

ÍNDICES DE CONFLITO PELO USO DA ÁGUA NA BACIA DO RIO GRANDE

Weriskiney Araújo Almeida^{1} & Michel Castro Moreira²*

Resumo – O presente trabalho teve por objetivo obter e analisar os valores dos índices de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg}) e no planejamento dos recursos hídricos (i_{cp}) da bacia do rio Grande, visando identificar áreas com conflitos potenciais pelo uso da água e fornecer subsídios às ações do órgão gestor de recursos hídricos do Estado da Bahia. Para a aplicação dos índices, foram estimadas a vazão mínima de referência com 90% de permanência (Q_{90}) e a vazão média de longa duração (Q_{mld}) dos segmentos da hidrografia da bacia. A demanda de água foi calculada a partir do banco de dados das outorgas concedidas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA). Os resultados mostraram que em 4,0% dos segmentos com captação de água da bacia o limite outorgável foi superior ao permissível, e que em 3,3% desses, existindo conflito pelo uso da água, não se pode contorná-lo apenas com ações de planejamento. A utilização dos índices possibilitou analisar a disponibilidade hídrica em nível de segmentos da hidrografia da bacia do rio Grande, permitindo ao órgão gestor atuar localmente para a mitigação dos conflitos ou no planejamento de soluções para conflitos iminentes.

Palavras-Chave – conflito pelo uso da água, disponibilidade hídrica, outorga.

INDEX OF WATER USE CONFLICT IN THE GRANDE RIVER BASIN

Abstract – The purpose of this paper is to obtain and to analyse the values of the indexes of water use conflict in water resources management (i_{cg}) and planning (i_{cp}) in the Grande river basin, aiming at identifying areas with potential water-use conflicts and provide, therefore, data for the actions of the water resources management entity of Bahia state, Brazil. In order to apply the indexes, the minimum reference outflow (Q_{90}) and the yield discharge (Q_{mld}) of the segments of the basin hydrography were estimated. Water demand was obtained from the water grants database from Environmental and Water Resources Institute of Bahia (INEMA). The results showed that in 4.0% of stream segments with water withdrawals, the legal water abstraction limit was exceeded, and in 3.3% of these segments, where there is conflict, it cannot be solved just with planning of actions. Indexes enabled analysing water availability from a level of segments of the Grande river basin hydrography, permitting the management entity to act locally for the mitigation of water-use conflicts or in planning of solutions for imminent conflicts.

Keywords – water use conflict, water availability, water grant.

¹ Eng^o. Sanitarista e Ambiental. Mestrando em Eng. Hidráulica e Saneamento, USP/EESC, São Carlos-SP, weriskiney@gmail.com. Bolsista CAPES.

² D.Sc. em Engenharia Agrícola, UFBA/ICADS, Barreiras-BA, michelcm@ufba.br.

* Autor correspondente

1. INTRODUÇÃO

Os conflitos pelo uso da água estão diretamente associados com a disponibilidade hídrica. Esses conflitos podem ser resultado tanto do aumento da demanda, quanto da baixa disponibilidade hídrica de uma região (Falkenmark, 1986). Para Wolf *et al.* (2005), as disputas por água podem ser atribuídas à sua qualidade e quantidade. Se, por um lado, a degradação da qualidade da água pode se tornar um motivo de disputa entre os poluidores e os indivíduos afetados pela poluição, por outro, a chance de conflito entre partes aumenta quando o recurso é escasso. Desse modo, é importante que as ações para evitar conflitos pelo uso da água numa bacia hidrográfica baseiem-se em estudos de vulnerabilidade dos recursos hídricos.

A vulnerabilidade, que é expressa muitas vezes por meio da escassez ou estresse hídrico, tem sido avaliada quantitativamente pela aplicação de diversos índices nos últimos 20 anos. Algumas revisões bibliográficas atualmente disponíveis na literatura reúnem muitos desses índices (Brown e Matlock, 2011; Plummer, *et al.*, 2012). Um aspecto importante da maioria dos índices propostos é que a análise é realizada apenas para um nível global ou regional, desconsiderando as especificidades regionais, ou até mesmo locais.

O Brasil, por exemplo, possui uma extensa área territorial e grandes diferenças no que diz respeito aos aspectos ambientais de suas bacias hidrográficas (Guimarães e Magrini, 2007). Reuniões como o Fórum Mundial da Água e a conferência ministerial do G8 em 1999 têm alertado sobre a necessidade de se abordar os problemas na gestão dos recursos hídricos de modo mais efetivo, tanto em escala internacional como local (Sullivan, 2002).

Tendo em vista a necessidade que os gestores de recursos hídricos possuem de instrumentos para a identificação de potenciais conflitos pelo uso da água em nível local, Moreira *et al.* (2012) propuseram os Índices de conflito pelo uso da água na gestão (i_{cg}) e no planejamento (i_{cp}) dos recursos hídricos. Os índices são aplicados para cada trecho de um curso d'água de uma bacia hidrográfica. O cálculo do i_{cg} corresponde à relação entre a vazão total outorgada em um segmento e a vazão máxima legalmente outorgável. Já o i_{cp} relaciona a vazão total outorgada à vazão média de longa duração (Q_{mld}).

Dada a constatação da importância do estudo da escassez hídrica e do conflito pelo uso da água em nível local, bem como a evidência de que os índices são úteis para caracterizar a situação de uma bacia, objetivou-se neste trabalho obter e analisar os valores dos índices de conflito pelo uso da água na gestão (i_{cg}) e no planejamento (i_{cp}) dos recursos hídricos aplicados à bacia do rio Grande, visando a identificação de conflitos potenciais pelo uso da água e fornecer subsídios às ações do órgão gestor de recursos hídricos do Estado da Bahia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Situada no médio São Francisco (Figura 1), a bacia do rio Grande representa 12,6% da área de drenagem do rio São Francisco, sendo a sua maior sub-bacia (Pereira *et al.*, 2007). Com área de aproximadamente 78.500 km², a bacia localiza-se no Estado da Bahia, correspondendo a 13,9% da área deste Estado.

A região concentra a fatia mais expressiva do agronegócio da Bahia, com matriz produtiva diversificada, tecnicizada e qualificada. Vários fatores favoreceram o desenvolvimento da agricultura na região, como a topografia plana favorável à mecanização; condições climáticas bem definidas (estações úmida e seca); boa disponibilidade hídrica; e boa luminosidade (AIBA, 2010).

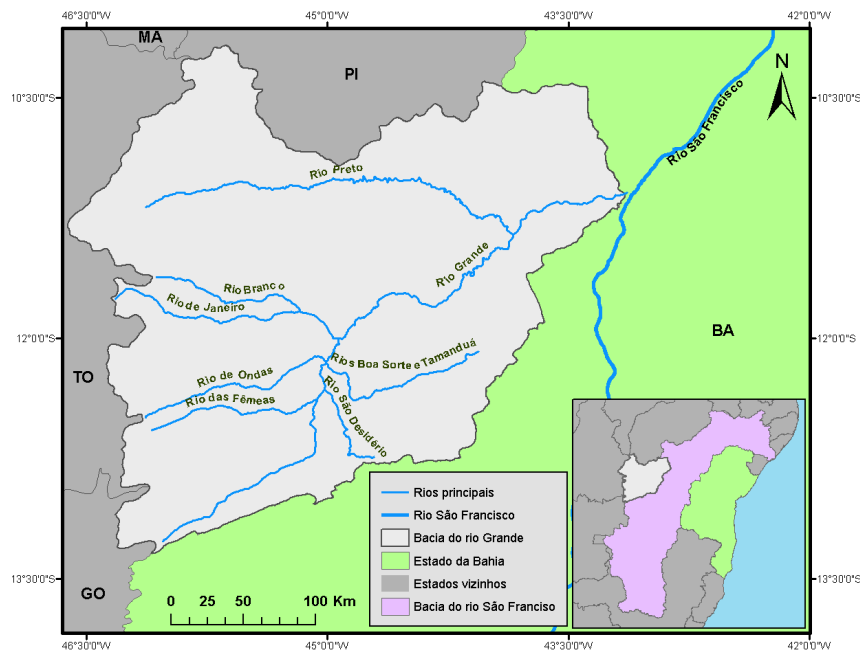


Figura 1 – Mapa de localização da bacia do rio Grande.

2.2. Levantamento e geração de dados

A referência para o cálculo dos índices i_{cg} e i_{cp} foi a hidrografia da bacia na escala topográfica do milionésimo (1:1.000.000), obtida junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados hidrográficos foram processados para correção de erros amostrais e inconsistências.

O Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) da bacia do rio Grande foi o dado básico para a obtenção das áreas de drenagem de cada segmento da hidrografia. A metodologia utilizada para a geração e validação do MDEHC foi executada em cinco etapas, conforme descritas por (Pires *et al.*, 2005), sendo estas: amostragem, pré-processamento, processamento, pós-processamento e validação do MDEHC. Na execução dessas etapas, foram realizadas operações manuais e automáticas, por meio de rotinas e comandos implementados no software ESRI ArcGIS®.

Tendo em vista a necessidade de se estimar, para a foz de cada segmento da hidrografia da bacia, a vazão máxima legalmente outorgável e a vazão média de longa duração, foi utilizado o procedimento de regionalização de vazões, utilizando-se as equações de regionalização obtidas por Rodriguez (2008).

Os dados de outorga foram obtidos por meio do cadastro de usuários de água da bacia, disponibilizado em versão eletrônica pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia (INEMA). Foram consideradas apenas as outorgas superficiais vigentes no mês de janeiro de 2012.

2.3. Cálculo dos índices

De posse dos valores da vazão máxima legalmente outorgável e a vazão média de longa duração para a foz de cada segmento da hidrografia da bacia, bem como da soma das outorgas a montante da foz de cada segmento, procedeu-se o cálculo dos índices conforme as Equações 1 e 2.

$$i_{cg} = \frac{Q_{out}}{x \cdot Q_{mr}} \quad (1)$$

em que:

- i_{cg} = Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos, adimensional;
 Q_{out} = vazão outorgada a montante da foz do segmento em estudo, em m^3s^{-1} ;
 x = percentagem, expressa em decimal, da Q_{mr} passível de ser outorgada, adimensional; e
 Q_{mr} = vazão mínima de referência estimada na foz do segmento em estudo, em m^3s^{-1} .

$$i_{cp} = \frac{Q_{out}}{Q_{mld}} \quad (2)$$

em que:

- i_{cp} = Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos, adimensional; e
 Q_{mld} = vazão média de longa duração na foz do segmento em estudo, em m^3s^{-1} ;

A vazão outorgada é a soma das vazões máximas instantâneas dos sistemas de captação. As captações podem ocorrer durante algumas horas por dia, durante alguns dias do mês e durante alguns meses do ano. O valor de Q_{out} representa a situação mais crítica, em que todos os usuários estejam consumindo o máximo possível ao mesmo tempo. A vazão média de longa duração, por sua vez, é a média das vazões médias diárias de um rio e é a vazão máxima passível de ser regularizada num curso d'água (Moreira *et al.*, 2012).







No Estado da Bahia, o Decreto nº 6.296 de 21 de março de 1997 estabeleceu que a vazão mínima de referência adotada deve ser estimada com base na vazão de até 90% de permanência a nível diário (Q_{90}). A quantidade passível de ser outorgada corresponde a 80% da vazão de referência (BAHIA, 1997).

3. RESULTADOS

Foram identificadas, para o mês de janeiro de 2012, 87 outorgas vigentes na bacia do rio Grande, das quais 49 possuem a finalidade de irrigação; 29 o abastecimento humano e animal; cinco a piscicultura/aquicultura; duas destinadas ao consumo industrial; uma para lançamento de efluente com captação de água; e uma para geração de energia elétrica. A vazão total outorgada na bacia do rio Grande no mês de janeiro de 2012 correspondeu a $38,89 m^3s^{-1}$.

Na Tabela 1 são apresentados os valores do i_{cg} , o número de segmentos enquadrados em cada uma das faixas, o seu valor percentual em relação ao número de segmentos da bacia do rio Grande e o seu valor percentual em relação ao total de segmentos que possuem vazões outorgadas a montante da foz.

Tabela 1 – Classificação dos segmentos da bacia do rio Grande de acordo com o índice de identificação de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg})

Faixa de valor	Cor	Número de segmentos	% em relação à bacia*	% em relação aos segmentos**
$i_{cg} = 0$		747	83,3%	-
$0 < i_{cg} \leq 0,7$		137	15,3%	91,3%
$0,7 < i_{cg} \leq 0,9$		7	0,8%	4,7%
$0,9 < i_{cg} \leq 1$		0	0,0%	0,0%
$x i_{cg} \leq 1$		1	0,1%	0,7%
$x i_{cg} > 1$		5	0,6%	3,3%
Total		897		

* % de segmentos em relação ao total de segmentos da bacia.

** % de segmentos que possuem vazões outorgadas a montante da foz.

Verifica-se pela análise dos valores apresentados na Tabela 1, que não existem outorgas pelo uso da água em 83,3% dos segmentos da bacia do rio Grande. As faixas de cores verde, amarelo e laranja representam a situação de segmentos que possuem outorgas vigentes em janeiro de 2012 e que, ainda, possuem vazões permissíveis de serem outorgadas.

Pela análise da condição em que o $i_{cg} < 1$, observa-se que em 99,4% (83,3% + 15,3% + 0,8% + 0%) dos segmentos de cursos d'água da bacia a vazão outorgada se encontra dentro do limite previsto pela legislação no Estado da Bahia. Quando se analisa o percentual em relação aos segmentos com vazões outorgadas, verifica-se que 96,0% (91,3% + 4,7% + 0%) desses cursos d'água não ultrapassaram o valor de 80% da Q_{90} .

Pode-se observar, na condição representada pela cor vermelha, que em um segmento a vazão outorgada supera o limite permissível de outorga no Estado da Bahia (80% da Q_{90}). Em cinco segmentos da bacia (0,6%) são verificadas vazões outorgadas superiores ao valor da Q_{90} . Esses trechos possuem os valores de Q_{90} variando de $1,11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a $7,32 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Moreira *et al.* (2012) afirmaram que a concessão de outorgas além dos limites permissíveis pela legislação é um problema frequente, embora os órgãos gestores de recursos hídricos tenham o comprometimento legal de respeitá-los. Isso ocorre devido à falta de ferramentas adequadas para o gerenciamento das outorgas emitidas e para a quantificação da disponibilidade de água.

A Figura 2 refere-se à aplicação do i_{cg} nos segmentos da bacia do rio Grande. Verifica-se notadamente nos cursos do rio Branco e do rio das Fêmeas, que existem segmentos com vazões outorgadas superiores a 80% da Q_{90} , os quais são representados pelas colorações roxa e vermelha no mapa.

A irrigação é único tipo de uso da água nos segmentos críticos (coloração roxa e vermelha), tendo sido outorgado, apenas no rio Branco, $14,41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esse resultado encontra-se de acordo com a afirmação de (Mendes, 2007), de que no rio Branco a irrigação está no limiar da disponibilidade hídrica.

A constatação de vazões outorgadas superiores ao limite legal de disponibilidade hídrica do Estado da Bahia também possui relação direta com as dificuldades na estimativa da vazão mínima

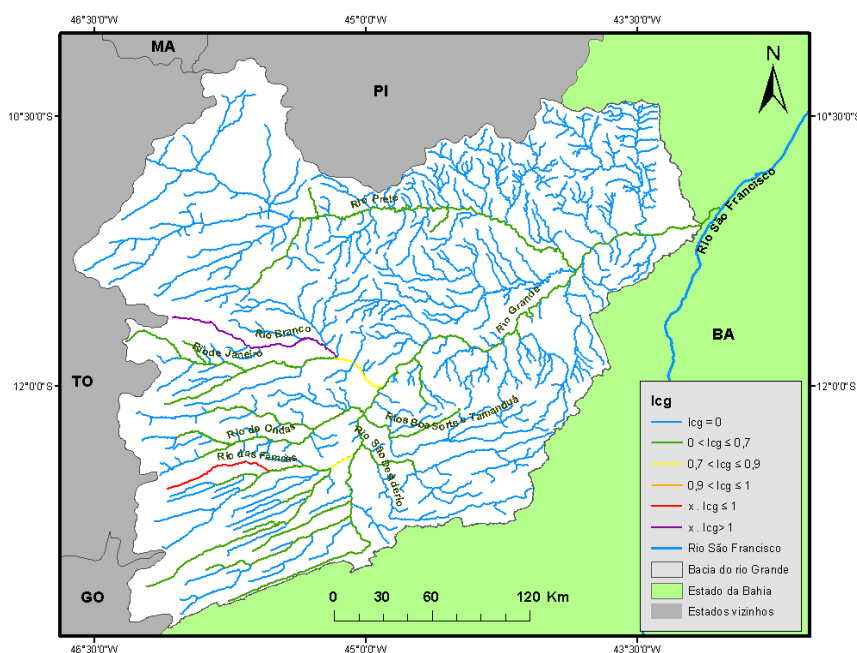


Figura 2 – Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg}) da bacia do rio Grande.

de referência. Segundo (Mendes, 2007), a dificuldade de obtenção e utilização de dados mais precisos (diários) para o cálculo da Q_{90} e as incertezas associadas à precipitação em regiões do semiárido não permitem uma boa indicação da disponibilidade hídrica.

A situação de algumas áreas da bacia do rio Grande pode ser considerada crítica, tendo em vista o número de segmentos com coloração roxa e vermelha, conforme se verifica na Figura 2. Diante de tal constatação, faz-se necessário analisar o Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (i_{cp}), para se avaliar a possibilidade de adoção de medidas estruturais e não estruturais, como a construção de barragens ou alterações das políticas públicas de uso da água, para mitigação dos conflitos.

Na Tabela 2 são apresentados os valores do i_{cp} , o número de segmentos enquadrados em cada uma das faixas, o seu valor percentual em relação ao número de segmentos da bacia do rio Grande e o seu valor percentual em relação ao total de segmentos que possuem vazões outorgadas a montante da foz.

Pela análise dos valores apresentados na Tabela 2, verifica-se que em 145 segmentos da bacia (16,2%) a vazão outorgada corresponde a um valor inferior à vazão média de longa duração ($0 < i_{cp} \leq 1$). Observa-se, ainda, que em 5 segmentos (0,6%) foi outorgada vazão maior que a Q_{mld} .

Por outro lado, pode-se constatar que 96,7% dos segmentos que possuem vazões outorgadas a montante não resultaram em valores de i_{cp} críticos ($0 < i_{cp} \leq 1$), ficando apenas a parcela de 3,3% em situação crítica ($i_{cp} > 1$).

Na Figura 3 apresenta-se a bacia do rio Grande com a espacialização do i_{cp} , na qual se constata que a maioria dos segmentos não possui outorgas pelo uso da água, condição representada pela coloração azul.




A coloração dos segmentos em marrom implica que, os conflitos pelo uso da água existentes quando a demanda supera a disponibilidade hídrica na situação mais crítica, ainda podem ser contornados por meio da regularização de vazões, uma vez que as vazões outorgadas são menores que a vazão média de longa duração.

Por sua vez, a coloração cinza apresentada nos segmentos da Figura 3 indica que esses conflitos não podem ser superados com a regularização de vazões, uma vez que as vazões outorgadas já superaram a vazão média de longa duração. Estes segmentos são referentes ao alto curso do rio Branco.

A existência de segmentos cuja vazão outorgada é superior a Q_{mld} é um fator preocupante para a manutenção dos recursos hídricos na bacia do rio Grande. Desse modo, considerando que a outorga é uma concessão temporária, é necessário maior controle em novos processos de concessão do direito de uso da água, concomitantemente à análise das outorgas em segmentos críticos, como os do rio das Fêmeas.

Os índices aplicados analisam conflitos potenciais pelo uso da água fazendo apenas uma análise quantitativa dos recursos hídricos. Essa é uma limitação quanto ao seu uso, dado que esses conflitos também podem ocorrer devido à baixa qualidade da água, mesmo que esta esteja

Tabela 2 – Classificação dos segmentos da bacia do rio Grande de acordo com o índice de identificação de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (i_{cp})

Faixa de valor	Cor	Número de segmentos	% em relação à bacia*	% em relação aos segmentos*
$i_{cp} = 0$		747	83,3%	-
$0 < i_{cp} \leq 1$		145	16,2%	96,7%
$i_{cp} > 1$		5	0,6%	3,3%
Total		897		

* % de segmentos em relação ao total de segmentos da bacia.

** % de segmentos que possuem vazões outorgadas a montante da foz.

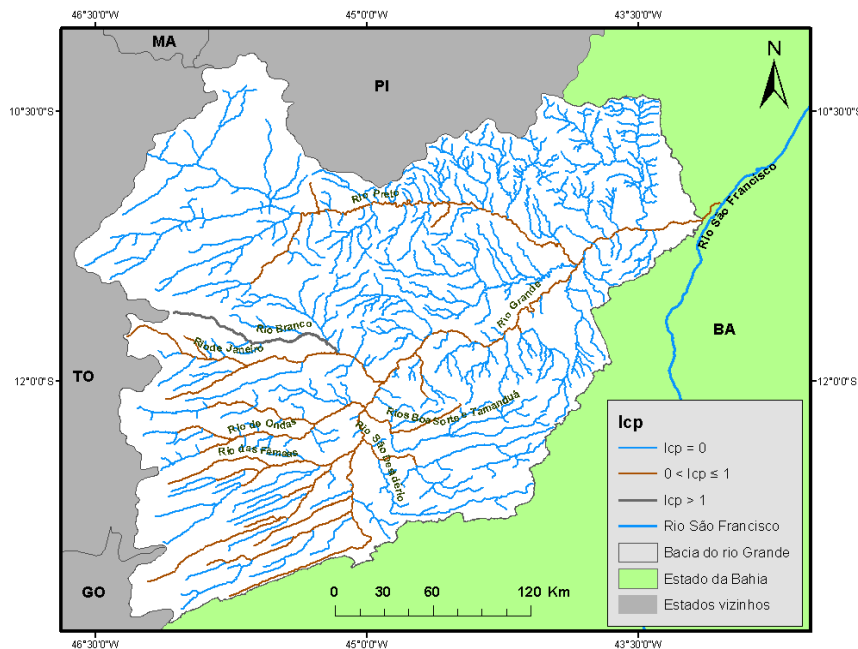


Figura 3 – Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (i_{cp}) da bacia do rio Grande.

disponível quantitativamente de modo satisfatório.

Uma vez que os índices apresentados representam a situação mais crítica, em que todos os usuários estejam consumindo o máximo possível ao mesmo tempo e as condições hidrológicas sejam as mais críticas, pode-se inferir que são índices conservadores. Além disso, os índices não incorporam o retorno das vazões captadas, que são efetivamente usadas a jusante, nem consideram o efeito da regularização de vazões resultante de reservatórios, o que eleva a vazão mínima de referência.

Os dados de outorga formam toda a base de dados disponível para que o órgão gestor desempenhe sua função. Assim, as captações de água sem o devido registro e concessão legais são um empecilho para se quantificar a real demanda de água na região, fato que torna latente a diferença entre o comprometimento real dos recursos hídricos e o comprometimento que o órgão ambiental tem conhecimento por meio dos documentos legais de concessão do uso da água.

As principais vantagens dos índices i_{cg} e i_{cp} são: facilidade na obtenção dos dados primários e no cálculo dos resultados, uma vez que utilizam dados gratuitos e ferramentas computacionais que permitem a automatização do processo; o uso do geoprocessamento, o que possibilita uma análise relativamente rápida de grandes bacias hidrográficas, dando ideia do comprometimento dos recursos hídricos e subsidiando tomadas de decisões; e a facilidade na repetição das análises, vantagem relevante quando se tem o interesse de monitorar a situação da bacia no nível de segmentos em períodos mensais, por exemplo.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados, pode-se concluir que a análise conjunta dos índices de conflito pelo uso da água na gestão (i_{cg}) e no planejamento (i_{cp}) dos recursos hídricos, aplicados à bacia do rio Grande, possibilitou verificar a disponibilidade hídrica para fins de outorga em nível de segmentos da hidrografia da bacia, permitindo ao órgão gestor do Estado da Bahia atuar localmente para a mitigação dos conflitos existentes ou no planejamento de soluções para conflitos iminentes.

5. AGRADECIMENTOS: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- AIBA – Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (2010). *Anuário da Região Oeste da Bahia: Safra 2009/2010*. Barreiras: Editora Gazeta Santa Cruz. 55 p.
- BAHIA, Decreto nº 6.296, de 21 de março de 1997 (1997). Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos, infração e penalidades e dá outras providências.
- BROWN, A.; MATLOCK, M. D. (2011). A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies. *The Sustainability Consortium*, v. 106, p. 1-19.
- CORBO, Martin D.; COLLISCHONN, Walter ; KIRCHHEIM, Roberto E.; SILVA, Benedito C. (2005). Análise do efeito da extração de água subterrânea sobre a disponibilidade de água superficial na bacia do rio Grande (BA). In *anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005*, João Pessoa.
- FALKENMARK, Malin (1986). Fresh Water - Time for a modified approach. *AMBIO*, 15, no. 4. p. 192–200.
- FRAITURE, C. DE *et al* (2007). Looking ahead to 2050: scenarios of alternative investment approaches. In: *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management is available*. London: IWMI. p. 91-145.
- FRAITURE, C. DE; WICHELNS, D. (2010). Satisfying future water demands for agriculture. *Agricultural Water Management*, v. 97, n. 4, p. 502-511.
- GUIMARÃES, L. T.; MAGRINI, A. (2007). A Proposal of Indicators for Sustainable Development in the Management of River Basins. *Water Resources Management*, v. 22, n. 9, p. 1191-1202.
- MARTIN-CARRASCO, F. *et al*. (2012). Diagnosing Causes of Water Scarcity in Complex Water Resources Systems and Identifying Risk Management Actions. *Water Resources Management*, v. 27, n. 6, p. 1693-1705.
- MENDES, L. A. (2007). *Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência*. [s.l.] Universidade de São Paulo.
- MOREIRA, M. C. *et al*. (2012). Índices para Identificação de Conflitos pelo Uso da Água: Proposição Metodológica e Estudo de Caso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 17, n. 3, p. 7-15.
- PEREIRA, S. B. *et al*. (2007). Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 6, p. 615-622.
- PIRES, J. M. *et al*. (2005). Análise da Exatidão de Diferentes Métodos de Interpolação para Geração de Modelos Digitais de Elevação e Obtenção de Características Morfométricas em Bacias Hidrográficas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 2, p. 39-47.
- PLUMMER, R.; LOË, R.; ARMITAGE, D. (2012). A Systematic Review of Water Vulnerability Assessment Tools. *Water Resources Management*, v. 26, n. 15, p. 4327-4346.
- SULLIVAN, C. (2002). Calculating a Water Poverty Index. *World Development*, v. 30, n. 7, p. 1195-1210.
- WOLF, A. T. *et al* (2005). Managing Water Conflict and Cooperation. In: *State of the World*. Washington, DC: Worldwatch Institute. p. 80-208.