

## **Otimização do Aproveitamento da Disponibilidade de Águas Superficiais na Bacia do Ribeirão entre Ribeiros**

**Josiane Rosa de Oliveira<sup>1</sup>, Fernando Falco Pruski<sup>2</sup>, Aline de Araújo Nunes<sup>2</sup>**

*josirsliveira@yahoo.com.br; ffpruski@ufv.br; alinedearaujonunes@gmail.com*

*Recebido: 29/08/12 - revisado: 10/12/12 - aceito: 06/08/13*

---

### **RESUMO**

*A outorga de direito de uso da água tem como finalidade ajustar demandas e disponibilidades e garantir o atendimento aos usos atuais e futuros da água. Os critérios para concessão de outorgas a fio d’água são baseados no uso de percentuais das vazões mínimas observadas em períodos de estiagem (vazões de referência). Considerando que a sazonalidade da disponibilidade e o uso de critérios menos restritivos constituem alternativas que podem proporcionar melhor uso da água, objetivou-se com o presente trabalho caracterizar as demandas de uso da água; quantificar a disponibilidade hídrica; e avaliar o impacto do uso de diferentes critérios de outorga; sendo feito um estudo de caso da bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Para quantificar as retiradas de água na bacia foi feita uma consulta ao arquivo físico do IGAM e para quantificar a disponibilidade foi feita a regionalização da vazão de referência. As demandas e vazões regionalizadas obtidas nas bases anual e mensais foram espacializadas ao longo da BHTCOMG e foi feita a avaliação do impacto da substituição das vazões anuais pelas mensais, considerando os critérios baseados no uso de 30% da  $Q_{7,10}$  anual e mensal e de 50% da  $Q_{7,10}$  anual e mensal, para cada trecho da hidrografia. Com base nos resultados obtidos constatou-se que: a mudança do critério de 30% para 50% da  $Q_{7,10}$  anual promoveu aumentos de 5% a 170% no percentual de trechos em que o somatório das outorgas não superou a vazão máxima outorgável; o uso do critério de 30% da  $Q_{7,10}$  mensal proporcionou aumentos de até 209% no percentual dos trechos atendidos.*

**Palavras-chave:** Sazonalidade do regime de vazões. Gestão. Planejamento.

---

### **INTRODUÇÃO**

A água, um dos mais preciosos recursos naturais, é um bem essencial à vida e ao desenvolvimento econômico (CHEN & CHANG, 2010; ZHAO & CHEN, 2008). A demanda por sua utilização para fins agrícolas, industriais, domésticos e de lazer está aumentando rapidamente devido ao crescimento populacional. A escassez hídrica, situação em que a disponibilidade hídrica é insuficiente para atender as demandas, já é evidenciada em várias partes do mundo (SUŠNIK et al., 2012; LI et al., 2010a; VAI-RAVAMOORTHY et al., 2008).

A escassez de água aumenta a pressão sobre os recursos hídricos, e, por esta razão, todos os fatores que contribuem para mudanças no consumo e uso da água devem ser identificados e analisados

(MAHMOUD, 2011). A gestão dos recursos hídricos deve se concentrar cada vez mais na sustentabilidade e análise dos fatores que influenciam a demanda de água (DAVIES; SIMONOVIC, 2011). Consequentemente, o planejamento e gestão eficiente dos recursos hídricos são de grande necessidade para o desenvolvimento sustentável (ZHANG et al., 2008).

Em diversas regiões do Brasil tem sido evidenciadas situações de escassez hídrica, como é o caso da bacia do ribeirão Entre Ribeiros, afluente do rio Paracatu, que teve expressivo aumento da demanda pelo uso da água, principalmente devido à expansão das áreas irrigadas, após os incentivos governamentais ocorridos na década de 70. A bacia do Entre Ribeiros sofre uma crise hídrica e apresenta situação preocupante (IRRIPLAN ENGENHARIA, 2003).

Problemas advindos dos conflitos pelo uso da água, como os já evidenciados na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, e em diversas outras bacias brasileiras, remetem a necessidade de planejamento e aprimoramento da forma de gerenciar e normatizar o uso da água de modo a garantir a oferta deste recurso para a atual e para as futuras gerações.

---

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Agrícola/UFV

Para o gerenciamento adequado do potencial hídrico disponível é fundamental conhecer o comportamento dos rios e seus regimes de variação de vazões, considerando as suas distribuições espaciais e temporais, de forma a auxiliar nas decisões político-administrativas associadas ao uso da água (GÁMIZ-FORTIS et al., 2011; GONG et al., 2010). Alguns dos conflitos existentes poderiam ser minorados, e até resolvidos, a partir do melhor conhecimento do processo de circulação da água na bacia hidrográfica (GÁMIZ-FORTIS et. al., 2011; COULIBALY; BURN, 2005).

As vazões mínimas caracterizam a disponibilidade hídrica natural ao longo da hidrografia, sendo o escoamento subterrâneo o principal contribuinte para a formação destas vazões (SMAKHTIN, 2001). A vazão média de longa duração é utilizada para caracterizar a disponibilidade hídrica potencial, a qual pode vir a ser aproximada ou alcançada a partir da utilização de práticas para a regularização de vazões (PRUSKI; PRUSKI, 2011).

Os dados de vazões observadas, muitas vezes, não estão disponíveis ou são insuficientes, prejudicando o planejamento e a gestão dos recursos hídricos. Hidrólogos têm trabalhado diante deste desafio, desenvolvendo diversas ferramentas de previsão, que são comumente referidas como técnicas de regionalização (MASIH et al., 2010).

A regionalização de vazões é uma técnica utilizada para suprir a falta de informação hidrológica em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados (CUTORE et al., 2007; YADAV et al., 2007; ESLAMIAN; BIABANAK, 2008; MASIH et al., 2010; SAMUEL et al., 2011). Essa técnica requer o entendimento e o conhecimento dos processos hidrológicos, sendo a heterogeneidade espaço-temporal dos elementos climáticos e da própria paisagem um grande desafio para a previsão hidrológica (LI et al., 2010b).

Condicionada à disponibilidade hídrica e adotada pela Lei Federal 9.433 de 1997 como um de seus instrumentos, a outorga do direito de uso da água visa reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivando a racionalização do uso da água (GERBER, 2002).

A outorga de direito de uso da água tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. A magnitude da vazão ou do volume a ser outorgado é determinada de acordo com os critérios adotados pelos órgãos gestores, respeitando a dominialidade dos corpos hídricos (SILVA et al., 2006).

O estado de Minas Gerais estabelecia a vazão máxima outorgável, em condições ditas a fio d'água, em 30% da  $Q_{7,10}$  (vazão mínima média de 7 dias subsequentes, estimada para um período de retorno igual a 10 anos). Tal critério, o mais restritivo entre aqueles utilizados nos diversos estados brasileiros, dificultava, em alguns momentos, o deferimento de processos em que ainda havia grande disponibilidade hídrica na bacia (CASTRO et al., 2004). Atualmente, o critério adotado em Minas Gerais é de 50% da  $Q_{7,10}$  anual, sendo ainda um dos mais restritivos do país. Considerando que uma vazão mínima em base anual corresponde ao mínimo de todo o ano e que a mesma em base mensal corresponde aos mínimos de cada mês do ano, o uso de vazões de referência para outorgas estimadas considerando o período anual restringe o uso da água a um valor não evidenciado na maior parte do ano em regiões com grande variabilidade sazonal de vazões.

Tian et al. (2012) analisaram a variabilidade hidrológica intra-anual na bacia de Blue River (Oklahoma) e constataram que no período úmido (outubro a abril), as vazões são consideravelmente maiores do que aquelas observadas no período seco (maio a setembro). Segundo Tomer & Schilling (2009), dependendo da região de estudo, o aumento ou decréscimo do regime de vazões é influenciado pelas variabilidades climáticas, principalmente pelas variações intra-anuais do clima.

Relativo ao processo de gestão, Cruz & Tucci (2008) realizaram um estudo de comparação entre critérios de obtenção das curvas de permanência para seções fluviométricas pertencentes à bacia hidrográfica do rio Jacuí, RS e destacaram a importância da implementação da sazonalidade através da determinação das curvas de permanências mensais, de forma a aprimorar a informação para o gestor, permitindo a flexibilização e racionalização das liberações de uso das águas em função dos diferentes períodos de oferta de água.

O uso das vazões mínimas mensais como índices de referência para a definição de critérios para a concessão de outorga, em substituição às calculadas em base anual, pode representar um expressivo aumento da quantidade de água permitível para outorga, sem que isto signifique um aumento no risco de ocorrência de vazões que possam causar um comprometimento ambiental.

Simulações realizadas por Euclides et al. (2006) mostraram que na região hidrográfica do Baixo Rio Grande, situada no Estado de Minas Gerais, o uso do critério de outorga sazonal, para condições de captação a fio d'água permitiu aumentar a

vazão outorgada em até 61,80%. Nas demais sub-bacias do rio Grande estudadas, utilizando o mesmo procedimento foi possível um acréscimo na vazão de 52,40%.

No estudo de Bof (2010), realizado para a bacia do rio Paraopeba, situada em Minas Gerais, foi evidenciado que a utilização de critérios baseados em vazões mensais potencializa um melhor plano de utilização da água, à medida que permite um maior uso da água no período em que há disponibilidade e impõe uma restrição mais realista no período crítico de disponibilidade de água.

Plate (2002) salienta que quando um sistema de gerenciamento não se caracteriza mais como adequado para atender as necessidades das populações torna-se necessário o desenvolvimento de um novo sistema, ou a revisão do sistema existente, adequando-o às novas condições.

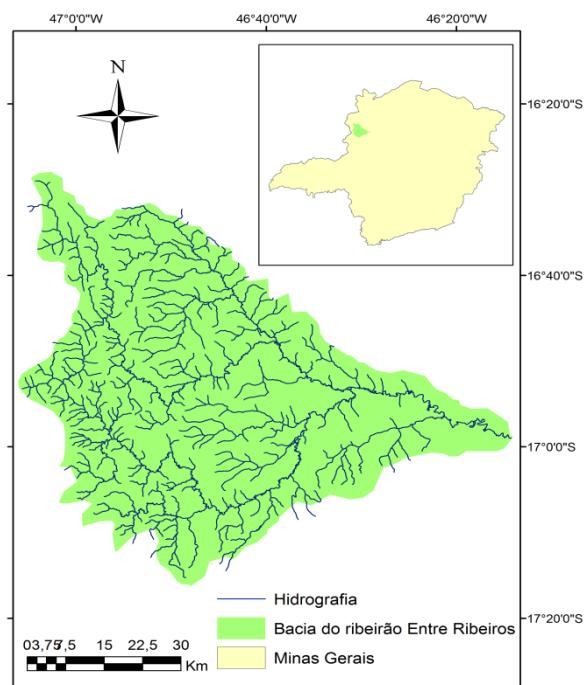
Deste modo, o presente trabalho foi fundamentado na hipótese de que a sazonalidade da disponibilidade e o uso de critérios menos restritivos constituem alternativas que podem proporcionar melhor uso da água na bacia do Entre Ribeiros e, consequentemente, a redução de conflitos, atuais e potenciais nesta bacia. Desta forma, este trabalho foi desenvolvido visando a caracterização das demandas de uso da água; quantificação da disponibilidade hídrica; e avaliação do impacto do uso de diferentes critérios de outorga; sendo feito um estudo de caso da bacia do ribeirão Entre Ribeiros.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do ribeirão Entre Ribeiros, um dos principais afluentes da bacia do rio Paracatu, apresenta contribuição para a formação da vazão média deste rio igual a 8%. Esta sub-bacia está localizada entre os paralelos 16° 30' e 17° 16' de latitude Sul e os meridianos 46° 15' e 47° 05' de longitude Oeste. A sub-bacia do Entre Ribeiros abrange aproximadamente 3.973 km<sup>2</sup>, situados integralmente no Estado de Minas Gerais (Figura 1).

O clima na bacia do Entre Ribeiros é predominantemente tropical chuvoso, com a ocorrência de dois períodos distintos no ano, verão chuvoso e inverno seco. A precipitação média anual está em torno de 1.100 a 1.600 mm, distribuídas desigualmente ao longo do ano, estando, entre os meses de novembro e março, acumulados 81% das chuvas que ocorrem durante o ano (IRRIPLAN ENGENHARIA, 2003).



**Figura 1 – Representação geográfica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros.**

### Demandas de uso da água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros

Para quantificar os usos de água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros foram consideradas no estudo as outorgas superficiais, a fio d'água e em barramentos, emitidas pelo órgão responsável pela concessão de direito de uso dos recursos hídricos em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Foram consultados os processos relativos às outorgas válidas e concedidas até junho de 2010.

Utilizando as coordenadas geográficas de cada seção da hidrografia com outorga foram inseridos pontos ao longo da hidrografia da Base Hidrográfica Topologicamente Consistente Ottocodificada do Estado de Minas Gerais (BHTCOMG), cedida pelo IGAM. A cada ponto de outorga foram associados os valores demandados em cada mês ao longo do ano, considerando que todas as retiradas são feitas a fio d'água, independente da condição real ser a fio d'água ou em barramento, durante 24 horas por dia e 30 dias por mês. Esta consideração foi feita com base no princípio da superposição das informações, ou seja, para fins de contabilização foi

considerado que todas as outorgas acontecem de forma simultânea ao longo da hidrografia.

As análises das demandas foram feitas em base mensal e foi considerado o valor total de demanda, em cada trecho da hidrografia, obtido a partir do somatório dos valores outorgados nas seções a montante da confluência do trecho considerado com o trecho subsequente em cada mês.

### Quantificação da vazão disponível para outorga na bacia do ribeirão Entre Ribeiros

A vazão mínima de referência foi caracterizada pela vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de retorno ( $Q_{7,10}$ ), por ser esta a vazão mínima de referência no Estado de Minas Gerais, sendo quantificada em bases anual e mensal e obtidas usando técnicas de regionalização de vazões.

**Tabela 1 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo**

Código	Estação	Longitude (Oeste)	Latitude (Sul)	Curso d'água	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )
42435000*	Fazenda Barra da Égua	46°35'12"	16°52'28"	Ribeirão Barra da Égua	1590
42440000*	Fazenda Poções	46°49'04"	17°02'31"	Ribeirão São Pedro	551
42460000	Fazenda Limeira	47°13'58"	16°12'35"	Rio Preto	3890
42490000	Unaí Santo	46°52'48"	16°20'58"	Rio Preto	5360
42540000	Antônio do Boqueirão	46°43'16"	16°31'47"	Rio Preto	5910
42545500	Fazenda Resfriado	46°39'46"	16°30'10"	Ribeirão Roncador	680
42546000	Fazenda Santa Cruz	46°44'52"	16°08'06"	Rio Salobro	553
42600000	Porto dos Poções	46°21'26"	16°50'23"	Rio Preto	9400

\*Estações localizadas na bacia do ribeirão Entre Ribeiros

### Dados utilizados no estudo e seleção do período base

Considerando a existência de apenas duas estações fluviométricas na bacia do Entre Ribeiros, para realização do estudo de regionalização de vazões foram utilizados dados consistidos de outras seis estações fluviométricas, situadas em sub-bacias

próximas (Tabela 1), escolhidas de acordo com os limites da região homogênea definida por Rodriguez (2008), e de 10 estações pluviométricas, selecionadas em áreas próximas à fronteira da bacia do Entre Ribeiros e com mais de 95% dos dados nas séries históricas. Todas as estações selecionadas estão cadastradas no Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA).

Após a obtenção das séries históricas de cada estação foi feita a análise de disponibilidade de dados em cada ano e, com base nesta análise, foi escolhido um período comum de estudo, denominado período base, que abrange a menor quantidade de falhas nas séries históricas. O período base adotado tanto para vazão como para precipitação foi de 1975 a 2005.

### Obtenção da vazão mínima de referência ( $Q_{7,10}$ )

A reconstituição das vazões naturais é de fundamental importância para o planejamento do uso dos recursos hídricos, podendo auxiliar na busca de um índice mais efetivo que represente o potencial hídrico de uma região em substituição aos utilizados hoje para a autorização de outorga (MOREIRA, 2006).

Tendo em vista a importância do conhecimento das vazões naturais, Oliveira et al. (2007) analisaram o impacto do uso das vazões naturais em relação às vazões observadas em 21 seções da bacia do Paracatu, sendo o impacto estimado para as vazões máxima, média de longa duração ( $Q_{mld}$ ) e mínimas (as vazões associadas à permanência de 90 ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) e a  $Q_{7,10}$ ). Estudo semelhante foi realizado por Pruski et al. (2011), sendo analisado tal impacto ao longo de toda a hidrografia.

Os autores constaram que, para fins de estudos hidrológicos na bacia do Paracatu, os impactos verificados podem ser considerados inexpressivos para a estimativa das vazões máxima e média de longa duração e pouco expressivos para a estimativa das vazões mínimas, não se justificando maiores preocupações quanto ao uso das vazões naturais.

Desta forma, neste trabalho, a estimativa da  $Q_{7,10}$  foi realizada utilizando o programa SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUSA et al., 2009). O início do ano hidrológico foi determinado em janeiro (ano civil), a fim de garantir a independência de eventos mínimos associados à série anual, e foi definido um descarte dos anos com 5% ou mais de falhas nas séries históricas. Para obtenção das vazões mínimas, o SisCAH utiliza

as distribuições de densidade de probabilidade Logpearson 3, Pearson 3, Normal, Lognormal 2, e Weibull.

No caso da estimativa da  $Q_{7,10}$  anual, os eventos utilizados foram as menores médias de sete dias consecutivos ( $Q_7$ ) observadas em cada ano do período base da série histórica de vazão. Já para a estimativa dos valores de  $Q_{7,10}$  mensais foi obtido um valor de  $Q_7$  para cada mês de cada ano do período base e o conjunto de todos os valores de  $Q_7$  em cada mês constituiu uma nova série de eventos. As séries de eventos de  $Q_7$  (anual e mensais) aplicou-se a análise das distribuições de densidade de probabilidade, adotado um período de retorno de 10 anos na estimativa da variável de interesse  $Q_{7,10}$ .

A melhor estimativa correspondeu a distribuição de densidade de probabilidade que apresentou menor amplitude do intervalo de confiança dentre as estimativas obtidas por cada distribuição, sendo, neste caso, a distribuição de Logpearson 3, que foi indicada automaticamente pelo SisCAH 1.0.

### Regionalização de vazões

#### Variáveis dependentes

A variável dependente utilizada para a regionalização de vazões na bacia do Entre Ribeiros foi a vazão em estudo, ou seja, a vazão mínima de referência ( $Q_{7,10}$ ) obtida para cada estação fluviométrica.

#### Variáveis independentes

As variáveis independentes utilizadas no estudo representam as características físicas e climáticas da bacia.

Como característica física da bacia foi utilizada a área de drenagem, por ser esta a característica física que mais interfere no processo de formação das vazões médias e mínimas (RIBEIRO et al., 2005). A área de drenagem de cada trecho da hidrografia foi obtida na Base Hidrográfica Topograficamente Consistente Ottocodificada do Estado de Minas Gerais (BHTCOMG).

Como característica climática foram utilizadas as variáveis  $P_{eq}$  (vazão equivalente ao volume precipitado) e  $P_{eq750}$  (vazão equivalente ao volume precipitado, considerando-se a subtração do fator de abstração da precipitação para a formação das vazões, igual a 750 mm), tendo em vista os trabalhos realizados por Rodriguez (2008) e Pruski et al. (2013) que evidenciaram que a consideração da precipitação no estudo de regionalização de vazões

médias e mínimas na bacia do Paracatu permitiu uma melhor qualidade do ajuste.

A variável explicativa  $P_{eq}$  engloba precipitação média anual e área de drenagem, calculada pela equação

$$P_{eq} = \frac{P A}{31.536} \quad (1)$$

Onde  $P_{eq}$  é a vazão equivalente ao volume precipitado, em  $m^3 s^{-1}$ ;  $P$  é a precipitação média anual na área de drenagem considerada, em  $mm ano^{-1}$ ; e  $A$  é a área de drenagem, em  $km^2$ .

O denominador (31.536) representa a conversão de milímetro para metro e de ano para segundos. A utilização da vazão equivalente proporciona uma representação bidimensional da relação entre a variável dependente (vazão) e as independentes (área de drenagem e precipitação média anual) e permite o ganho de um grau de liberdade na análise estatística.

Embora a precipitação média anual seja uma variável explicativa do processo de formação das vazões mínimas e médias, considera-se que esta não reflete efetivamente a contribuição para a formação destas vazões, pois para que haja a ocorrência do escoamento no leito do rio advindo da contribuição subterrânea, é necessário que, primeiramente, a precipitação venha suprir o déficit de água existente na zona de aeração do solo, que, por sua vez, depende das características do solo, da cobertura vegetal e do processo de evapotranspiração.

Para a bacia do Paracatu, Novaes (2005) estimou que, para precipitações médias anuais inferiores a 750 mm, a vazão deve se tornar nula no início do período de recessão. Portanto, neste trabalho utilizou-se, visando a melhor representação dos processos físicos envolvidos na formação das vazões, o valor de 750 mm como o fator que passa a ser caracterizado como fator de abstração da precipitação na formação das vazões. Foi subtraído o valor correspondente a 750 mm para cada pixel do mapa da precipitação média anual, sendo atribuído o valor zero quando a inércia foi maior que a precipitação. Assim, foi utilizada a equação

$$P_{eq750} = \frac{(P - 750) A}{31.536} \quad (2)$$

Onde  $P_{eq750}$  é a vazão equivalente ao volume precipitado considerando uma diminuição da inércia hídrica igual a 750 mm, em  $m^3 s^{-1}$ .

Desta forma, as variáveis independentes utilizadas foram: a área de drenagem (A), a vazão equivalente ao volume precipitado ( $P_{eq}$ ) e a vazão equivalente ao volume precipitado considerando uma diminuição da inércia hídrica igual a 750 mm ( $P_{eq750}$ ).

### Regionalização de vazões

A regionalização das vazões foi feita utilizando o programa SisCoRV - Sistema Computacional para Regionalização de Vazões (SOUSA., 2009), empregando o Método da Regressão Múltipla por ter sido este o método que, no estudo de Rodriguez (2008), melhor representou o comportamento das vazões médias e mínimas na bacia do Paracatu.

As equações de regionalização selecionadas foram inseridas no banco de dados da BHTCOMG, permitindo a quantificação da disponibilidade hídrica em cada trecho da hidrografia, considerando para tanto o ponto de confluência entre o trecho considerado e o trecho de jusante.

Para a estimativa das vazões mínimas nas regiões de cabeceira, locais onde, normalmente, as equações de regionalização tendem a superestimar os valores dessas vazões, Rodriguez (2008) sugeriu uma proposição que utiliza o maior valor calculado do indicador do comportamento físico da vazão como o valor limite para os indicadores estimados pelas equações, possibilitando uma extração segura da regionalização.

Para as vazões mínimas o indicador utilizado neste estudo foi a vazão mínima específica ( $q_{7,10}$ ). Sendo assim, quando a vazão específica mínima estimada pela equação de regionalização no trecho for maior que o maior valor de vazão específica calculado nas estações fluviométricas, a vazão mínima passa a ser estimada pela equação

$$Q_{7,10\_ajust} = \frac{q_{7,10\_lim} A}{1.000} \quad (3)$$

Onde  $Q_{7,10\_ajust}$  é a  $Q_{7,10}$  ajustada com base na vazão específica limite, em  $m^3 s^{-1}$ ;  $q_{7,10\_lim}$  é a máxima  $q_{7,10}$  das estações fluviométricas, em  $L s^{-1} km^{-2}$ ; e A é a área de drenagem, em  $km^2$ .

### Avaliação do impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mensais na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros

A avaliação do impacto da substituição das vazões de referência calculadas na base anual pelas

calculadas em base mensal foi feita para cada uma das oito estações fluviométricas utilizadas e ao longo da hidrografia.

Para as estações fluviométricas utilizadas foram comparados os valores de  $Q_{7,10}$  anuais e mensais, observando-se a variação da diferença relativa entre as vazões mensais e anual para cada uma das oito estações.

Para fazer a comparação entre as vazões mínimas anuais e mensais ao longo da hidrografia, as vazões regionalizadas obtidas nas bases anual e mensais foram espacializadas ao longo da BHTCOMG e a comparação foi realizada para cada trecho da hidrografia.

O processo para o cálculo das diferenças relativas entre as vazões foi realizado utilizando a equação

$$DH\% = \frac{Q_{mensal} - Q_{anual}}{Q_{anual}} \times 100 \quad (4)$$

Onde DH% é a diferença relativa entre o critério mensal e anual, em %;  $Q_{mensal}$  é a  $Q_{7,10}$  obtida em base mensal, em  $m^3 s^{-1}$ ; e  $Q_{anual}$  é a  $Q_{7,10}$  obtida em base anual, em  $m^3 s^{-1}$ .

Os dados obtidos foram divididos em intervalos de classes e exibidos em mapas da hidrografia, onde os rios foram coloridos de acordo com a classe de diferença relativa em que se enquadram.

Também foi realizada uma análise de frequência, relacionando as diferenças relativas com a ocorrência nos trechos da hidrografia, para verificar a distribuição dos valores de DH% na bacia, empregando o procedimento usado por BOF (2010).

### Avaliação do impacto do uso de diferentes critérios de outorga na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros

Para a estimativa da vazão disponível para outorga são requeridas as informações sobre a vazão mínima de referência, da qual uma parte pode ser retirada, e informações sobre as outorgas já emitidas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho subsequente. Assim, a vazão disponível para outorga em um trecho i é expressa pela equação

$$Q_{disp\ i} = \frac{x\ Q_{7,10}}{100} - \sum Q_{mt\ i} \quad (5)$$

Onde  $Q_{disp\ i}$  é a vazão disponível para outorga no segmento i, em  $m^3 s^{-1}$ ; x é a porcentagem da  $Q_{7,10}$  permitível para outorga, em %; e  $\sum Q_{mt\ i}$  é o somató-

rio das vazões já outorgadas a montante do segmento  $i$ , inclusive as vazões outorgadas no próprio segmento  $i$ , em  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ .

A análise da situação de cada segmento da hidrografia em relação ao percentual da vazão de referência utilizado foi feita considerando as demandas e disponibilidades em cada trecho da hidrografia.

Foi analisada, para cada trecho e em cada mês, a relação entre o somatório das vazões outorgadas nos pontos a montante da confluência do trecho considerado com o trecho subseqüente e a  $Q_{7,10}$ , calculada em bases anual e mensal.

Foram elaborados mapas nos quais os trechos foram coloridos de acordo com a proporção de utilização da  $Q_{7,10}$ .

#### Critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual

A primeira análise realizada considerou o critério anteriormente usado pelo IGAM para a concessão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos em Minas Gerais, e que ainda é mantido em algumas bacias do estado. O critério é baseado na Portaria nº 010/98, e que estipula, no parágrafo 1º do artigo 8º, que “até que se estabeleçam as diversas vazões de referência na Bacia Hidrográfica, será adotada a  $Q_{7,10}$  (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência), para cada Bacia”, sendo esta calculada em uma base anual, e resolve no parágrafo 2º do mesmo artigo “fixar em 30% (trinta por cento) da  $Q_{7,10}$ , o limite máximo de derivações consuntivas a serem outorgadas na porção da bacia hidrográfica limitada por cada seção considerada, em condições naturais, ficando garantido a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da  $Q_{7,10}$ ”.

Nesta análise foram confrontados os dados de demanda em cada mês com os valores de vazão disponíveis para serem outorgadas, de acordo com o critério de 30% da  $Q_{7,10}$  anual. A análise foi feita trecho a trecho ao longo da hidrografia, visando avaliar a condição de déficit ou disponibilidade de vazão permissível para uso, considerando as vazões já outorgadas em relação às máximas permissíveis.

#### Critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ mensal

A segunda análise foi feita confrontando os valores mensais de demanda com os valores de vazão disponíveis para serem outorgados nos meses correspondentes. Foi mantido o critério baseado no uso de 30% da  $Q_{7,10}$ , anteriormente usado para outorga

no Estado de Minas Gerais, porém, nesta análise, foi utilizada a  $Q_{7,10}$  calculada em base mensal.

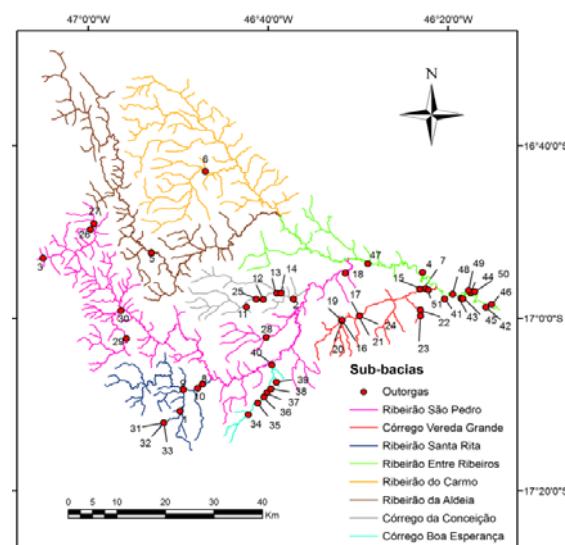
#### Critério baseado no uso de 50% da $Q_{7,10}$ (anual e mensal)

Procedeu-se a análise do uso do critério baseado em 50% da  $Q_{7,10}$  por ser este o critério atualmente adotado pelo IGAM. As análises baseadas neste critério consideraram as disponibilidades anual e mensal. O impacto da substituição do uso do critério de 30% da  $Q_{7,10}$  pelo critério de 50% da  $Q_{7,10}$ , tanto em uma base anual como em uma mensal, foi avaliado pela comparação das alterações ocorridas na situação de cada trecho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Demandas de uso da água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros

Na Figura 2 é apresentada a espacialização dos pontos de outorga ao longo da hidrografia da bacia do ribeirão Entre Ribeiros.



**Figura 2 – Pontos de outorga ao longo da hidrografia da bacia do Entre Ribeiros.**

Na Figura 2 observa-se que as outorgas estão mais concentradas nas partes Sul e Leste da bacia e estão localizados principalmente nas sub-bacias do ribeirão São Pedro, do córrego da Conceição, do córrego Boa Esperança, do córrego Vereda Grande, do ribeirão Santa Rita e do ribeirão Entre Ribeiros.

Tal concentração pode ser justificada pelas políticas públicas de ocupação do cerrado que favoreceram o desenvolvimento da região, principalmente após a década de 70, com incentivos do governo e por meio de acordos bilaterais, tais como o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER).

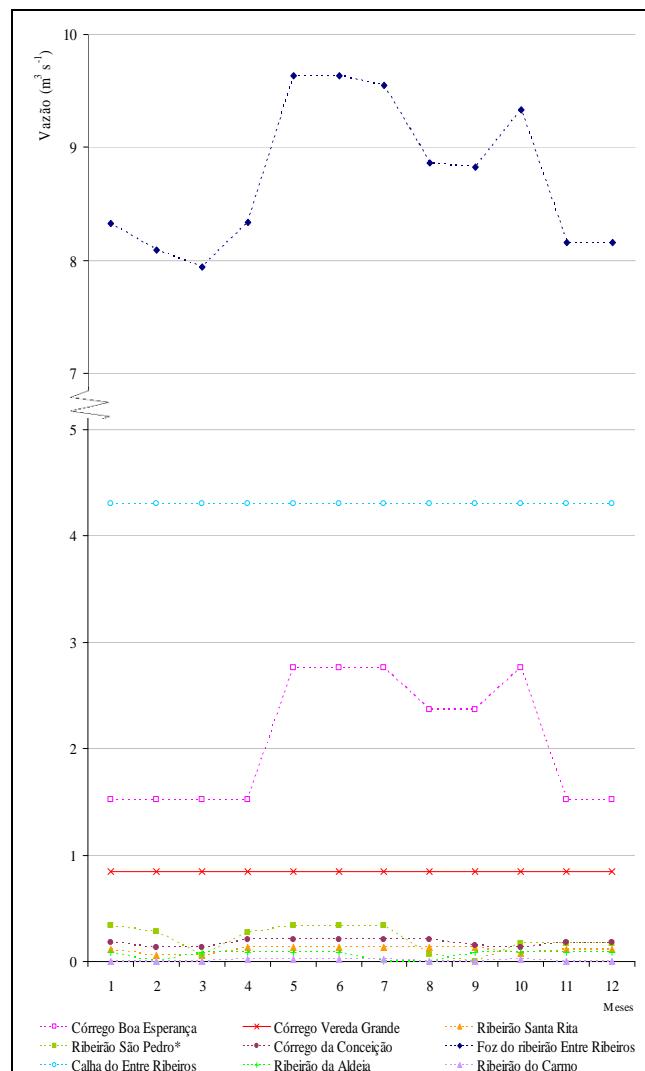
Santos (2007) cita que o consumo anual calculado para o Entre Ribeiros chega a 130,4 milhões de  $m^3$ , o que corresponde a 15,8% do que é ofertado na bacia, indicando a necessidade de medidas que otimizem o uso da água neste curso d'água e nos trechos de montante, além do uso de águas subterrâneas ou de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 2 pode ser observado também que muitas das seções com outorga estão localizadas em regiões de cabeceiras, onde grandes demandas, associadas à baixa disponibilidade, fazem com que sejam evidenciadas situações de escassez durante grande parte do ano. Brasil (2004) relaciona os conflitos e as evidências de agravamento dos mesmos tanto a práticas perdulárias de utilização de água em áreas de baixa disponibilidade (cabeceiras) quanto à ausência da gestão adequada dos recursos hídricos. Além disso, há ainda o fato de que o período de maior demanda pelos recursos hídricos geralmente coincide com o período de menor disponibilidade.

Na região em estudo, a sazonalidade das demandas por recursos hídricos ocorre em grande parte da bacia. Na Figura 3 está representada a variação da demanda durante o ano, na calha e foz do Entre Ribeiros e na foz das principais sub-bacias, obtida pelo somatório de todas as retiradas ao longo da hidrografia até a seção considerada, em cada mês.

Nesta figura os marcadores representam os valores das demandas em cada mês e se referem a valores discretos. As linhas ligando os marcadores não indicam continuidade de valores, mas são utilizadas nesta figura para auxiliar a análise da variação da demanda. A área sob as linhas representa uma aproximação do volume demandado na área a montante da seção considerada, caso os valores outorgados fossem utilizados 24 horas por dia e 30 dias por mês.

A totalização das outorgas nas confluências é um reflexo da situação da região, dando uma indicação da utilização da água na bacia e permitindo a identificação da existência ou não de sazonalidade das demandas ao longo do ano, bem como da sua amplitude de variação.



\*O acúmulo das outorgas foi feito até a confluência com o ribeirão Santa Rita

**Figura 3 – Variação das demandas ao longo do ano, na calha e foz do Entre Ribeiros e na foz das principais sub-bacias da bacia do Entre Ribeiros.**

Na bacia do Entre Ribeiros pode ser observado que a maior parte das sub-bacias analisadas tem valores de demandas acumuladas variáveis ao longo do ano, principalmente entre os meses de maio e outubro, quando a amplitude da variação é maior.

Os valores demandados na seção correspondente a foz da sub-bacia do Vereda Grande e na calha do ribeirão Entre Ribeiros não apresentam variação ao longo do ano, sendo iguais a 0,8 e 4,3  $m^3$   $s^{-1}$ , respectivamente. Em todas as outras sub-bacias

foi evidenciada a existência de sazonalidade das demandas.

Em algumas seções, como, por exemplo, na confluência do Ribeirão São Pedro com o Ribeirão Santa Rita, as variações são bastante expressivas e a relação entre os valores mensais da maior e da menor demanda no ano é de 5,7, indicando que existe grande sazonalidade da demanda nesta sub-bacia.

Na sub-bacia do córrego Boa Esperança o valor de demandas acumuladas é alto e variável, entre os meses de maio e outubro, apresentando relação de 1,8 entre a maior e a menor demanda no ano. Já as sub-bacias do Santa Rita e do Conceição apresentam menores vazões demandadas, porém apresentam grande variação sazonal destas vazões, com relação entre a maior e a menor demanda no ano de 2,2 e 1,6, respectivamente. Na foz do Entre Ribeiros esta relação corresponde a 1,2 e o valor das vazões é alto, variando de 7,9 a 9,3, por corresponder ao somatório das vazões demandadas ao longo de toda a hidrografia de sua bacia.

Nas sub-bacias do ribeirão da Aldeia e do ribeirão do Carmo os valores de demanda são baixos em relação às demais, mas também apresentam variações ao longo do ano, além de meses em que não são feitas retiradas.

A alta e variável demanda nas sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros pode ser associada ao grande número de outorgas necessário ao suprimento artificial de chuvas nos meses de abril a outubro devido à sua ausência ou baixa incidência. Sendo a irrigação o maior segmento usuário de água na bacia, o aumento da demanda neste período pode ser associado ao período em que ocorrem os maiores déficits hídricos na bacia e à necessidade de superar este fator ambiental limitante, inerente ao regime climatológico do Noroeste do estado de Minas Gerais (SANTOS, 2007).

#### **Vazões mínimas de referência, anual e mensais, na bacia do ribeirão Entre Ribeiros**

#### **Equações de regionalização**

Com base nos critérios de seleção dos modelos analisados foram selecionadas as equações para a regionalização das  $Q_{7,10}$  anual e mensais apresentadas na Tabela 2.

Ao inserir as equações selecionadas no banco de dados da BHTCOMG foi possível estimar a  $Q_{7,10}$  em todos os trechos da hidrografia da bacia do ribeirão Entre Ribeiros.

**Tabela 2 – Equações utilizadas para a regionalização da  $Q_{7,10}$ , anual e mensal**

		Equação
	Anual	$Q_{7,10} = 0,1232P_{eq750}^{0,9697}$
	Janeiro	$Q_{7,10} = 0,2193P_{eq750}^{1,1071}$
	Fevereiro	$Q_{7,10} = 0,1952P_{eq750}^{1,0861}$
	Março	$Q_{7,10} = 0,1982P_{eq750}^{1,1544}$
	Abril	$Q_{7,10} = 0,1794P_{eq750}^{1,1953}$
	Maio	$Q_{7,10} = 0,1641P_{eq750}^{1,1605}$
$Q_{7,10}$	Junho	$Q_{7,10} = 0,1434P_{eq750}^{1,1280}$
	Julho	$Q_{7,10} = 0,1429P_{eq750}^{1,0646}$
	Agosto	$Q_{7,10} = 0,1451P_{eq750}^{1,0030}$
	Setembro	$Q_{7,10} = 0,1453P_{eq750}^{0,9634}$
	Outubro	$Q_{7,10} = 0,1187P_{eq750}^{0,9959}$
	Novembro	$Q_{7,10} = 0,0841P_{eq750}^{1,1547}$
	Dezembro	$Q_{7,10} = 0,1458P_{eq750}^{1,1125}$

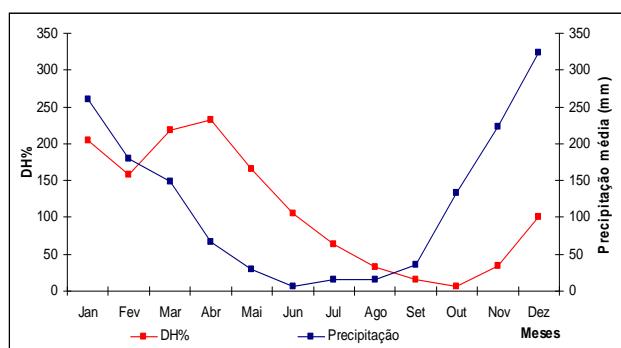
#### **Impacto da substituição da $Q_{7,10}$ anual pelas $Q_{7,10}$ mensais na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros**

#### **Nas seções correspondentes às estações fluviométricas.**

Na Figura 4 é mostrada a média dos valores de diferença relativa (DH%) entre as vazões  $Q_{7,10}$  anual e mensais obtidos nas seções correspondentes às oito estações fluviométricas utilizadas no estudo e o gráfico das normais climatológicas da precipitação média, no período de 1961 a 1990, na estação Paracatu.

Pode ser observado nesta figura que os valores médios de DH% nas seções correspondentes às estações fluviométricas apresentam variações acentuadas ao longo do ano, com diferença relativa sempre positiva, apresentando no período de dezembro a junho valores de DH% maiores que 100%, assinalando o potencial de substituição da base de cálculo da vazão de referência anual para uma base mensal,

permitindo, assim, um aumento do uso dos recursos hídricos em condições a fio d'água.



**Figura 4 – Média dos valores de diferença relativa (DH%) entre as vazões  $Q_{7,10}$  anual e mensais obtidos nas seções correspondentes às oito estações fluviométricas utilizadas no estudo e gráfico das normais climatológicas da precipitação média (1961-1990) da estação Paracatu.**

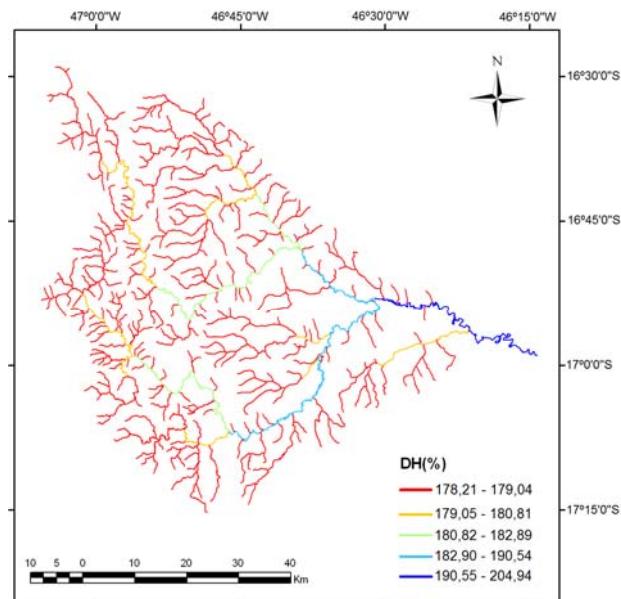
Observando a Figura 4 pode-se inferir que no período de novembro a abril há um crescimento das vazões mínimas e, fazendo uma associação com os dados médios de precipitação, é verificado que existe uma defasagem do início do período chuvoso em relação ao início do aumento das vazões mínimas. Esta defasagem acontece pois a ocorrência do escoamento no leito do rio é advinda da contribuição subterrânea, que só se inicia depois que a precipitação venha suprir o déficit de água existente na zona de aeração do solo, que, por sua vez, depende do processo de evapotranspiração e das características estruturais e texturais do solo. Observa-se ainda que após o mês de novembro há um aumento expressivo das vazões mínimas até o mês de março.

Nesta figura pode ser observado também que no período entre os meses de abril e setembro ocorrem os menores valores de precipitação média, coincidindo com o período que apresenta os maiores valores de demanda de água na bacia. Sendo assim, mesmo que pequeno, o aumento da disponibilidade hídrica durante estes meses é de grande importância.

#### Ao longo da hidrografia.

Para avaliar o impacto da substituição da  $Q_{7,10}$  anual pelas  $Q_{7,10}$  mensais na disponibilidade hídrica ao longo da hidrografia da bacia do ribeirão Entre Ribeiros foram elaborados mapas de diferença relativa entre a vazão mensal e a vazão anual, sendo

apresentado na Figura 5 o mapa referente ao mês de janeiro (mês em que há o maior aumento da DH%).

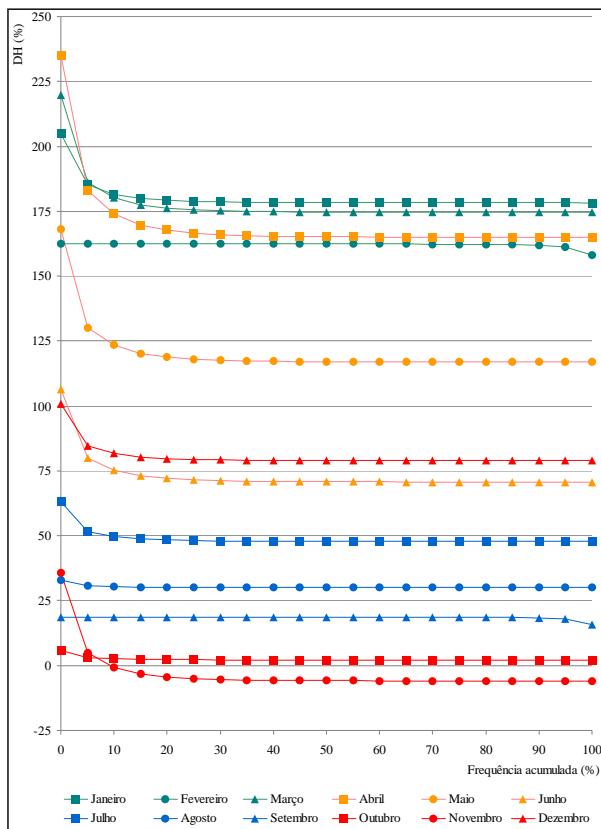


**Figura 5 - Diferenças relativas entre a  $Q_{7,10}$  de janeiro e a  $Q_{7,10}$  anual**

Na Figura 6 são apresentadas as curvas que relacionam as diferenças relativas (DH%) entre as  $Q_{7,10}$  mensais e a  $Q_{7,10}$  anual com sua frequência de ocorrência ao longo da hidrografia.

Os primeiros seis meses do ano apresentaram os maiores valores de DH%, variando de 70 a 235%, sendo maior no mês de janeiro e diminuindo ao longo tempo. No primeiro quadrimestre a DH% foi sempre maior que 150%, apresentando, a partir do mês de abril, uma tendência progressiva de decaimento. O declínio é bastante acentuado no mês de maio e junho e se mantém mais constante e com pequena variação nos meses de julho, agosto, setembro e outubro.

Em julho ocorreram valores de DH% compreendidos entre 47 e 63% e em agosto a amplitude de variação, que foi inferior a 3%, ficou compreendida entre 30 e 32,9%. Os meses com menores valores de DH% foram setembro, outubro e novembro. Nos meses de setembro e outubro os valores de DH% estão compreendidos entre 2 e 18%, comportamento associado a uma taxa progressivamente decrescente do potencial associado às águas subterrâneas, principal fonte de contribuição para a formação das vazões mínimas.



**Figura 6 – Freqüência de ocorrência das diferenças relativas (DH%) entre as  $Q_{7,10}$  mensais e a  $Q_{7,10}$  anual ao longo da hidrografia.**

Em novembro, apesar de ser o mês em que ocorre uma inversão na tendência de diminuição de DH% que vinha ocorrendo ao longo do ano, é evidenciado o maior declínio da DH%, com valores negativos em 90% dos trechos, caracterizando uma situação em que a substituição da base de cálculo da vazão de referência não indica aumento da disponibilidade.

Quando o uso de vazões mensais não apresenta influência no aumento da vazão de referência é necessário que sejam adotadas medidas de redução da demanda, tais como práticas de redução do consumo, irrigação em déficit, adequação dos calendários de cultivo, rotação de culturas, plantio de culturas que apresentam alta eficiência de uso da água e maior tolerância a períodos secos e sistemas agroflorestais (TILMAN et al., 2002).

No mês de dezembro ocorre uma ascensão expressiva dos valores de DH% ao longo da hidrografia, com valores que são superiores a 78% em todos os trechos, caracterizando a efetiva transição de decaimento para aumento, tendo sido a DH%,

no período de dezembro a junho, sempre maior que 70%.

De uma forma geral, os menores valores de DH% ocorreram nas posições de cabeceiras e os maiores ocorreram em posições de jusante e nos cursos d'água principais, exceto nos meses de fevereiro e setembro, em que não se observa um padrão definido de distribuição da DH% associado à posição dos trechos na bacia.

Nas curvas de frequência pode ser observado que, de forma geral, a maioria dos meses apresenta uma faixa de decréscimo dos valores de DH%, associada a frequências de 0 a 20% e uma segunda faixa, associada à frequência de 20 a 100%, que apresenta valor de DH% praticamente constante.

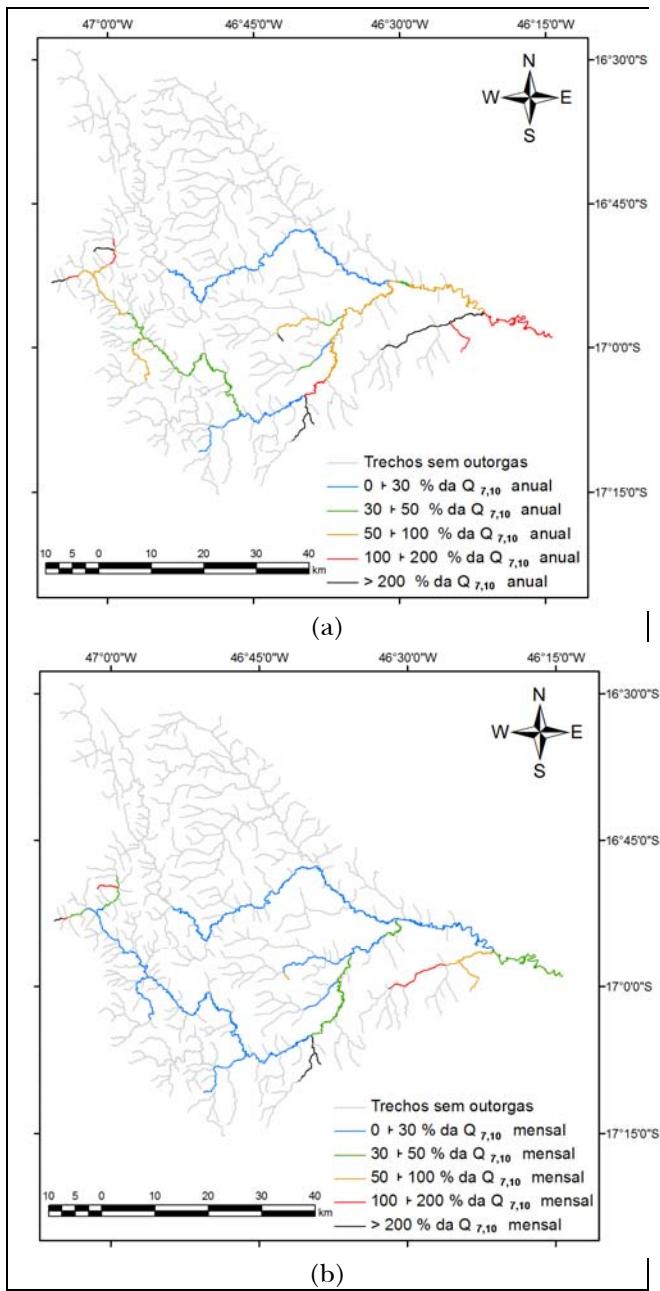
**Impacto do uso dos critérios de outorga baseados no uso de 30% da  $Q_{7,10}$  anual, 30% da  $Q_{7,10}$  mensal e 50% da  $Q_{7,10}$  anual e mensal na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros**

Mapas da relação entre o somatório das vazões outorgadas e a  $Q_{7,10}$  foram gerados para cada mês, considerando os valores de  $Q_{7,10}$  anual e  $Q_{7,10}$  mensal. Nas Figuras 7a e 7b são apresentados os mapas referentes ao mês de janeiro (maior DH%) para a situação da bacia em relação à  $Q_{7,10}$  anual e à  $Q_{7,10}$  mensal, respectivamente.

A escala de cores utilizada indica a situação dos trechos ao longo da hidrografia quanto à relação entre o somatório das outorgas a montante da confluência do trecho analisado com o trecho de jusante e a vazão de referência utilizada. A cor cinza representa trechos em que não existem outorgas ou trechos que não são impactados por outorgas de montante. A cor azul representa os trechos nos quais a disponibilidade, com base no critério de 30% da  $Q_{7,10}$  é suficiente para suprir as demandas, ou seja, o somatório das vazões outorgadas não excede 30% da  $Q_{7,10}$ . Já nos trechos representados em verde, o somatório das demandas já excede o critério de 30% da  $Q_{7,10}$ , mas não ultrapassam caso se considere o critério de 50% da  $Q_{7,10}$ . As demais cores representam níveis de extração da vazão máxima permitida para outorga e, inclusive, a própria vazão de referência.

Na Figura 7a os trechos cujo somatório não excede a vazão máxima outorgável segundo o critério de 30% da  $Q_{7,10}$  representam apenas 29% do total de trechos impactados pelas outorgas no mês de janeiro. Considerando o critério de 50% da  $Q_{7,10}$  anual há um acréscimo de 21,8% no número de trechos com disponibilidade maior que somatório das demandas. Entretanto, mesmo considerando o

aumento do percentual outorgável da  $Q_{7,10}$ , ao manter a base anual a demanda em 49,2% dos trechos não é atendida.



**Figura 7 – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a  $Q_{7,10}$  calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de janeiro.**

Quando é feita a mudança da  $Q_{7,10}$  em base anual para  $Q_{7,10}$  em base mensal, pode ser observada, comparando as Figuras 7a e 7b, a alteração da situação dos trechos ao longo da bacia.

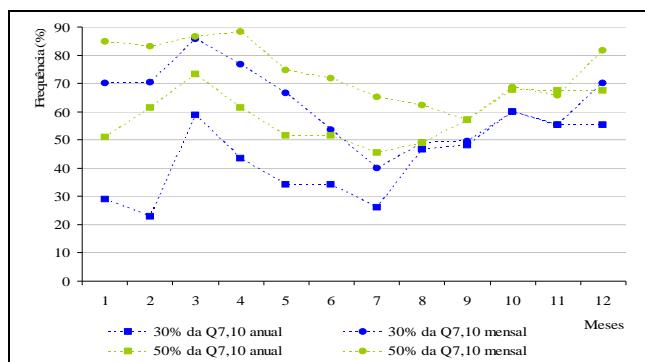
Considerando o critério de 30% da  $Q_{7,10}$  mensal, verifica-se que houve um aumento expressivo no número de trechos em que o somatório da demandas foi menor que a vazão outorgável, passando a ser atendidos neste caso 70,2% dos trechos impactados pelas outorgas, incorporando 41,2% dos trechos nos quais o somatório das outorgas a montante extrapolava a vazão permissível para outorga segundo o critério de uso de 30% da  $Q_{7,10}$  anual.

Ao aumentar a vazão outorgável para 50% da  $Q_{7,10}$  e considerar a base mensal o percentual de trechos atendidos (representados em azul e verde) chega a aproximadamente 85% dos trechos impactados pelas outorgas a montante no mês, 34% a mais do que se observava quando considerado o critério de 50% da  $Q_{7,10}$  anual.

O aumento do número de trechos em que o somatório das demandas foi menor que a disponibilidade, em função da mudança da base anual para mensal, incorpora trechos que antes extrapolavam a vazão outorgável, mesmo com o uso de 50% da  $Q_{7,10}$  anual, tanto pelo critério 30% como o de 50% da  $Q_{7,10}$  mensal.

Contudo, mesmo considerando a vazão outorgável como 50% da  $Q_{7,10}$  mensal ainda são observados 15,2% dos trechos nos quais o somatório das demandas a montante excede a disponibilidade.

Na Figura 8 é apresentada a frequência de ocorrência, ao longo do ano, do número de trechos nos quais o somatório das demandas de montante é menor que a vazão máxima outorgável, em relação ao total de trechos impactados pelas retiradas a montante, considerando o critério atual e cada um dos critérios propostos.



**Figura 8 – Frequência de ocorrência, ao longo do ano, do número de trechos nos quais o somatório das demandas de montante é menor que a vazão máxima outorgável, em relação ao total de trechos impactados pelas retiradas a montante, considerando o critério atual e cada um dos critérios propostos.**

Ao proceder a mudança do critério de 30% para 50% mantendo a vazão de referência calculada numa base anual verificou-se que o aumento na frequência dos trechos atendidos foi menor no mês de agosto (5%) e maior no mês de fevereiro (170%). Nos demais meses o aumento na freqüência foi, em média 40%.

Considerando a mudança da vazão de referência anual para mensal e mantendo a porcentagem de 30% desta vazão, percebe-se que, para os meses de agosto a novembro não houve aumento no número de trechos nos quais o somatório das demandas a montante não excedeu a vazão máxima outorgável ou o aumento foi muito baixo. Nos meses de outubro e novembro o número de trechos permaneceu constante após a mudança da base de cálculo anual para mensal e nos meses de agosto e setembro o aumento foi de apenas 3% e 5%, respectivamente. Nos demais meses o aumento do número de trechos com somatório de demandas menor que 30% da  $Q_{7,10}$  variou entre 27% no mês de dezembro e 209% no mês de fevereiro.

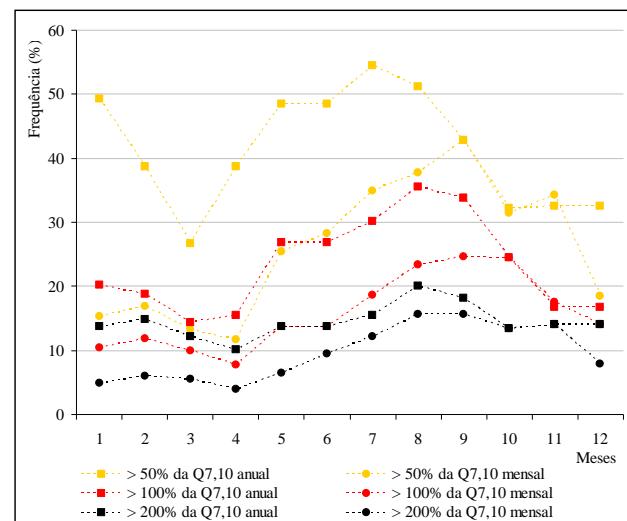
Analizando as curvas correspondentes aos critérios de 50% da  $Q_{7,10}$  mensal e 30% da  $Q_{7,10}$  anual verifica-se que houve aumento em todos os meses, tendo este sido menor nos meses de setembro, outubro e novembro, correspondendo a 19%, 14% e 19%, respectivamente e maior nos demais meses, variando de 33% no mês de agosto e a 265% no mês de fevereiro. Esta alternativa representa o melhor aumento das disponibilidades, ou seja, este é o cenário mais permissivo.

Na Figura 9 está representado o nível de criticidade da situação da bacia em relação ao critério de 50% da  $Q_{7,10}$  anual e 50% da  $Q_{7,10}$  mensal. Nesta Figura está apresenta a frequência de ocorrência, ao longo do ano, do número de trechos nos quais o somatório das demandas de montante é maior que 50% da  $Q_{7,10}$ , em relação ao total de trechos impactados pelas retiradas a montante, considerando as vazões calculadas em bases anuais e mensais.

A maior excedência em relação a  $Q_{7,10}$  acontece para o critério de uso de 50% da  $Q_{7,10}$  anual. O uso de 50% da  $Q_{7,10}$  mensal proporcionou uma diminuição no número de trechos em que o somatório das vazões outorgadas a montante excedia a disponibilidade. A diminuição foi mais expressiva nos meses de dezembro a agosto, variando de 35% a 233%, sendo maior que 90% no período de janeiro a maio. Já nos meses de setembro, outubro e novembro a mudança da base anual para as bases mensais não representou benefícios para melhor utilização das águas superficiais. Neste período o número de trechos permaneceu constante no mês de setem-

bro, teve pequena redução no mês de outubro e aumentou em novembro, com percentuais de 0%, 3% e 5%, respectivamente.

Comportamento parecido foi verificado ao longo do ano, para as classes de extração da própria  $Q_{7,10}$ . A mudança da base anual para a mensal promoveu a alternância entre classes de maior extração para menor nível de extração, como pode ser observado na Figura 21, que mostra que, ao longo do ano, com exceção dos meses de outubro e novembro, houve diminuição do número de trechos onde o somatório das demandas a montante supera a  $Q_{7,10}$ , considerando as duas classes de proporção de excedência.



**Figura 9 – Frequência de ocorrência, ao longo do ano, do número de trechos nos quais o somatório das demandas de montante é maior que a vazão máxima outorgável, em relação ao total de trechos impactados pelas retiradas a montante.**

## CONCLUSÕES

As demandas de uso da água estão mais concentradas nas partes Sul e Leste da bacia e os valores associados a elas apresentam expressiva variação ao longo do ano, estando os maiores valores associados aos meses de abril a outubro.

A substituição da  $Q_{7,10}$  calculada em base anual pelas calculadas em base mensal resulta em um aumento da vazão de referência para estimativa da disponibilidade hídrica na bacia, sendo maior que 50% nos meses de dezembro a junho. Uma exceção ocorre no mês de novembro, mês no qual é

evidenciada a ocorrência das vazões mínimas, quando o uso de vazões mensais não apresenta influência no aumento da vazão de referência, isto porque a série baseada no uso de valores mensais se aproxima da série baseada no uso de valores anuais.

Quando utilizado o critério anterior para concessão de outorgas (30% da  $Q_{7,10}$  anual), grande parte dos trechos da hidrografia com outorgas a montante apresentam o somatório das vazões demandadas maior que a vazão outorgável. A excedência foi observada em todos os meses, sendo que o mês mais crítico foi fevereiro (com excedência em 77% dos trechos) e o menos crítico foi outubro (com excedência em 40% dos trechos).

A mudança do critério de 30% da  $Q_{7,10}$  anual para 50% da mesma promoveu aumento no percentual dos trechos atendidos, tendo sido este menor no mês de agosto (5%) e maior no mês de fevereiro (170%);

O uso do critério de 30% da  $Q_{7,10}$  mensal proporcionou, ao longo do ano, aumentos de até 209% no percentual de trechos em que o somatório das outorgas não superou a vazão máxima outorgável, com exceção dos meses de outubro e novembro, nos quais não foi observado aumento;

A mudança do critério de 30% da  $Q_{7,10}$  anual para 50% da  $Q_{7,10}$  mensal promoveu aumento dos trechos com somatório das demandas menor que a disponibilidade, em todos os meses, tendo este sido menor nos meses de setembro, outubro e novembro, correspondendo a, em média, 17% e maior nos demais meses, variando de 33% no mês de agosto e a 265% no mês de fevereiro.

## REFERÊNCIAS

BOF, L.H.N. *Análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos*. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2010.

BRASIL. *Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco*. Brasília: ANA/GEF/PNUMAIOEA, abril de 2004.

CASTRO, L. M. A.; DINIZ, M. G. M.; SILVA, A. G. Aplicação do Instrumento da Outorga no Gerenciamento dos Recursos Hídricos em Minas Gerais: A Bacia do Ribeirão Entre Ribeiros. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., São Luis. *Anais...* São Luis: ABRH, 2004. 1 CD-ROM.

CHEN, H.-W.; CHANG, N.-B. Using fuzzy operators to address the complexity in decision making of water resources redistribution in two neighboring river basins. *Advances in Water Resources*, v. 33, p. 652-666, 2010.

COULIBALY, P.; BURN, D.H.. Spatial and temporal variability of Canadian seasonal streamflows. *Journal of Climate*, v.18, n.1, p. 191–210, 2005.

CRUZ, J.C.; TUCCI, C.E.M. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.13, n.1, p. 111-124, 2008.

CUTORE, P.; CRISTAUDO, G.; CAMPISANO, A.; MODICA, C.; CANCELLIERE, A.; ROSSI, G. Regional Models for the Estimation of Streamflow Series in Ungauged Basins. *Water Resources Management*, v. 21, p. 789–800, 2007.

DAVIES, E.G.R.; SIMONOVIC, S.P.. Global water resources modeling with an integrated model of the social–economic–environmental system. *Advances in Water Resources*, v. 34, p. 684-700, 2011.

IRRIPLAN ENGENHARIA Ltda. *Diagnóstico Ambiental da sub-bacia do ribeirão Entre Ribeiros*. Paracatu. 2003.

ESLAMIAN, S.; BIABANAKI, M.. Low flow regionalization modeling. *International Journal of Ecological Economics. 2008 & Statistics*. Disponível em: <[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_6925/is\\_12/ai\\_n28516608/](http://findarticles.com/p/articles/mi_6925/is_12/ai_n28516608/)>. Acesso em: 20 Ago. 2012.

EUCLYDES, H.P.; FERREIRA, P.A.; FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no Estado de Minas Gerais – Estudo de caso, artigo dos pesquisadores. *Revista Trimestral da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem – Abid*, 3, n. 71/72, 2006.

GÁMIZ-FORTIS, S.R.; HIDALGO-MUÑOZ, J.M.; ARGÜESO, D.; ESTEBAN-PARRA, M.J.; CASTRO-DÍEZ, Y. Spatio temporal variability in Ebro river basin (NE Spain): Global SST as potential source of predictability on decadal time scales. *Journal of Hydrology*, v. 409, p. 759-775, 2011..

GERBER, L.M.D. Outorga do Direito de Uso da Água. *Revista do Direito*, v. 3, p. 141-218, 2002.

- GONG, G.; WANG, L.; CONDON, L.; SHEARMAN, A.; LALL, U. A simple framework for incorporating seasonal streamflow forecasts into existing water resource management practices. *Journal of the American Water Resources Association*, 46(3), p. 574–585, 2010.
- LI, X.; GUO, S.; LIU, P.; CHEN, G. Dynamic control of flood limited water level for reservoir operation by considering inflow uncertainty. *Journal of Hydrology*, 391, p. 124-132, 2010a.
- LI, M.; SHAO, Q.; ZHANG, L.; CHIEW, F.H.S. A new regionalization approach and its application to predict flow duration curve in ungauged basins. *Journal of Hydrology*, 389, p. 137-145, 2010b..
- MAHMOUD, M.I.; GUPTA, H.V.; RAJAGOPAL, S. Scenario development for water resources planning and watershed management: Methodology and semi-arid region case study. *Environmental Modelling & Software*, v. 26, p. 873-885, 2011
- MASIH, I.; UHLENBROOK, S.; MASKEY, S.; AHMAD, M.D. Regionalization of a conceptual rainfall-runoff model based on similarity of the flow duration curve: A case study from the semi-arid Karkheh basin, Iran. *Journal of Hydrology*, v. 391, p. 188-201, 2010.
- MOREIRA, M.C.. *Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água*. 2006. 105f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2006.
- NOVAES, L.F.. *Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu*. 2005. 104f. Dissertação ( Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2005..
- OLIVEIRA, F.A.; MELO, E.L.; FIGUEIREDO, J.C.; PRUSKI, F.F.; RODRIGUEZ, R. del G. Impacto do uso de vazões naturais em estudos hidrológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, São Paulo. Anais... São Paulo: ABRH, 2007. 1 CD-ROM.
- PLATE, E. J. Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology*, 267, p. 2-11, 2002.
- PRUSKI, F.F.; PRUSKI, P.L. Tecnologia e inovação frente a gestão de recurso hídricos. In: Medeiros, S. de S., Gheyi, H.R., Galvão, C. de O., Paz, V.P.S. (Eds), *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, p. 27-58. 2011.
- PRUSKI, F.F.; RODRIGUEZ, R. del G.; SOUZA, J.F.; SILVA, B.M.B.; SARAIVA, I.S. Conhecimento da disponibilidade hídrica natural para a gestão dos recursos hídricos. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 1, p. 67-77, 2011.
- PRUSKI, F.F.; NUNES, A.A.; PRUSKI, P.L.; RODRIGUEZ, R. del G.. Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable. *Journal of Hydrology*, v. 476, p. 52-71, 2013.
- RIBEIRO, C.B.M.; MARQUES, F.A.; SILVA, D.D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. *Engenharia na agricultura*, v. 13, n. 2, p. 103-107, 2005.
- RODRIGUEZ, R. del G.. *Proposta conceitual para a regionalização de vazões*. 2008. 254f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2008.
- SAMUEL, J.; COULIBALY, P.; METCALFE, R. A.. Estimation of continuous streamflow in Ontario ungauged basins: comparison of regionalization methods. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 16, n. 5, p. 447-459, 2011.
- SANTOS, R.R.. *Crise hídrica na irrigação: o caso do ribeiro Entre-Ribeiros (MG)*. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.
- Silva, A.M., De Oliveira, P.M., De Mello, C.R., Pierangeli, C., 2006. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2), p. 374-380.
- SMAKHTIN, V.U. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, v. 240, p. 147-186, 2001.
- SOUZA, H. T. 2009. *Sistema computacional para regionalização de vazões*. 2009. 86f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2009.
- SOUSA, H.T.; PRUSKI, F.F.; BOF, L.H.N.; CECON, P.R.; SOUZA, J.R.C.. SisCAH: *Sistema computacional para análises hidrológicas*. Brasília, DF, Agência Nacional de Águas. 2009. 60p.

SUŠNIK, J.; VAMVAKERIDOU-LYROUDIA, L.S.; SAVIĆ, D.A.; KAPELAN, Z. Integrated System Dynamics Modelling for water scarcity assessment: Case study of the Kairouan region. *Science of the Total Environment*, 2012. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.05.085.

TIAN, F.; LI, H.; SIVAPALAN, M.. Model diagnostic analysis of seasonal switching of runoff generation mechanisms in the Blue River basin, Oklahoma. *Journal of Hydrology*, v. 418-419, p. 136-149, 2012.

TILMAN, D.; CASSMAN, K.G.; MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, v. 418, p. 671-677, 2002.

TOMER, M.D.; SCHILLING, K.E.A. A simple approach to distinguish land-use and climate-change effects on watershed hydrology. *Journal of Hydrology*, v. 376, p. 24-33, 2009.

TUCCI, C.E.M.. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS. 2002, 256 p.

VAIRAVAMOORTHY, K.; GORANTIWAR, S.D.; PATHIRANA, A. Managing urban water supplies in developing countries – Climate change and water scarcity scenarios. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 33, p. 330–339, 2008.

YADAV, M.; WAGENER, T.; GUPTA, H. Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins. *Advances in Water Resources*, v. 30, p. 1756–1774, 2007.

ZHANG, X.H.; ZHANG, H.W.; CHEN, B.; CHEN, G.Q.; ZHAO, X.H.. Water resources planning based on complex system dynamics: A case study of Tianjin city. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 13, p. 2328–2336, 2008.

ZHAO, R.; CHEN, S.. Fuzzy pricing for urban water resources: Model construction and application. *Journal of Environmental Management*, v. 88, p. 458–466, 2008.

## ***Optimization Of The Use Of Available Surface Waters In The Entre Ribeiros River Basin***

### **ABSTRACT**

*The purpose of water use grants is to adjust demands and availability and to ensure compliance with current and future water uses. The criteria for issuing water use grants are based on percentages of minimum flows observed during periods of drought (reference flows). Considering that seasonal availability and the use of less stringent criteria constitute alternatives that may enable better water use, the objective of the present study is to characterize the water use demands; quantify reference flow; assess the impact of using different licensing criteria for water availability; and to conduct a case study for the Entre Ribeiros river basin. To quantify the removal of water from the basin, the IGAM files were consulted, and regionalization of the reference flow was performed to quantify availability. The regionalized demands and flows obtained in annual and monthly bases were spatialized along the BHTCOMG and an analysis was done to assess the impact of the replacement of annual flows by monthly flows considering criteria based on the use of 30% of the annual and monthly Q7, 10 and 50% of annual and monthly Q7, 10 for each stretch of the hydrograph. Based on the results obtained, it can be concluded that changing the criteria from 30% to 50% of the annual Q7,10 promoted increases ranging from 5% to 170% in the percentage of stretches in which the sum of grants did not exceed the maximum discharge granted; using the criterion of 30% of the monthly Q7,10 resulted in increases of up to 209% of the percentage of the stretches looked at.*

**Keywords:** Seasonality of the flow regime. Management, planning.