

# Disponibilidade hídrica para outorga (II): avaliação integrada por bacia

Jussara Cabral Cruz  
Geraldo Lopes da Silveira

**RESUMO:** Uma caracterização e uma proposição de critérios de definição de disponibilidade hídrica para utilizar em processos de outorga de direito de uso das águas são apresentados em dois artigos complementares. No primeiro, dá-se o enfoque para a determinação da disponibilidade hídrica em cada seção fluvial individualmente. Neste artigo, o segundo, a disponibilidade hídrica considera a integração, em nível de bacia, dos usos múltiplos da água e sua interdependência de *montante para jusante* e de *jusante para montante*, através de balanço hídrico de volumes. Na presente proposta, o balanço hídrico considera a realidade atual da bacia hidrográfica, considerando o conjunto de usuários históricos já incluídos na avaliação de disponibilidade hídrica remanescente de cada seção hidrológica de referência (SHR), a qual utiliza as vazões observadas pelo monitoramento, conforme proposto no artigo “Disponibilidade hídrica para outorga em bacias com elevado uso consuntivo (i) : avaliação por SHR”. O balanço é realizado mediante processo de otimização considerando toda a bacia com diferentes critérios de distribuição de água e de sazonalidade. Desta forma trechos com superávit ou déficit hídrico podem ser compensados promovendo o uso racional da água. O método permite ainda, à medida que novos dados sejam obtidos (de vazões e de demandas), aprimorar o planejamento do processo de distribuição de água em bases cada vez mais adaptada a realidade.

**PALAVRAS-CHAVES:** outorga, gestão de recursos hídricos, balanço hídrico

**ABSTRACT:** A characterization and a proposal of criteria for defining water availability for use in procedures for granting the water rights are presented in two additional articles. The first, there is a focus for the determination of water availability in each section river individually. In the second article, the water availability considers the integration of multiple uses of water in the basin level and their interdependence from *upstream to downstream* and from *downstream to upstream* through water volume balance. In this proposal, the water balance considers the current reality of the basin, considering the set of historical users already included in the assessment of water availability remaining in each Hydrological Section of Reference (HSR), which uses the flow rates observed by tracking, as proposed in the article “Water availability for grants in water basins with high consuntive use (i): assessment by HSR”. The balance is achieved by optimization process considering the whole basin with different criteria for water supply and seasonality. Consequently river stretches with water deficit or water surplus may be compensated by promoting the rational use of water. The method also permits as new data are obtained (flow rates and demands) to improve the the planning of the process of water distribution in increasingly rational basis.

**KEY WORDS:** permits, water resource management, water balance

## INTRODUÇÃO

A outorga de direito de o uso dos recursos hídricos é uma licença emitida pelo Estado para que o usuário possa derivar determinados volumes de água para atender suas necessidades, com ou sem devolução de parte ou toda a água (usos consuntivos e não consuntivos) ou reserva de volume para diluição de poluição.

A implantação da outorga tem o objetivo de racionalizar e disciplinar o uso das águas, evitando ou equacionando situações de conflito, e se constitui em etapa indispensável para a operacionalização efetiva

do sistema de gestão de recursos hídricos, conforme estabelece a ordenação legal vigente no Brasil.

A articulação de processos e procedimentos (caracterização da disponibilidade e da demanda, a definição de diretrizes para a outorga e a cobrança) se insere no processo político maior que traz à tona a necessidade de robustez estrutural ao sistema de gestão. O objetivo maior é a harmonia entre os diferentes usos concorrentes ou conflitantes, com interesses difusos e com adequação que permita a sustentação ambiental.

Para a instrução de um processo de outorga, é necessário o cotejo de duas grandezas fundamentais: a disponibilidade hídrica (oferta) e a demanda. O

equacionamento do problema da outorga visa o pleno atendimento da demanda considerando a disponibilidade hídrica e a conservação ambiental, através do balanço hídrico do sistema. Trata-se de um problema de decisão que consiste em escolher uma dentre várias alternativas de cenários de valores para outorga definidas por volume, frequência e período de uso, tipos de usos, locais de uso etc., considerando diferentes definições para disponibilidade hídrica, componentes sociais, econômicas, políticas e ambientais, tais como objetivos para o uso das águas, prioridades entre usuários, objetivos de qualidade da água e necessidades para manter a integridade dos recursos hídricos. Esses fatores são mutáveis no tempo e associados a incertezas de difícil quantificação. Quanto maiores as demandas, maiores os conflitos e mais complexo se torna o problema (Cruz, 2001).

Dois aspectos relativos à caracterização da disponibilidade hídrica são tratados em dois artigos em sequência: no primeiro, “Disponibilidade hídrica para outorga (i): avaliação por shr” dá-se o enfoque para a determinação da disponibilidade hídrica em cada seção fluvial individualmente, considerando a variabilidade inter e intra anual dos recursos hídricos, diferentes critérios de definição de vazões ambientais e de estimativa de volumes para diluição de poluentes.

Este artigo, “Disponibilidade hídrica para outorga (ii): avaliação integrada por bacia”, o segundo, tem por finalidade apresentar metodologia para a alocação de água entre usuários com elevado uso consultivo, de montante e de jusante, por meio de avaliação integrada das disponibilidades hídricas em uma bacia hidrográfica, cujas vazões são definidas em cada seção hidrológica de referência (SHR) representam a oferta, que pode ser estimada pelos procedimentos e critérios abordados pelo artigo primeiro “(i): avaliação por shr”.

Os valores de outorga resultantes da simulação com o modelo de balanço hídrico, representam o montante outorgável disponível, para cada trecho de gerenciamento, ou volumes a serem racionados em função de ocorrência de anos secos.

A metodologia apresentada foi aplicada para dar suporte ao planejamento da outorga nas Bacias Hidrográficas de Gerenciamento dos Rios Santa Maria e Ibicuí no Rio Grande do Sul, região de intensa irrigação da lavoura orizícola, com mais de 2000 usuários e 250.000 ha de perímetro irrigado. Estima-se que cada hectare irrigado pode consumir em média, anualmente, de 10.000 a 15.000 m<sup>3</sup> de água.

## METODOLOGIA

A metodologia utilizada na avaliação integrada está embasada em três princípios e mescla das concepções de Kelman (1997), de Silveira *et al.* (1998), de Cruz *et al.* (1999) e de Cruz (2001): (i) sistema modular, (ii) disponibilidade marco zero e (iii) balanço hídrico com alocação de água otimizada.

(i) A modulação do sistema é a divisão da bacia em sub-bacias (trechos de gerenciamento de cabeceiras e trechos com contribuições intermediárias) delimitadas por Seções Hidrológicas de Referência (SHR) e para as quais convergem os estudos hidrológicos de caracterização das disponibilidades hídricas e para as quais são realizadas as simulações de alocação dos recursos hídricos.

(ii) As vazões de cada SHR, na prática, são afetadas por captações e despejos exercidos, que podem ser determinados a partir de um cadastro detalhado dos atuais usuários da água. Porém, a rede de monitoramento brasileira é deficitária, com falhas nos dados históricos, havendo dificuldade de recuperar o histórico dos volumes utilizados, bem como suas sazonalidades e regimes de captação. Assim, a recuperação ou reconstituição de um fluviograma atual sem interferência das intervenções históricas seria um procedimento inviável. Devido à dificuldade de reconstituição das vazões naturais, o modelo utiliza a estratégia da *Disponibilidade Hídrica Marco Zero*, que representa a disponibilidade hídrica atual do manancial, trazendo embutidos os usos quantitativos da água exercidos de um período histórico até o presente conforme delineamentos propostos inicialmente por Silveira *et al.* (1998).





(iii) um modelo de balanço hídrico otimizado consiste em um modelo de alocação de água (estimativa da vazão para outorga) entre diferentes SHRs, de montante e de jusante, de forma integrada, com base na oferta e na demanda dos recursos hídricos. A utilização de algoritmos de otimização permite verificar possibilidades de distribuição da água diante de distintos critérios de outorga e diferentes cenários de demanda em condições distintas de estimativas de disponibilidade hídrica.

A otimização permite o planejamento da distribuição da água, visando o maior consumo possível, com o objetivo de distribuir equanimente as vazões de outorga, respeitando a sustentabilidade do sistema e a sazonalidade da oferta. A otimização aplicada ao modelo de balanço hídrico proposto pode ser feita tanto para anos úmidos como para anos secos.

Para esses últimos permite o planejamento de racionamento para ser aplicado em cada SHR, restringir usos e atender as necessidades ambientais.

Na evolução do processo no modelo proposto, sugere-se ainda que a outorga não seja efetuada usuário a usuário, conforme a prática atual assim o enseja. O modelo em proposição, em etapa subsequente, estimula a outorga em bloco através de associações de usuário por trecho de gerenciamento de rio (Cruz *et al.*, 2007).

Para implementação da outorga, segundo as diretrizes e princípios apresentados, define-se um fluxo metodológico que compreende as seguintes etapas:


-  Modulação da Rede: locação de SHRs na rede de drenagem da bacia;
-  Estimativa de disponibilidades hídricas nas SHRs;
-  Balanço hídrico otimizado integrado na bacia para planejamento de alocação das disponibilidades hídricas entre as SHRs;
-  Operacionalização do processo de outorga - repartição do volume outorgável em cada SHR entre os usuários pertencentes ao respectivo trecho.

As três primeiras etapas do fluxo metodológico definem a fase de planejamento do processo e a quarta a fase operacional propriamente dita.








### ETAPA DE MODULAÇÃO DA REDE

Esta etapa consiste na definição das Seções Hidrológicas de Referência (SHR) e a respectiva locação das mesmas na rede de drenagem da bacia. A SHR é uma seção fluvial qualquer definida na rede de drenagem para a qual devem convergir estudos hidrológicos específicos de avaliação de disponibilidades hídricas.

Para a definição das Seções Hidrológicas de Referência (SHR) podem ser estabelecidos os seguintes critérios:

-  CONDIÇÕES DE ACESSO: Critério eliminatório. Mesmo que seja possível dar início ao processo de outorga com base na metodologia proposta com base na modelagem hidrológica, o estabelecimento de uma rede de monitoramento é fundamental para o aperfeiçoamento do processo, ou seja, deve-se estabelecer as SHRs de tal modo que possam ser transformadas em estações fluviométricas. A dificuldade de acesso e as enchentes tendem a eliminar

a possibilidade de instalação de estações em inúmeras seções.

-  ÁREA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO: Devem ser localizadas SHRs de tal modo que as áreas de contribuição não possuam uma grande variação entre uma seção interna e outra.
-  CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE DO LEITO: Devem ser consideradas as condições de estabilidade do leito, presença de vegetação, processos erosivos nas margens, presença de bancos de areia móveis e assoreamento intenso, trecho excessivamente meândrico, entre outros.
-  EXISTÊNCIA DE SEÇÕES ALTERNATIVAS: Em condições de instabilidade do leito, a garantia de continuidade do monitoramento depende da existência de seções alternativas que permitam medições de vazão com as condições de controle necessárias à avaliação da disponibilidade hídrica nos trechos de gestão.
-  COINCIDÊNCIA COM ESTAÇÕES EXTINTAS E PROJETOS DE IMPLANTAÇÃO DE NOVAS REDES: Os locais em que já existiram seções, em especial daquelas que não foram extintas devido a problemas relacionados às inconsistências na curva-chave, apresentam facilidades para a reativação (acesso, possibilidade de observador, etc.).
-  EXISTÊNCIA DE PROJETOS DE BARRAMENTOS: As SHRs devem ser posicionadas de modo que não fiquem afogadas pelas barragens a serem construídas nem sujeitas ao remanso.
-  POSSIBILIDADE DE OBSERVADOR: A fim de viabilizar a transformação das SHRs em estações fluviométricas, deve-se verificar as condições de acesso e a existência de residências próximas.
-  EXISTÊNCIA DE ATIVIDADES MINERÁRIAS: As atividades de mineração provocam condições de instabilidade do leito, causando problemas na definição da curva-chave. Sugere-se a solicitação de bloqueio de novas concessões de minérios próximos às SHRs junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral e negociação com os concessionários quando não for possível evitar áreas com licença de lavra.

## ETAPA DE ESTIMATIVA DAS DISPONIBILIDADES

Na prática, as vazões representativas da disponibilidade hídrica em cada seção hidrológica de referência, definida com base nos dados históricos de vazão, estão afetadas pelas captações e despejos exercidos. Portanto, quando os trechos de gerenciamento sofrem pressão de demanda quantitativa, é muito difícil conhecer uma vazão estatística real que represente a produção hídrica nas condições atuais de uso do solo, dado que não são conhecidas as derivações e os despejos que se deram no passado, para que pudessem ser compensados nos valores de vazão observados. Assim, a vazão estimada para cada seção hidrológica de referência, SHR, pode ser tomada como a disponibilidade hídrica remanescente, já que a mesma consiste no resultado do escoamento, considerando as retiradas e os despejos que ocorreram em toda a bacia contribuinte devido aos usuários atuais e antigos. E as estimativas devem ser realizadas por estudos hidrológicos convencionais, que lançam mão de técnicas de regionalização e modelagem hidrológica.

Na caracterização da disponibilidade hídrica, a função adotada para a estimativa se reveste de fundamental importância. A curva de permanência de vazões é a função usualmente utilizada e expressa a probabilidade de ocorrência da vazão média diária do rio ser maior ou igual a um determinado valor, no período de sua amostra. A função é tratada estatisticamente admitindo intervalos de confiança para determinação da permanência das vazões nos anos secos e úmidos (Cruz, 2001), sendo determinadas para cada mês do ano visando à caracterização da sazonalidade, sendo este o objeto do artigo associado ao presente artigo em sua Parte I.

As curvas de permanência das vazões foram determinadas com intervalos de confiança de 10%, sendo que os valores do limite superior (5% acima da média) representam anos úmidos, os valores da curva média representam o valor esperado em anos “normais”, enquanto que os valores do limite inferior (5% abaixo da média) representam anos secos (Artigo Parte I).

Além disso, a vazão de preservação ambiental deve ser considerada com outro fator limitante do processo de outorga, pois imobiliza volumes aparentemente disponíveis para a conservação ambiental. Embora protegida pela legislação corrente, é precariamente definida no Brasil, sendo em geral, utilizados valores

fixos. Em função da falta de metodologias desenvolvidas para os ambientes brasileiros que indiquem o uso de métodos baseados em padrões hidráulicos ou de habitats, dois critérios hidrológicos são usualmente utilizados para determinação da vazão ambiental a ser mantida no leito dos rios, indisponível, pois, para outorga quantitativa.

O primeiro critério para a estimativa da vazão de preservação ambiental baseia-se nos valores sugeridos pelo relatório técnico de Benetti e Lanna (2000), fixando-se uma percentagem da vazão de referência de outorga.

Considerando que a curva de permanência obtida para cada mês reflete as vazões “marco zero”, isto é, remanescentes das retiradas atuais, principalmente pelo uso intensivo das lavouras orizícolas, os valores observados são menores do que a produção hídrica da bacia. Assim, adotou-se, como critério, um percentual mais elevado para os meses afetados pela atividade de irrigação, por exemplo, 50% da  $Q_{90\%}$ , como um coeficiente conservativo. Para os demais meses, pouco afetados na oferta hídrica natural, o uso do percentual da literatura constitui-se em uma escolha conscienciosa, na falta de melhores definidores, sendo usualmente adotado o valor de referência de 30% da  $Q_{90\%}$  (UFMS/SEMA, 2004). Seguindo esse critério, é coerente também considerar que, nas SHRs onde a demanda é quase totalmente definida pela irrigação da lavoura orizícola, a vazão ambiental seja 50% da  $Q_{90\%}$ , e nas demais 30% da  $Q_{90\%}$ .

O segundo critério considera os aspectos de qualidade da água (vazão sanitária). Este critério baseia-se no fato de que algumas das variáveis de qualidade podem ser expressas em termos de cargas de poluentes, caso a vazão no curso d'água seja conhecida no momento da coleta. Como hipótese de base desse critério está a consideração de que as cargas observadas correspondem, caso não haja escoamento superficial, às cargas de base da bacia. Dessa forma, a vazão ecológica pode ser estimada como a vazão que proporcione condições de diluição aos poluentes de modo que as condições de qualidade do rio fiquem dentro dos limites estabelecidos no enquadramento do mesmo.



## ETAPA DE REALIZAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico realiza a distribuição de água entre os diferentes trechos de gerenciamento, otimizando o seu uso pela compensação entre déficits e superávits hídricos entre as seções de referência, pois

todo usuário de jusante é também um usuário de montante e vice-versa. Esta otimização no balanço hídrico é aplicável tanto na fase de planejamento de um sistema de outorga quanto na circunstância de estabelecimento de estratégias de racionamento de água em épocas de estiagem.

As simulações com o modelo de banco hídrico permitem analisar de que forma diferentes fatores influenciam na distribuição de água entre os usuários, tais como: critérios para discretização do sistema, critérios de alocação de volumes, prioridades de uso, variabilidade das vazões, sazonalidade de oferta e demanda, erros de estimativa de vazão, e os reflexos da outorga no fluviograma remanescente, importantes para a avaliação dos impactos ambientais.

Na estruturação do modelo de balanço hídrico adotaram-se as seguintes formulações e delineamentos metodológicos:

-  as demandas referentes a cada trecho delimitado por duas SHRs são agrupadas por tipo de usuário dentro dos trechos e concentradas na SHR de montante;
-  a cada vazão outorgada em uma determinada SHR<sub>i</sub> fica indisponibilizada tanto para usuários de jusante, como para de montante, uma vez que o corpo hídrico é único. A demanda que influencia diretamente a disponibilidade hídrica e que entra explicitamente na equação do balanço hídrico da seção é o somatório de todas as demandas acumuladas das seções de montante mais a demanda da própria seção ( $\sum Q_u$ ) (Kelman, 1997).

A equação do balanço hídrico em cada seção fica, portanto:

$$Qr^i = Qd^i - Qe^i - \sum_{j=1}^{ni} Qu^j \quad (1)$$

onde:

$Qr^i$  é a vazão outorgável na seção  $i$ .

$ni$  representa o número de seções à montante de  $i$ , inclusive  $i$ ;

$\sum_{j=1}^{ni} Qu^j$  é a demanda da SHR<sub>i</sub> acumulada com as “ $j$ ” demandas de montante;

$Qd^i$  é a vazão real da bacia remanescente dos usos atuais exercidos na SHR<sub>i</sub>;

$Qe^i$  representa a vazão de conservação ambiental na SHR<sub>i</sub>.

As técnicas de otimização são algoritmos matemáticos que procuram minimizar uma função objetivo. A função selecionada para este trabalho é a função relativa (equação 2), por ter a característica de buscar uma distribuição equânime das vazões de outorga.

$$FO_{relativa} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{demanda} - Q_{outorgada}}{Q_{demanda}} \right)^2 \quad (2)$$

onde:

$Q_{demanda}$  = vazão de demanda no trecho de gerenciamento

$Q_{outorgada}$  = vazão outorgada no trecho de gerenciamento, isto é, demanda atendida

$n$  = número de trechos de gerenciamento.

O cálculo da otimização é realizado em planilhas eletrônicas, organizadas conforme a Tabela 1 e descrição a seguir.

Na primeira coluna consta a identificação de cada SHR.

Na segunda coluna, consta a vazão de referência para disponibilidade hídrica, no caso a vazão de 90% de permanência. Essa vazão pode ser a  $Q_{90\%}$  média, ou os limites dos intervalos de confiança. Os limites de confiança inferiores caracterizam anos secos e os limites superiores caracterizam anos úmidos (conforme descrito no Artigo 1).

A terceira coluna é reservada para a vazão de conservação ambiental (vazão ecológica), a qual pode ser obtida por diferentes critérios.

A disponibilidade marco zero, resultado da subtração “Vazão de referência menos vazão ambiental” é colocada na quarta coluna.

A quinta coluna é reservada para apresentação das demandas de cada trecho e a sexta coluna para apresentação das demandas acumuladas do trecho mais as demandas dos trechos a montante.

A coluna 7 é a coluna onde o algoritmo de otimização colocará o resultado do processamento. Os resultados positivos significam vazões que podem ser outorgadas como acréscimo dos usos já reservados na disponibilidade marco zero. Os valores negativos indicam a necessidade de implementar o racionamento como forma de atingir os objetivos de conservação ambiental.

Nesse equacionamento, na fase de planejamento, as vazões outorgáveis resultantes do balanço hídrico referem-se a valores adicionais aos usos atuais que podem ser fomentados. Por outro lado, se os valores



forem negativos, significa que há a necessidade de racionamento. Assim, dentro da região de abrangência da SHR que resultar em valores negativos, os usuários deverão ser encaminhados para a redução de consumo.

A coluna 8 mostra os resultados dos valores de outorga ou racionamento de cada seção acumulados com os valores obtidos para as seções de montante.

Finalmente, na coluna 9, apresenta-se o impacto hidrológico nas seções devido à distribuição de água realizado pelo algoritmo de otimização. Valores negativos indicam que mesmo com racionamento, é preciso reavaliar a dinâmica hídrica da região com problemas, o que somente pode ser realizado a partir da implantação da rede de monitoramento hidrológico dimensionada para a finalidade de outorga.

O algoritmo de otimização pode ser programado em macro Visual Basic da planilha EXCEL (Microsoft®) e pode ser rodado com o simples apertar de uma tecla de atalho. Assim, vários cenários podem ser facilmente simulados. Por exemplo, pode-se:

- mudar as demandas em função de um redimensionamento de tecnologias de plantio ou

de alterações de culturas ou implantação de outros tipos de uso

- mudar a disponibilidade hídrica em função da implantação de obras de regularização
- mudar as vazões de preservação ambiental a partir de alteração no critério de consideração desta vazão
- mudar os valores de disponibilidade e ou de vazões ecológicas em função das novas informações da rede de monitoramento hidrológico
- programar diferentes cenários de racionamento, utilizando-se diferentes intervalos de confiança da vazão de referência. Isto pode ser útil para as ações de fiscalização do poder outorgante no momento em que se configura uma situação de seca.




### ETAPA DE OPERACIONALIZAÇÃO DA OUTORGA

Na fase de implantação, o balanço hídrico é realizado solicitação a solicitação, considerando as situações em que o usuário já exerce o uso ao longo dos anos ou em que o usuário é novo.

TABELA 1  
Modelo de balanço hídrico na planilha eletrônica (adaptado de Cruz, 2001)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
SHR	Vazão de referência para outorga $Q_{90\%}$	Vazão Ambiental	Disponibilidade Marco Zero	Demanda Individual	Demanda Acumulada (de montante para jusante até a SHR, inclusive	Racionamento individual ou Outorgada	Valor outorgado ou de racionamento acumulados	Disponibilidade Remanescente
1			Coluna 2 menos coluna 3		Demanda na seção mais a soma das demandas de montante	Resultado da otimização	Demanda outorgada ou racionamento na seção mais a soma das demandas ou racionamentos de montante	Coluna 4 menos Coluna 8
2								
3								
...								
21								
Total								

Se o usuário é antigo, ele poderá ser enquadrado em três situações:

-  solicita outorga para a mesma quantidade de água utilizada nos anos anteriores. Nesse caso, a outorga será concedida nos valores declarados, os quais deverão ser comprovados através de documentos que comprovem essa situação;
-  solicita outorga para uma quantidade inferior de água àquela que vem praticando nos últimos anos. Nesse caso, o usuário recebe a outorga e a diferença entre o consumo anterior e o solicitado será adicionado à seção de referência para futuro balanço dentro da SHR.
-  solicita outorga para um valor acima do qual está sistematicamente utilizando no passado. Neste caso, a parcela do volume solicitado referente aos valores já exercidos no passado é outorgada, sendo que a parcela complementar somente será aprovada após verificação nas planilha do balanço hídrico dentro da pró-

pria SHR. É necessário verificar se as vazões outorgáveis relativas à SHR do solicitante são suficientes para a concessão da outorga dos valores adicionais.

Se o usuário é novo, os valores solicitados devem ser confrontados com os valores outorgáveis na SHR do solicitante, resultantes do balanço hídrico realizado na fase de planejamento. Se os valores forem compatíveis é concedida a outorga, se não, pode ser concedida apenas a parcela disponível e, se não interessar ao empreendedor um valor parcial, então será negada a outorga.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia do rio Santa Maria, exemplo de aplicação do método de balanço hídrico integrado, foi dividida em 21 SHRs, sendo que a seção (21<sup>a</sup>) é considerada no exutório. A localização das 21 SHRs pode ser visualizada na Figura 1. A Tabela 2 identifica as 21 SHRs de trabalho.

TABELA 2  
Seções Hidrológicas de Referência da Bacia do Rio Santa Maria, RS

COORDENADAS		Área	UTM		Geográficas SAD69	
Seção	Nome	km <sup>2</sup>	X	Y	S	W
SHR 01*	PONTE DO UPAMAROTI	303.2	673868	6558410	31°05'42,62"	55°10'37,50"
SHR 02	PONTE DA BR 293	1916.1	686394	6586453	30°50'25,28"	55°03'3,47"
SHR 03	PASSO BENTO RENGÓ	415.3	738425	6537095	31°16'33,48"	54°29'44,35"
SHR 04	PASSO DA FERRARIA	225.6	750049	6552243	31°08'13,19"	54°22'38,77"
SHR 05	FAZENDA TULIPA	700.2	713644	6551932	31°08'49,23"	54°45'32,13"
SHR 06	DOM PEDRITO	2116.7	720715	6571014	30°58'25,17"	54°41'20,28"
SHR 07	PASSO DO GUTERREZ	578.9	734874	6585021	30°50'40,73"	54°32'38,59"
SHR 08	PASSO DAS MERCÊS	638.1	745186	6609420	30°37'21,41"	54°26'31,69"
SHR 09*	PONTE BAETA E JACARÉ	4971.6	720381	6612455	30°36'0,29"	54°42'4,93"
SHR 10	PONTE DA CRUZ	256.2	657665	6597808	30°44'31,59"	55°21'10,81"
SHR 11	PONTE DA FAXINA	641	671351	6592132	30°47'29,07"	55°12'32,92"
SHR 12	PONTE FARRAPOS	4540.9	686150	6623500	30°30'22,64"	55°03'36,73"
SHR 13	PONTE CONCEIÇÃO	1719.5	683588	6615750	30°34'35,68"	55°05'7,86"
SHR 14	PONTE DO SALSO	206.2	686250	6638500	30°22'15,57"	55°03'42,62"
SHR 15	PONTE IBICUI DA ARMADA	5998.1	701723	6648264	30°16'49,63"	54°58'10,04"
SHR 16	ROSÁRIO DO SUL	12102	700464	6652560	30°14'30,91"	54°55'00,08"
SHR 17	AZEVEDO SODRÉ	1240.6	727510	6666980	30°06'25,66"	54°38'20,06"
SHR 18	PONTE NOVA	1845.2	707300	6690979	29°53'49,00"	54°51'51,46"
SHR 19	PONTE DE MADEIRA	13025.6	699698	6685745	29°56'33,95"	54°55'51,20"
SHR 20	PONTE SAICÁ	720.4	692580	6692582	29°52'56,05"	55°00'20,99"
SHR 21	EXUTÓRIO	15797.3	700776	6701111	29°48'14,42"	54°55'21,36"

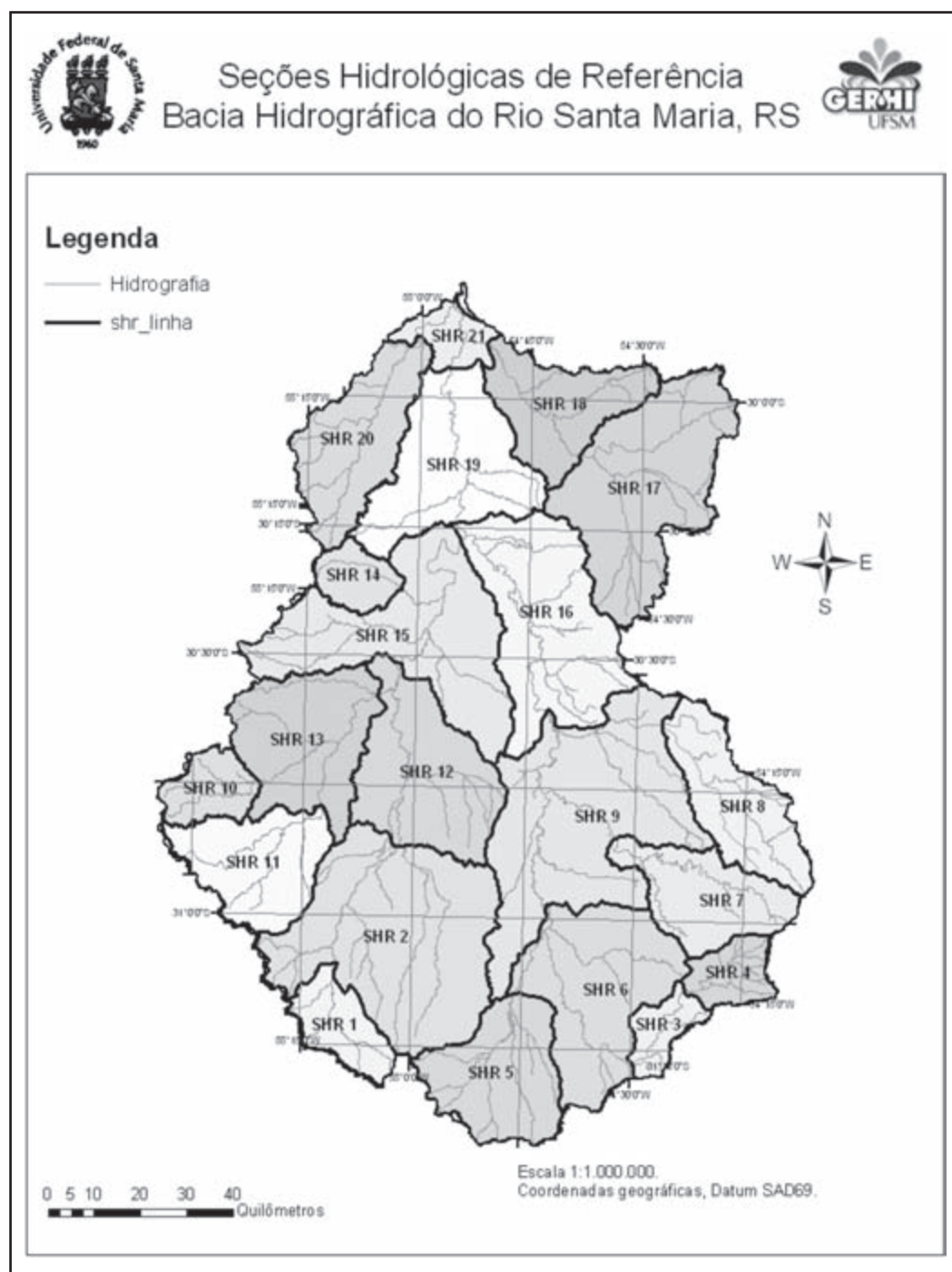


FIGURA 1. Bacia do Rio Santa Maria (RS) e as Seções Hidrológicas de Referência



Na Figura 2 são apresentados os resultados de duas simulações na bacia do rio Santa Maria com a formulação descrita do balanço hídrico otimizado:

- em um cenário são simuladas apenas as necessidades de racionamento para atender a demanda ambiental segundo o primeiro critério hidrológico de definição de vazão ambiental.
- na segunda simulação, procura-se atender a vazão sanitária na cidade de Rosário do Sul no período de verão, onde há um balneário.

Os resultados mostram que, quando o algoritmo busca atender somente o arroz, existe um racionamento menor para a SHR16, de Rosário do Sul, em contraposição ao racionamento programado da ordem de 42%. Esse valor é necessário para que as vazões fiquem disponíveis no leito do rio e forneçam a vazão necessária para atendimento das características de qualidade para o balneário. Em compensação, nesse caso, como a água passa por Rosário com a

diluição da demanda orgânica atendida, a água passa a ficar disponível para as seções a jusante, quando então o modelo indica a possibilidade de incremento de uso. As seções de jusante de Rosário são as SHRs 19 e 21.

Esse exemplo mostra que o modelo aloca valores tanto para uso (valores positivos) como para racionamento, sempre que as necessidades ambientais não forem atendidas. Nesse exemplo foram utilizados como ponderadores do otimizador, as demandas totais estimadas na bacia para arroz. Porém, é possível alterar o critério de ponderação, utilizando-se, por exemplo, as demandas já outorgadas diretamente do rio.

No exemplo da Figura 3, são comparados os resultados da otimização para os dois critérios de ponderação, no cenário que não considerou a demanda sanitária de Rosário do Sul. Uma característica desse tipo de formulação é que, à medida que o órgão ges-

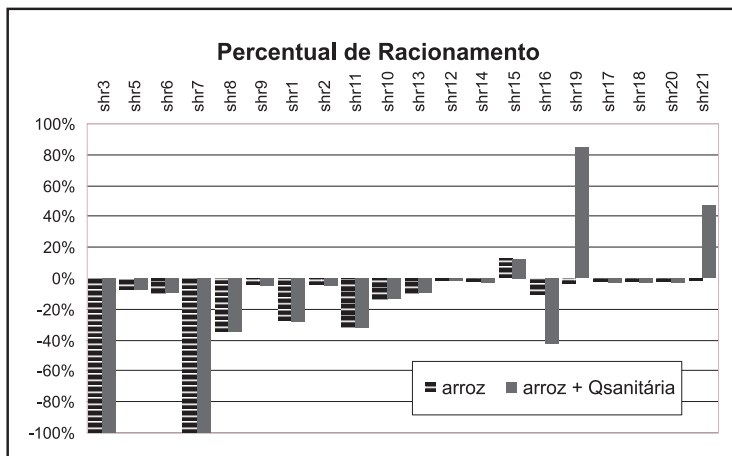


FIGURA 2. Racionamentos na bacia do Santa Maria

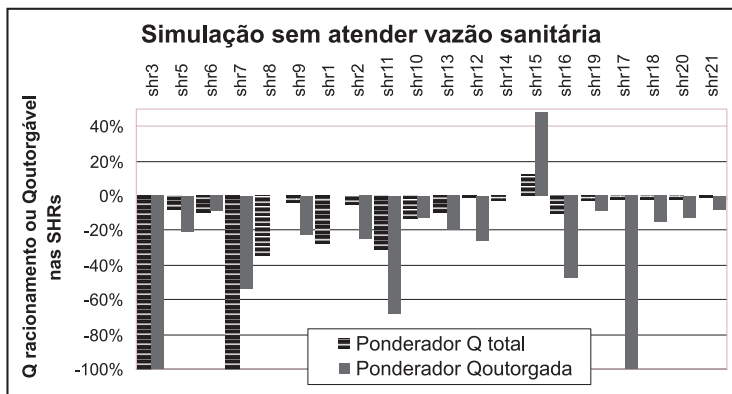


Figura 3 - Simulações sem considerar a demanda sanitária: com ponderador demanda de arroz total e ponderador demanda outorgada captação direta do rio

tor possua mais definição dos cenários de demanda, o modelo auxilia no replanejamento dos usos, sempre considerando a sustentabilidade.

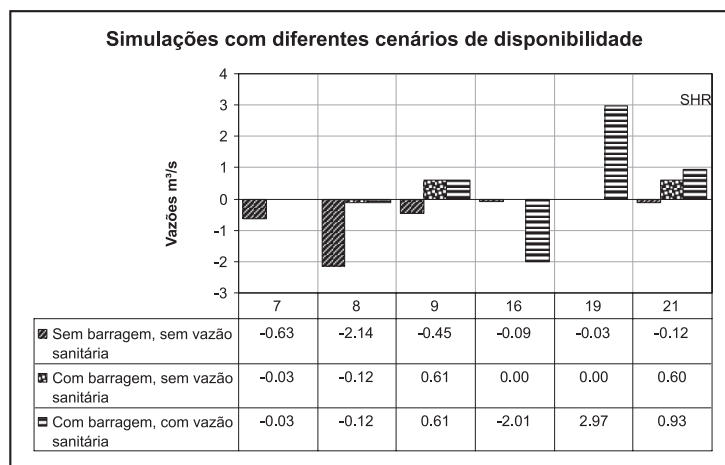
Outra consideração que pode ser feita com relação ao uso desse método, é que as disponibilidades utilizadas no modelo também são critérios de planejamento. Os racionamentos são planejados para serem colocados em prática somente nas situações de emergência. Por exemplo, no caso da bacia do estudo, existe inventário de obras de reservação. Foram realizadas simulações considerando a inserção de duas barragens, próximas as SHRs 7 e 8 e com influência direta nas SHRs 9, 16, 19 e 21, contabilizando um acréscimo total de 7,43m<sup>3</sup>/s. O resultado da otimização para o cenário dos anos secos nas SHRs diretamente influenciadas pelas obras podem ser visualizados na Figura 4. Observe-se que, sem as obras, a simulação apresenta grande necessidade de racionamento nas SHRs 7 e 8, que fica praticamente eliminada na simulação com a inserção das obras. Mesmo com as obras, pode-se verificar também que quando se coloca as necessidades de reserva hídrica para diluição da poluição (vazão sanitária) em Rosário do Sul (SHR16), aparece a necessidade de racionamento na mesma, apesar do incremento da vazão pelas obras.

A planilha oferece ainda como vantagem, a fácil interferência do decisor, caso os valores resultantes da otimização não forem satisfatórios. O Solver utilizado para otimização, algoritmo disponível nas planilhas

EXCEL da Microsoft®, é um otimizador “cego” cujo resultado inicial pode ser um “ótimo local”, mas nem sempre é o ótimo global. Para esses casos é necessário atribuir valores iniciais, com o objetivo de guiar o otimizador para o melhor resultado. No exemplo da Figura 5, o otimizador define valores de fomento para a SHR15, em virtude de essa SHR apresentar uma vazão remanescente positiva, mesmo no cenário de anos secos. Neste cenário, espera-se que o algoritmo defina e distribua igualitariamente os valores de racionamento entre os trechos. Neste caso, o decisor pode intervir. Na simulação apresentada na Figura 5, o decisor escolhe considerar que a vazão remanescente na SHR15 é zero, roda novamente o otimizador. Como a solução ainda prevê fomento na SHR15, ele decide ajustar os valores manualmente. Essa tarefa é facilitada, pois, da forma como é estruturado o modelo (Tabela 1), basta o decisor alterar o valor do racionamento na coluna 7 e o impacto é imediatamente mostrado na coluna 9. Iterativamente é possível redistribuir os valores, segundo critérios que podem ser acordados pelos decisores. Esse exemplo de redistribuição pode ser visto na Figura 5.

### CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO DE BALANÇO HÍDRICO

O modelo de balanço hídrico apresentado neste artigo, estruturado em planilha eletrônica, tem como uma das vantagens possibilitar a análise instantânea



**Figura 4 – Simulações considerando cenários sem barragens de acumulação e com barragens**

das respostas quando o decisor altera os valores outorgáveis em cada seção. As alterações são feitas em função dos interesses para análise nos comitês e para formulação de cenários para o plano da bacia. O fato de o equacionamento ser claro beneficia o processo de compreensão do sistema, facilitando a interlocução com as demais instâncias coletivas do sistema de gestão de recursos hídricos. Outra vantagem é o fato da planilha ser um software de larga utilização no mercado e de fácil aquisição. Esse fato facilita o uso do modelo por parte de interessados do meio acadêmico, de gestores de recursos hídricos, de usuários, nas reuniões de comitês, como forma de refletir sobre a sustentabilidade dos recursos hídricos, a partir da avaliação dos mais diferentes cenários que queiram simular, todos facilmente organizados no modelo. Além disso, é possível avaliar o uso de funções objetivo não lineares.

Outra característica do modelo é que ele é agregador de novas informações: se estudos de vazão ambiental forem realizados, basta refazer o planejamento, alterando os valores da respectiva coluna. Da mesma forma, se os cenários de demanda se alterarem ou, se as disponibilidades forem acrescidas devido a projetos e/ou obras de reservação, é possível avaliar o impacto das mesmas em termos de vazões outorgáveis. Essa característica do modelo permite facilmente a adequação e evolução, de forma adaptativa, do processo de planejamento do uso dos recursos hídricos de uma bacia.

Esta formulação mostrou-se bastante robusta para análise da outorga em bacias com uso consuntivo ele-

vado dos recursos hídricos. Porém, o mesmo pode ser largamente utilizado em bacias com outros tipos de usuários. Demandas qualitativas, como foi mostrado, podem ser transformadas em vazões de diluição. A diferença é que na planilha vai parecer que a água “foi retirada”, porém no rio ela vai estar escoando.

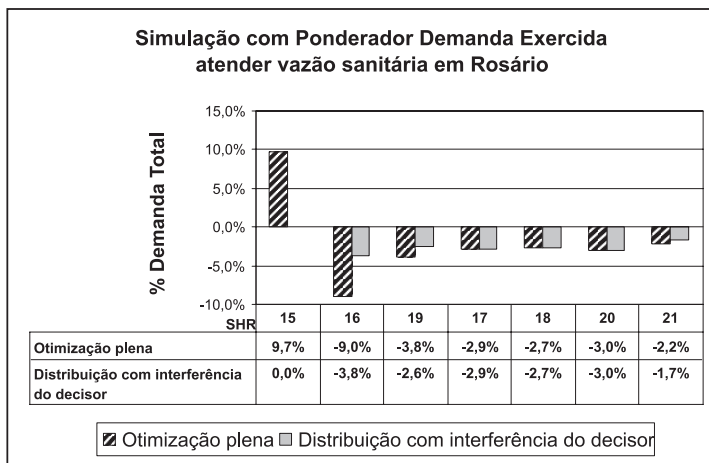
## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Objetivou-se neste artigo apresentar um modelo de balanço hídrico para viabilizar o processo de implementação da outorga de direito de uso dos recursos hídricos, não cartorial, adaptado para regiões com uso consuntivo elevado que possa ser implementado mesmo diante de situações de carência de dados de demandas detalhadas, isto é, com as vazões e respectivos regimes temporais.

Os resultados da aplicação da metodologia apresentada estão sendo utilizados nos processos de outorga nas bacias de gerenciamento do rio Santa Maria e do rio Ibicuí, mediante processo negociado com os respectivos comitês de gerenciamento. Além disso, o modelo estruturado está sendo utilizado para avaliar o impacto da inserção de estrutura hídrica na bacia conforme UFSM/SEMA,2006.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a SEMA/RS, a FINER, ao CT-Hidro, ao CNPq, a FAPERGS e a UFSM o apoio ao desenvolvimento desses estudos.



**Figura 5 – Simulações com otimizador e com interferência do decisor**

## Referências

- CRUZ, J. C. 2001. **Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Práticos e Conceituais**. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental di IPH/UFRGS. 205p. Porto Alegre. RS.
- CRUZ, J.C. et. al (2007) **Estratégia de outorga de uso da água para usuários hidroagrícolas no Rio Grande do Sul, Brasil**. Volume 3 nº 1 (janeiro/junho/2006).. REGA. Revista de Gestão de Águas da América Latina. , v.3, p.5 - 16, 2007
- CRUZ, J. C. *et al.* (1999). **Avaliação de Disponibilidades Hídricas para Outorga: Sistemática Modular de Avaliação**. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA (4.: Coimbra). 1999, Coimbra. Comunicações... Coimbra: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 1999, 1 CD-ROM
- KELMAN, J. (1997). **Gerenciamento de recursos hídricos. Parte I: Outorga**. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1997, Vitória. Anais... Vitória: ABRH, 16 a 20/nov/1997, CD-ROM.
- BENETTI, A. D. ; LANNA, A. E. . **Estabelecimento de critérios para definição da vazão ecológica no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAM, 2000 (Relatório).
- SILVEIRA, G. L. *et al* (1998). **Outorga para uso dos recursos Hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado**. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 3, nº 3, Jul/Set., 1998, p. 5-16.
- UFSM/SEMA (2004). **Desenvolvimento de ações para implantação da Outorga na bacia do rio Santa Maria, RS. Relatório Técnico Final**. 2004. Convênio UFSM/SEMA/RS.
- UFSM/SEMA (2006). **Estudo de Viabilidade do Licenciamento Ambiental das Barragens de Uso Múltiplo Jaguari e Taquarembó**. Parecer Técnico para FEPAM/SEMA/RS. 2006.

Jussara Cabral Cruz UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. jussaracruz@gmail.com.

Geraldo Lopes da Silveira UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. geraldo.ufsm@gmail.com