vez essas variáveis possuem comportamento estocástico e necessitam de amostras confiáveis e representativas par sua estimativa. (Tucci, 2002).

Para a obtenção das vazões naturais é considerada a vazão observada no local, as vazões relativas aos usos consuntivos e a vazão regularizada caso haja reservatórios. A não consideração das vazões consumidas na análise das séries de vazões pode trazer consequências na análise do comportamento hidrológico, uma vez que não se pode fazer um planejamento adequado devido ao desconhecimento da evolução dos usos consuntivos e seus reflexos na disponibilidade de água (ONS, 2005). Este trabalho apresenta quais as dificuldades e limitações dos métodos tradicionais para o cálculo de disponibilidade hídrica e o como a modelagem hidrológica pode auxiliar estes métodos tradicionais através da sua grande versatilidade para explorar dos dados existentes numa bacia. A modo de exemplo é apresentado também um estudo de caso onde através do modelo hidrológico de grandes bacias MGB-IPH amplamente descrito em Collischonn (2001) e Collischonn et al (2007) é calculada a disponibilidade hídrica dentro da bacia do rio Ibicuí no estado de Rio Grande do Sul, junto com uma quantificação dos erros por trecho de rio e de levando em consideração no momento das simulações o uso extensivo da água para irrigação dentro da bacia.

DIFICULDADES E LIMITAÇÕES DOS ESTUDOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

O termo regionalização tem sido utilizado em hidrologia para denominar a transferência de informações de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante (Tucci, 2002).

Segundo Novaes et al, (2007), quando as bases de dados disponíveis em uma bacia hidrográfica são reduzidas, a regionalização de vazões pelo método tradicional, considerando regiões hidrológicamente homogêneas e equações de regressão regionais, apresenta grandes restrições. Por outra parte segundo Tucci (2002), a regionalização de vazões não é um método seguro para a extrapolação hidrológica, devido à variabilidade das escalas dos processos hidrológicos, ou seja, o comportamento hidrológico de pequenas bacias pode ser muito diferente das bacias maiores. Nesse mesmo sentido Obregon *et al*, (1999), expressa que se uma região dispõe de séries curtas ou de pequena representatividade espacial das vazões os resultados apresentam muitas incertezas, inviabilizando a regionalização e, conseqüentemente a estimativa de vazões.

Por outra parte nem sempre os dados observados em postos fluviométricos utilizados em estudos de regionalização constituem dados de vazões naturais, sendo quase sempre as medições são alteradas por efeitos de retiradas de água para diversos usos a montante dos postos, assim como também por obras hidráulicas que alteram o regime hidrológico natural o que constitui também uma outra limitação dos estudos de regionalização que dependem fortemente desses dados observados. Rodrigues, (2008) determinou que para fins de utilização hidrológica, os impactos do uso das vazões naturais em substituição às vazões observadas, verificados na bacia do Paracatu, podem ser considerados inexpressivos (inferiores a 1%) para a estimativa da vazão média de longa duração, mas que esse impacto pode ser considerado de razoável expressividade (até 23%) para a estimativa das vazões mínimas.

Então resumindo, existem varias dificuldades e limitações que fazem com que os estudos de regionalização pelos métodos conhecidos tradicionais precisem o auxilio de outras técnicas mais

versáteis ou flexíveis que consigam explorar melhor os dados existentes e lidar de uma maneira simples e integrada com as carências e fatos mencionados anteriormente, .

POSSÍVEIS VANTAGENS NAS ANÁLISES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA BASEADAS NOS MODELOS HIDROLÓGICOS

Os modelos hidrológicos são ferramentas que a ciência desenvolveu para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas (Tucci, 2005). E os principais usos dos modelos hidrológicos são principalmente: (a) entender o comportamento dos processos hidrológicos; (b) Análise de consistência e extensão de séries hidrológicas em locais com poucas informações; (c) dimensionamento e planejamento de desenvolvimento numa bacia hidrográfica; (d) previsão de vazão; e (e) predição com base em modificações naturais e antrópicas da bacia hidrográfica. Neste sentido os usos (b), (c) e (e) se encontram diretamente relacionadas a questões de disponibilidade hídrica ou podem auxiliar para uma melhor compreensão da sua alteração através do tempo.

Simulações hidrológicas podem ajudar a identificar a capacidade de uma bacia de atender as demandas de água presentes e futuras, através do conhecimento prévio da disponibilidade hídrica em cada trecho de rio. Numa bacia hidrográfica podem existir vários usos e reservatórios para distribuição e regularização dos recursos hídricos da mesma, gerando uma grande variabilidade de combinações entre usos, retiradas de água e regularização que devem ser abordados e estudados fundamentalmente nos casos de necessidade do conhecimento da disponibilidade hídrica. Nesse contexto as simulações hidrológicas através da modelagem se constituem em ferramentas chave para criação de cenários específicos e factíveis nos sistemas.

Por outra parte outra vantagem dos modelos hidrológicos do tipo precipitação-vazão é que geralmente existem séries de precipitações mais longas que as de vazão. Desta forma em regiões com dados deficientes é possível estender as séries de vazões através de modelos hidrológicos e obter séries de vazões mais representativas para a regionalização (Obregon *et al.*, 1999)

Também outra versatilidade da modelagem hidrológica é que métodos de assimilação de dados (Serban & Askew, 1991; Srikanthan *et al.*, 2007; Xiong & O'Connor, 2002; Moore, 2007), acoplados aos modelos hidrológicos têm a potencialidade de incorporar dados observados à estrutura interna do modelo com a finalidade de diminuir aquelas incertezas ocasionadas pela ausência de dados em alguns locais e aumentar a precisão nos resultados. Esta metodologia esta sendo muito explorado na atualidade dentro de vários grupos de pesquisa no mundo e no Brasil.

Por todo o comentado anteriormente é possível afirmar que existe um caminho promissor nos estudos de disponibilidade hídrica ou de regionalização de vazões assistida por modelagem hidrológica lembrando sempre que nenhuma metodologia hidrológica aumentará os dados disponíveis, apenas exploram melhor estes dados (Tucci, 2002).

ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA DO RIO IBICUÍ - RS

A Bacia Hidrográfica do Ibicuí localiza-se a oeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Possui área de 35.495,38 km² e população estimada em 394.030 habitantes, abrangendo municípios como Alegrete, Júlio de Castilhos, Santana do Livramento, São Pedro do Sul e Uruguaiana.

Sua formação dá-se na junção do Ibicuí-Mirim com o rio Santa Maria e a desembocadura é no Rio Uruguai. O principal uso da água nesta bacia se destina a irrigação. Este uso pode ocasionar insuficiência hídrica nos meses de verão, principalmente devido à irrigação do arroz (Rio Grande do Sul, 2006).

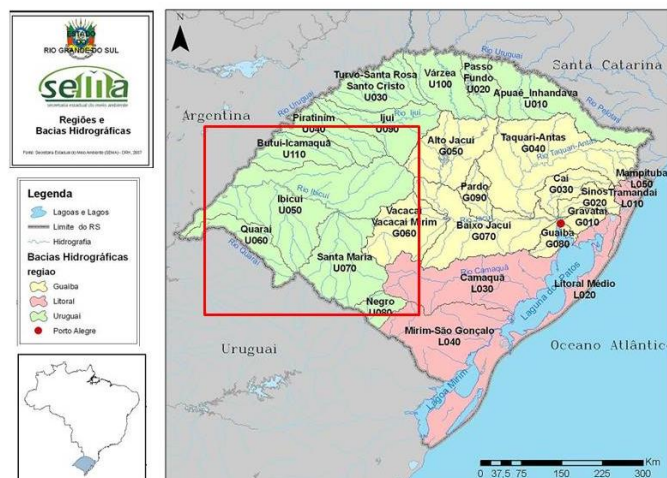


Figura 1. Bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul. No destaque, apresenta-se a bacia do rio Ibicuí.
Fonte: Rio Grande do Sul, 2006.

Foi realizada uma estimativa da disponibilidade através da aplicação de um modelo hidrológico chuva-vazão. Foi utilizado o modelo distribuído MGB-IPH, que foi calibrado e verificado utilizando dados de vazão de postos fluviométricos no período que vai de 1960 a 2008. Entretanto, não foram considerados na calibração e na verificação os dados observados nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro de todos os anos, porque se considerou que estes dados não correspondem à situação da vazão natural da bacia, em função das significativas retiradas de água para irrigação que existem na bacia nesta época do ano. Desta forma, espera-se que as vazões geradas pelo modelo sejam boas estimativas da vazão natural.

Dados Utilizados

Foram utilizados dados hidrometeorológicos de vazão, precipitação, e clima da região disponíveis no Sistema Hidroweb da Agência Nacional de Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br/>) provenientes respectivamente de 14 postos fluviométricos, 35 postos pluviométricos e 7 postos de clima.

Foram utilizados também dados de sistemas de informação geográfica como a hidrografia da bacia disponibilizados em arquivos vetoriais pelo Departamento de Recursos Hídricos do Estado.

Os dados topográficos da bacia foram obtidos através de um Modelo Digital de Elevação (MDE) de resolução espacial de 90m, originado da missão do ônibus espacial de topografia por radar (Shuttle Radar Radar Topography Mission – SRTM), no ano 2000.

Os tipos de solos foram identificados através do trabalho Solos do Rio Grande do Sul (EMATER/RS-Ascar, 2008) e os dados de mapeamento do uso do solo foi baseado na publicação do IBGE - Mapeamento do uso antrópico e remanescentes de vegetação do Bioma Pampa (MMA/UFRGS, 2008)

Modelagem hidrológica

O modelo hidrológico utilizado no trabalho de reconstituição de séries hidrológicas e de estimativa de vazões em locais sem dados foi o modelo MGB-IPH descrito detalhadamente em Collischonn (2001) e Collischonn et al (2007). Este modelo vêm sendo desenvolvido no IPH-UFRGS desde 2001, e já foi utilizado em diversas bacias brasileiras.

O modelo MGB-IPH é um modelo hidrológico distribuído, que subdivide a bacia hidrográfica em um grande número de unidades menores, denominadas mini-bacias, comunmente através de modelos digitais de elevação. Em cada uma das mini-bacias são realizados cálculos de balanço hídrico em passo de tempo diário, e são gerados resultados de vazão para cada dia ao longo do

período de tempo simulado. São representados matematicamente os processos hidrológicos de interceptação, infiltração e armazenamento de água no solo, evapotranspiração, escoamento e propagação de vazões ao longo dos rios principais.

O modelo MGB-IPH utiliza como dados de entrada mapas de tipos de solos e tipos de vegetação combinados num mapa que reúne os dois atributos por cada pixel, denominado mapa de unidades de resposta hidrológica HRU ou mapa de Blocos. Além disso, são utilizados dados de chuva e de outras variáveis climatológicas. Os resultados de vazão calculados pelo modelo são comparados aos dados observados de vazão nos postos fluviométricos e as configurações do modelo são alteradas por sub-bacias determinadas pelas áreas incrementais até cada um desses postos, até que as vazões calculadas sejam suficientemente próximas das vazões observadas, num procedimento que é denominado calibração do modelo hidrológico.

A questão do rio Santa Maria

O rio Santa Maria (Figura 5) e seus afluentes não são considerados diretamente na análise do presente estudo. Entretanto, a separação do rio Santa Maria do rio Ibicuí cria uma dificuldade nos estudos de disponibilidade de água para o rio Ibicuí, já que a jusante da confluência do rio Santa Maria e do rio Ibicuí-Mirim a disponibilidade de água depende dos usos da água na bacia do rio Santa Maria. Esta situação foi contornada incluindo a bacia do rio Santa Maria no modelo hidrológico no momento da calibração do modelo.

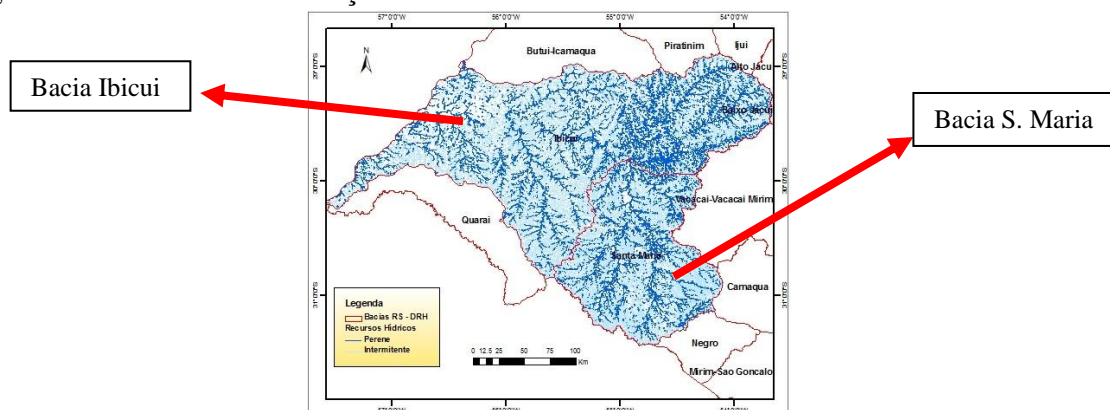


Figura 5. Localização da bacia do rio Ibicuí e a bacia do rio Santa Maria

Resultados da calibração

O modelo hidrológico MGB-IPH foi calibrado utilizando dados do período de 1975 a 1989. As funções objetivo utilizadas na calibração do MGB-IPH na bacia do rio Ibicuí foram o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões, o erro relativo de volume total dos hidrogramas; e o erro da Q90. A comparação através da análise estatística também apresenta bons resultados, mostrando que o modelo MGB-IPH é capaz de representar o comportamento hidrológico da bacia (Tabela 1)

Tabela 1: Estatísticas da calibração do modelo em alguns postos fluviométricos

Posto Fluviométrico	e	e _{log}	ΔV (%)	Q90 observada (m3/s)	Q90 calculada (m3/s)	ΔQ ₉₀ (%)
Ponte Ibicuída Armada	0.79	0.79	-2.9	10.44	10.42	-0.2%
Ernesto Alves	0.62	0.73	-0.8	3.03	3.04	0.2%
Passo da Cachoeira	0.72	0.82	-0.4	22.90	22.92	0.1%
Passo do Osório	0.72	0.74	-1.6	4.01	4.01	0.0%

Verificação do modelo

Na verificação observou-se que os ajustes foram relativamente bons, especialmente nas bacias maiores. Os erros de volume se encontram na sua maioria na faixa de -10% a +10% e os erros de vazão Q90 estão na sua maioria na faixa de -20% a +20%. De maneira geral houve uma tendência de subestimativa da Q90, exceto na região sul da bacia.

Estimativa dos erros no cálculo da disponibilidade hídrica

A estimativa de disponibilidade hídrica baseada nas simulações do modelo MGB-IPH apresenta erros que são relativamente baixos no caso das bacias hidrográficas maiores, porém podem ser relativamente altos em pequenas bacias de cabeceira. A Figura 6 apresenta a relação entre a área de drenagem e o erro da Q90.

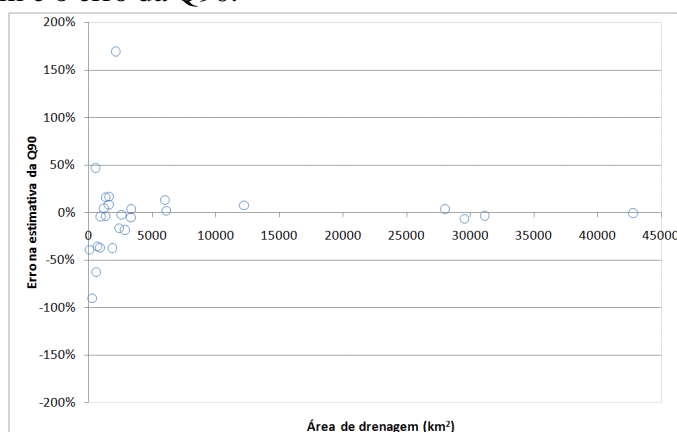


Figura 6: Relação entre os erros na estimativa da Q90 e a área de drenagem.

A relação entre o módulo do erro na estimativa da Q90 e a área de drenagem é apresentada na Figura 7. Observa-se mais claramente como o erro tende a decrescer rapidamente com a área de drenagem. Os dados mostrados foram utilizados para ajustar uma curva relacionando o erro e a área de drenagem (equação 4)

$$\text{Erro} = 996,14.A^{-0.578} \dots\dots\dots(4)$$

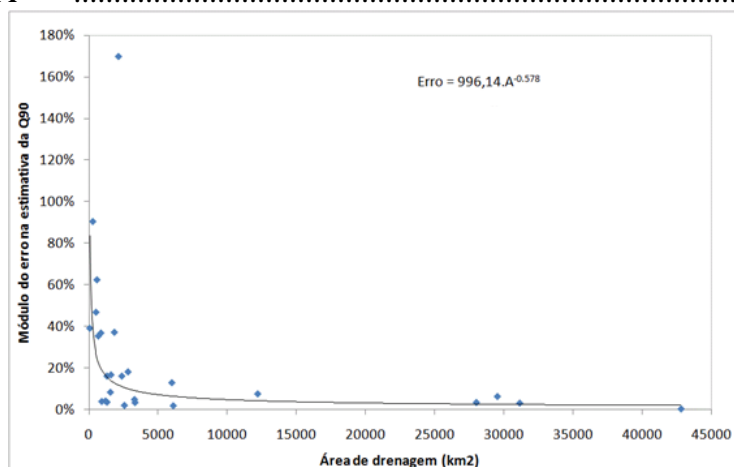


Figura 7: Relação entre os erros na estimativa da Q90 e a área de drenagem.

Disponibilidade de água

No contexto do presente plano, a bacia do rio Ibicuí foi dividida em 8 Unidades de Planejamento e Gestão (UPG). Estas unidades estão apresentadas na Figura 8.

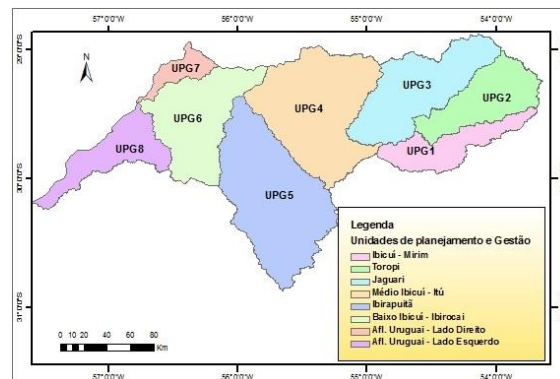


Figura 8: Unidades de planejamento e gestão adotadas para analisar a relação entre disponibilidade e demanda de água na bacia do rio Ibicuí.

No plano de bacia do rio Santa Maria foi recomendado adotar, como vazão de referência para a outorga, o valor correspondente a 90% da Q90. Naquele plano também foi decidido que a vazão passível de outorga corresponderia a 90% da vazão de referência. Assim, o rio Santa Maria poderia contribuir com uma vazão maior ou menor para o rio Ibicuí, dependendo do cenário considerado de consumo na bacia do rio Santa Maria. Como forma de considerar as possíveis situações do rio Santa Maria para avaliar a disponibilidade de água na bacia do rio Ibicuí, foram considerados três cenários no presente trabalho:

Cenário 1, natural: O cenário natural corresponde à situação em que não existem retiradas de água significativas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria.

Cenário 2, retirada de 90% da Q90 do rio Santa Maria: O cenário 2 corresponde a uma situação mais próxima da atual, porque se considera que o consumo de água no rio Santa Maria é equivalente ao que é permitido pelos critérios de Outorga.

Cenário 3, liberação de 10% da Q90 do rio Santa Maria: Neste cenário considera-se que o rio Santa Maria libera apenas 10% da Q90 de forma constante

A Figura 9 apresenta a curva de permanência do rio Santa Maria na foz na condição do cenário 2, comparada às curvas de permanência dos cenários 1 e 3.

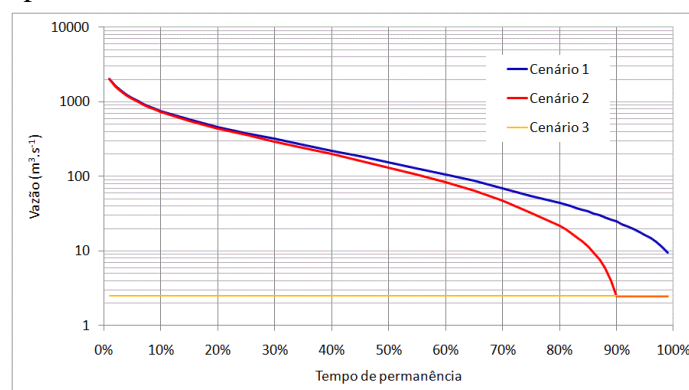


Figura 9: Curva de permanência do rio Santa Maria na sua foz para os diferentes cenários

Os resultados de disponibilidade hídrica na bacia foram calculados de acordo com os três cenários descritos no item anterior. Aqui apresentamos na tabela 2 a disponibilidade hídrica no rio Ibicuí para o cenário 2. Na mesma são apresentados os valores da vazão média, e quatro valores obtidos da curva de permanência de vazões: a Q50, a Q85, a Q90 e a Q95.

Tabela 2: Valores de disponibilidade hídrica calculados com base em simulação com o modelo MGB-IPH no período de 1960 a 2008, considerando o cenário 2 em algumas unidades de planejamento

Unidade	Nome	Média	Q85	Q90	Q95	Q50	Área (km ²)
UPG 1	Ibicuí-Mirim	131,7	19,3	15,1	11,1	70,4	5835
UPG 2	Toropí	76,5	7,3	5,4	3,6	33,8	3548
UPG 3	Jaguarí	125,7	19,3	15,0	11,0	69,6	5147
UPG 4	Médio Ibicuí/Itú	706,2	112,8	87,4	66,1	411,5	18427
UPG 5	Ibirapuitã	178,6	23,5	18,6	13,5	87,7	7974
UPG 6	Baixo Ibicuí/Ibirocai	996,5	171,8	133,7	97,7	604,7	31401
UPG 7	Afl. Uruguai - L. Direito	20,9	2,7	2,1	1,4	10,9	956

CONCLUSÕES

Os métodos tradicionais de regionalização de vazões para estimação de disponibilidade hídrica podem demonstrar grandes falências quando a disponibilidade de dados fluviométricos não é garantida pela qualidade e quantidade dos mesmos

Os modelos hidrológicos são uma grande ferramenta no auxílio à estimativa de disponibilidade hídrica devido a sua inegável versatilidade especialmente nos casos de modelos hidrológicos distribuídos.

Os resultados da calibração e da verificação dentro do estudo de caso demonstram que o modelo MGB-IPH representa razoavelmente bem as vazões dos rios da bacia do rio Ibicuí acrescentando que a disponibilidade hídrica estimada pelo modelo permite explorar os dados fluviométricos e pluviométricos de toda a bacia, além de incluir a influência de outras características, como o relevo e as características de solo e de litologia e permitir a criação de cenários de análises de uso da água em diferentes pontos da bacia.

No estudo de caso o modelo MGB-IPH calibrado na bacia do rio Ibicuí se mostrou adequado para gerar séries de vazão com o objetivo de definir disponibilidade hídrica e os erros nas estimativas e podem ser quantificados através de equações que os relacionam com a área.

REFERÊNCIAS

- EMATER/RS-Ascar, 2008. Solos do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 222 p.
- COLLISCHONN, W. 2001. *Simulação Hidrológica de Grandes Bacias*. Tese de doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 182p.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.G.; SILVA, B.C.; TUCCI, C.E.M. 2007. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. *Hydrological Sciences Journal*, 52, 878-895 pp.
- OBREGON E.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUN, J. A. (1999). Regionalização de vazões com base em séries estendidas: Bacias afluentes à lagoa Mirim, RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.4, n. 1, p. 57-75.
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico (2005) *Revisão das séries de vazões naturais nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional- SIN*. Brasília - DF.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 15 Mai. 20013.
- RODRIGUEZ, R. del G. *Proposta Conceitual Para A Regionalização De Vazões*.(2008). 181p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.
- SERBAN, P.; ASKEW, A. J. Hydrological Forecasting and Updating Procedures. In: van de VEN, .H. M.; UTKNECHT, G.; LOUCKS, D. P.; SALEWICZ, K. A. (Ed.). *Hydrology for the Water Management of Large River Basins*. Vienna: IAHS, 1991. 357-369. (IAHS publication, n. 201). (Proceedings of the Vienna symposium, August 1991).
- TUCCI, C. E. M (2002). *Regionalização de Vazões*. UFRGS Porto Alegre - RS, 256p.
- TUCCI, C. E. M (2005). *Modelos Hidrológicos*. UFRGS Porto Alegre - RS, 678p.