

Conflitos no aproveitamento hídrico na bacia hidrográfica do rio São Marcos, Alto Paranaíba

Conflicts water use in the São Marcos river basin, Alto Paranaíba

• **Data de entrada:**
10/09/2019

• **Data de aprovação:**
23/12/2019

Sérgio Siqueira Prado Soares¹ | Marcio Ricardo Salla^{1*}

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2021.037>

ORCID ID

Soares SSP  <https://orcid.org/0000-0002-6528-2411>

Salla MR  <https://orcid.org/0000-0003-2567-6173>

Resumo

A bacia hidrográfica do rio São Marcos, inserida nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, tem destaque na produção agrícola e na geração de energia elétrica, levando a conflitos pelo uso da água. O objetivo deste artigo foi trazer propostas para otimização do aproveitamento hídrico superficial, minimizando os conflitos de uso da água entre a geração hidroelétrica (Centrais Hidrelétricas de Batalha e Serra do Facão) e a irrigação por meio de pivôs centrais. Foram analisados novos critérios na estimativa da vazão de referência, com a determinação em bases sazonais, considerando os seis meses mais chuvosos (outubro a março) e os seis meses mais secos (abril a setembro), além da adoção de critérios de outorga diferentes dos adotados atualmente pelos Estados de Minas Gerais (50% da $Q_{7,10}$), Goiás (70% da Q_{95}) e Distrito Federal (80% da $Q_{7,10}$), com porcentagens maiores e menores do que a vazão máxima outorgável. Com as alterações das vazões de referência calculadas em bases sazonais, percebeu-se uma piora na disponibilidade hídrica ao utilizar o período de estiagem, com um aumento de 8% das áreas críticas. Já no período chuvoso houve uma diminuição de aproximadamente 2% nas áreas críticas. Na substituição dos critérios de outorga, o que trouxe os melhores resultados foi a adoção do critério de 80% da $Q_{7,10}$, em que somente 2,3% das áreas da bacia hidrográfica estiveram acima dos limites outorgáveis. Nas regiões em que as situações de escassez são mais recorrentes, foram estimados cortes máximos no volume captado de até 89%. No reservatório de Serra do Facão, o potencial existente para captação se mostra favorável, sendo possível o aumento da demanda na região sem prejudicar a geração de energia elétrica. Em 27% da série temporal analisada, o reservatório de Batalha esteve no seu volume de reserva mínimo devido às grandes demandas existentes na região. Contudo, este estudo contribuiu para o planejamento e gestão dos recursos hídricos superficiais na bacia hidrográfica do rio São Marcos.

Palavras-chave: Otimização hídrica. OPTIGES. Uso da água. Vazão de referência. Rio São Marcos.

¹ Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - Uberlândia - Minas Gerais - Brasil.

* **Autor correspondente:** sallamarcioricardo@gmail.com.

Abstract

The São Marcos river basin, located in the states of Minas Gerais, Goiás and the Federal District, has relevant importance in agricultural production and electric power generation, leading to conflicts over water use. The main objective of this paper was to bring proposal for optimization surface water use, minimizing water use conflicts between hydroelectric generation (Batalha and Serra do Facão Hydroelectric Power Plants) and irrigation through central pivots. New criteria were analyzed in the estimation of the reference flow, with determination on seasonal basis, considering the six wettest months (October to March) and the six driest months (April to September), besides the adoption of different from those currently adopted by the States of Minas Gerais (50% of $Q_{7,10}$), Goiás (70% of Q_{95}) and Federal District (80% of $Q_{7,10}$), with higher percentages and less than the maximum allowable flow. For the change in reference flows calculated on seasonal basis, there was a worsening of water availability when using the dry season, with an increase of 8% of the critical areas. For the rainy season, there was a decrease of approximately 2% in the critical areas. In the replacement of the grant criteria, what brought the best results was the adoption of the criterion of 80% of $Q_{7,10}$, where only 2.3% of the watershed area were above the grantable limits. In regions where scarcity situations are more frequent, maximum cuts in the volume captured up to 89% were estimated. In the Serra do Facão reservoir, the potential for capture is favorable, and it is possible to increase demand in the region without harming the generation of electricity. In 27% of the months, the Batalha reservoir was at its minimum reserve due to the high demands in the region. However, this study contributes to the planning and management of surface water resources in the river São Marcos watershed.

Keywords: Hydric optimization. OPTIGES. Water use. Reference flow. São Marcos river.

1 INTRODUÇÃO

Em virtude dos conflitos pelo uso da água observados em diversos locais do país, surgiu a necessidade de criação de instrumentos que colaborassem no planejamento e gestão dos recursos hídricos. Nesse sentido, o Brasil teve um grande avanço com a publicação da Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), que criou a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que, dentre seus instrumentos de gestão, inclui a outorga de direito de uso da água. A outorga tem o objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, superficiais ou subterrâneas, e o efetivo exercício dos direitos de acesso a esse recurso natural. É o ato administrativo pelo qual o poder outorgante concede ao outorgado o direito de uso desse recurso por prazo determinado e conforme termos e condições expressas no ato da sua concessão (BRASIL, 2006).

De acordo com ANA (2015), aproximadamente 55% da demanda hídrica consuntiva em escala nacional é direcionada ao setor de irrigação. Os Estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia e São Paulo concentram cerca de 80% da área irrigada por pivô central. Além disso, existem aproximadamente 267 centrais hidrelétricas instaladas nesses Estados, o que acirra os conflitos pelos usos múltiplos da água (ANEEL, 2018).

A bacia hidrográfica do rio São Marcos traz enormes conflitos entre os irrigantes e o setor hidrelétrico. De acordo com o IBGE (2015), a bacia é caracterizada por ser uma região de alta produtividade agrícola devido à irrigação por pivôs centrais, onde os municípios de Cristalina (GO) e Unai (MG), respectivamente, estão na 5ª e 24ª posição de maiores PIBs agrícolas do Brasil.

Atualmente estão em operação na bacia hidrográfica do rio São Marcos duas centrais hidrelétricas – CH em série, na sequência, Batalha (com

início de operação em maio de 2014) e Serra do Facão (com início de operação em outubro de 2010). Os conflitos foram agravados após o término das obras da CH Batalha, o que motivou o estabelecimento do marco regulatório na bacia, conforme Resoluções ANA nº 562 (ANA, 2010a) e ANA nº 564 (ANA, 2010b), pactuadas entre a Agência Nacional das Águas e os órgãos gestores de Goiás (Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH) e Minas Gerais (Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM). Entretanto, as vazões disponibilizadas pelo marco para usos consuntivos já foram superadas pelas demandas existentes, o que tem motivado a sua revisão e a negociação entre os órgãos gestores e os usuários. Nesse sentido, de acordo com a Portaria ANA nº 78 (ANA, 2012), foi criada uma Comissão de Acompanhamento da Gestão de Recursos Hídricos da bacia do rio São Marcos, com a finalidade de revisar, acompanhar e fiscalizar o cumprimento do marco regulatório.

O presente estudo fundamenta-se na hipótese de que a variabilidade temporal e espacial da disponibilidade hídrica e o uso de critérios menos restritivos trazem alternativas que minimizam o conflito pelo uso da água. Diante dos critérios de outorga atuais nos Estados de Minas Gerais (50% da $Q_{7,10}$ anual) e Goiás (70% da Q_{95} anual), objetivou-se:

- Analisar a disponibilidade hídrica por meio de novos critérios de outorga de uso da água, fixos em toda a bacia, como: 70% da Q_{95} anual, 50% da $Q_{7,10}$ anual, 30% da $Q_{7,10}$ anual e 80% da $Q_{7,10}$, variando em base anual;
- Analisar a disponibilidade hídrica a partir dos critérios atuais calculados em base sazonal (períodos seco e chuvoso);

- Identificar as regiões que possuem uma situação de escassez mais frequente e ponderar níveis de prioridade e restrições nos usos da água. As análises computacionais de otimização hídrica foram realizadas no módulo OPTIGES, vinculado ao sistema de suporte à decisão AQUATOOL, tendo como foco principal as sub-bacias com níveis críticos de disponibilidade hídrica e os dois reservatórios de acumulação existentes no rio São Marcos (Batalha e Serra do Facão).

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio São Marcos está localizada na região central do Brasil, inserida na bacia do rio Paranaíba, abrangendo os estados de Goiás e Minas Gerais e o Distrito Federal, entre as coordenadas UTM 192.908 e 288.342 E, 7979326 e 8231498 N, fuso 23S e área de aproximadamente 1.208.575 ha, sendo 0,6% pertencente ao Distrito Federal, 71,9% ao estado de Goiás e 27,5% ao estado de Minas Gerais. O rio São Marcos é um curso de água da União e um dos principais tributários do rio Paranaíba em sua margem direita e, desde sua nascente até o encontro com o rio Paranaíba, percorre uma distância aproximada de 480 km (SILVA; HORA, 2015). É formada por dez municípios, sendo Campo Alegre de Goiás, Catalão, Cristalina, Davinópolis, Ipameri, Ouidor e Três Ranchos no estado de Goiás e os municípios de Guarda-Mor, Paracatu e Unaí no Estado de Minas Gerais. A Fig. 1a apresenta a localização da bacia hidrográfica do rio São Marcos.

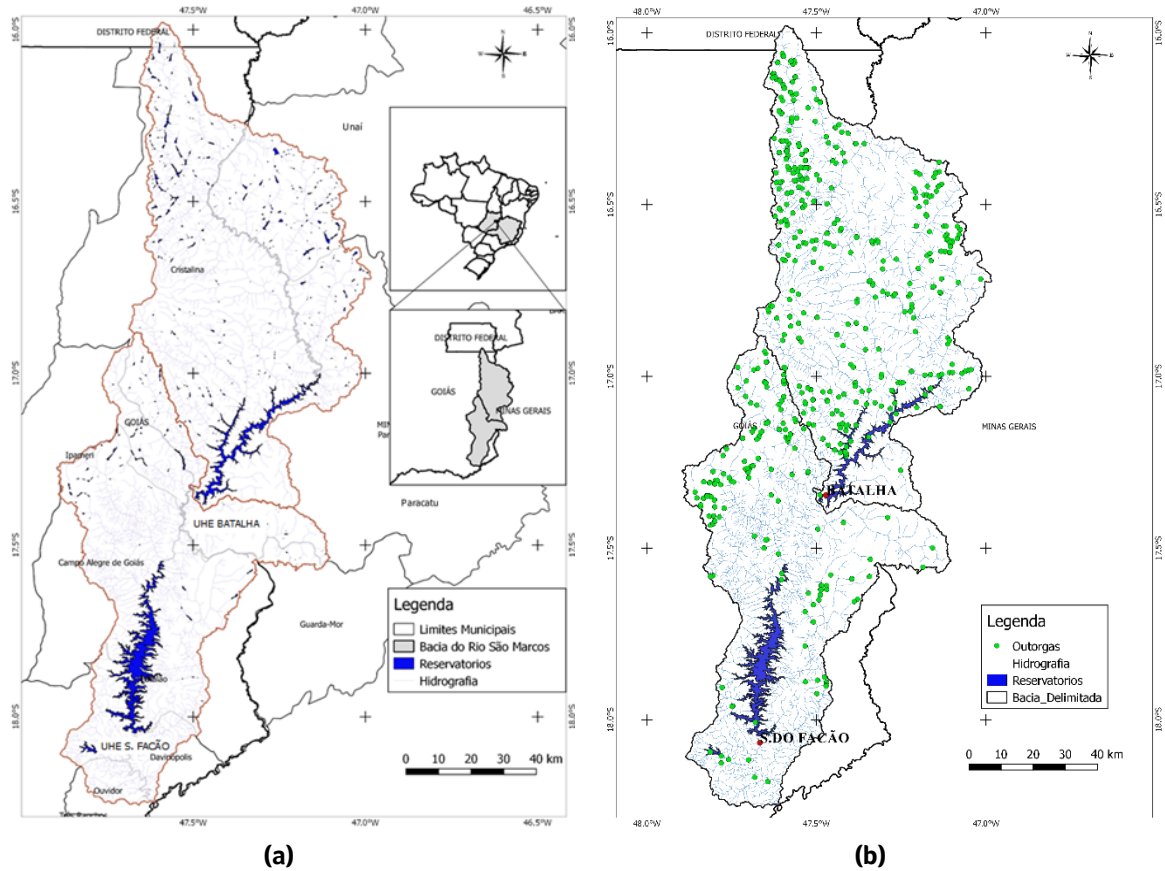


Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio São Marcos (a) localização georeferenciada; (b) Identificações das outorgas

2.2 Dados fluviométricos

Apesar do cadastro de diversas estações fluviométricas na bacia, várias delas não operam devido às construções dos reservatórios. Algumas estações foram monitoradas até o ano de 2007, quando se iniciou a construção da UHE Serra do Facão. Foram implantadas novas estações de monitoramento, porém grande parte iniciou a operação apenas em 2015. Portanto, optou-se por uma série histórica pequena, entre outubro de 2014 até setembro de 2017, utilizando as vazões de afluência e defluência dos reservatórios (vazões turbinadas e vertentes) na estimativa das séries sintéticas nas sub-bacias afluentes ao rio São Marcos, por meio do método de descarga específica. Todos os dados foram fornecidos por Furnas.

2.3 Demandas consuntivas e não consuntivas outorgadas

Os dados de outorga da porção mineira da bacia foram disponibilizados pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), enquanto os da porção goiana foram obtidos junto à Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos (SECIMA). Foram consultados os processos relativos às outorgas válidas e concedidas até dezembro de 2017 referentes ao abastecimento humano, irrigação, indústria, dessedentação de animal e geração de energia elétrica. A Fig. 1b traz as identificações das outorgas na bacia.

De acordo com Furquim & Abdala (2016), esta bacia concentra a maior extensão de áreas irrigadas por sistema de pivô central da América Latina, concentrada principalmente no município de Cristalina. A área irrigada por pivô central, a montante da usina hidrelétrica de Batalha, é de 82.906 ha.

3 OPTIGES

As ferramentas computacionais de auxílio ao planejamento e gestão dos recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica sofreram significativos avanços na capacidade de tomada de decisões nos últimos tempos (SALLA e CHUERUBIM, 2014). O presente estudo fez uso do módulo de otimização hídrica OPTIGES, vinculado à ferramenta AQUATOOL. Em escala mensal, o módulo tem como função a otimização e a gestão de um sistema de recursos hídricos de acordo com hipóteses e restrições que são impostas pelo usuário.

A topologia do sistema hídrico é semelhante a uma rede de fluxo, onde todos os elementos são dispostos a critério do usuário e sem a necessidade de manutenção de uma escala. Os elementos utilizados na construção da topologia foram:

- Nós: elementos pontuais utilizados nos pontos de convergência ou bifurcação de cursos de água, de retiradas pontuais de água (demandas consuntivas e não consuntivas), de entradas de cargas poluidoras, de retornos das demandas, etc;
- Conduções: elementos que representam os cursos de água. Cada condução ou trecho de rio possui um nó a montante e outro a jusante, onde o usuário deve informar a capacidade máxima de vazão, a vazão mínima (ecológica ou de diluição) e sua prioridade. Neste estudo, em função de a vazão mínima ser uma restrição ambiental, não foram aceitas falhas, fixando como maior prioridade de atendimento (prioridade número 1);

- Entrada: representa os tributários, lançamentos de efluente, retorno de demanda, etc. Neste estudo, as entradas foram relacionadas somente aos tributários;

- Demanda: representa as retiradas de água consuntivas (abastecimento urbano, indústria, irrigação, etc.) e não consuntivas (geração de energia hidroelétrica). As demandas podem ser atendidas em quatro níveis, em que o usuário tem a liberdade para definir uma porcentagem da demanda por nível. No processo de otimização hídrica, o módulo OPTIGES tenta satisfazer a todos os níveis das demandas, respeitando a escala de prioridade (AQUATOOL, 2016).

Neste elemento também são disponibilizados medidores de eficiência do processo de otimização. No presente estudo foi utilizada a garantia mensal como critério para a identificação de falhas no fornecimento de água para as demandas consuntivas. A falha só acontece quando um determinado mês apresenta um déficit em determinada porcentagem da demanda. A garantia ao atendimento das demandas mensais (G_m) é medida pela Eq. 1.

$$G_m = \left[1 - \left(\frac{\text{n}^\circ \text{ de falhas}}{\text{n}^\circ \text{ total de meses}} \right) \right] \cdot 100 \quad (1)$$

- Toma: é um elemento que fornece água para uma demanda. Para incluir uma toma na topologia é necessário que se tenham já definidos a demanda (que é o destino da toma) e o nó ou reservatório (que é a fonte de consumo). O módulo OPTIGES primeiramente fornecerá água para as retiradas (tomadas de água) com menor número de prioridade. Em casos de insuficiência de recursos hídricos, as demandas com prioridades maiores podem ser parcialmente atendidas ou até mesmo não serem atendidas. Além disso, a fim de realizar o balanço hídrico na bacia, é necessário definir as porcentagens do volume men-

sal captado pela demanda que retornarão ao sistema hídrico e as porcentagens consumidas;

- Retorno: corresponde às demandas que não são totalmente consumidas e retornam ao sistema hídrico. Para incluí-lo no sistema hídrico é necessário que, previamente, seja definido o elemento nó ou reservatório ao qual será conectado;

- Reservatórios: são nós com capacidade de armazenamento, sendo definidos pela diferença

entre o volume máximo e o volume mínimo de acumulação. Diversos outros dados são solicitados no módulo para a análise da variação mensal de armazenamento, tais como volumes operacionais, relações batimétricas, perdas por infiltração e taxa de evaporação mensal.

A fim de melhor representar a hidrografia, a bacia hidrográfica do rio São Marcos foi dividida em 23 sub-bacias, cuja topologia do sistema hídrico é apresentada na Fig. 2.

Legenda

- ↑ Entrada
 - Demanda
 - Nós
 - △ Reservatórios
- | | |
|-------|-------|
| SB-1 | SB-15 |
| SB-2 | SB-16 |
| SB-3 | SB-17 |
| SB-4 | SB-18 |
| SB-5 | SB-19 |
| SB-6 | SB-20 |
| SB-7 | SB-21 |
| SB-8 | SB-22 |
| SB-9 | SB-23 |
| SB-10 | |
| SB-11 | |
| SB-12 | |
| SB-13 | |
| SB-14 | |

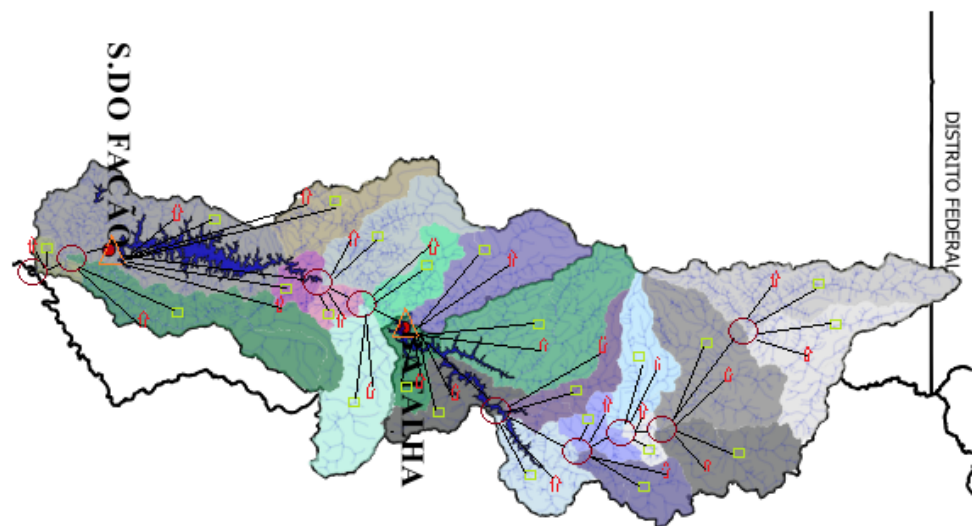


Figura 2 - Topologia do sistema hídrico

3.1 Regionalização da vazão

A reduzida quantidade de postos fluviométricos existentes no Brasil, associada a uma distribuição espacial não uniforme, faz com que os profissionais da área de recursos hídricos utilizem mecanismos para estimar as séries sintéticas de vazão em regiões com ausência de dados. Dentre os mecanismos mais utilizados, em função de sua simplicidade para implantação, destaca-se o conceito de descarga específica (vazão por área) (CUNHA, 2019).

As Eq. 2 e 3 representam, respectivamente, o equacionamento para o cálculo das vazões pon-

tuais (sub-bacias) e difusas no trecho a montante da UHE de Batalha, enquanto as Eq. 4 e 5 representam, respectivamente, o equacionamento para o cálculo das vazões pontuais (sub-bacias) e difusas no trecho entre as UHEs de Batalha e Serra do Facão. Foram utilizados os dados de outubro de 2014 até setembro de 2017, que corresponde ao período em que as duas usinas hidrelétricas estão em operação.

$$Q_{sub-bacia1i} = (Q_{Aflu-Batalha} / A_{total1}) \cdot A_{sub-bacia1i} \quad (2)$$

$$Q_{difusa1i} = [(Q_{Aflu-Batalha} / A_{total1}) \cdot A_{sub-bacia1i}] / L_{trecho1i} \quad (3)$$

$$Q_{\text{sub-bacia}2i} = ((Q_{\text{Aflu-Facão}} - Q_{\text{Deflu-Batalha}}) / A_{\text{total}2}) \cdot A_{\text{sub-bacia}2i} \quad (4)$$

$$Q_{\text{difusa}1i} = [(Q_{\text{Aflu-Facão}} - Q_{\text{Deflu-Batalha}}) / A_{\text{total}2}] \cdot A_{\text{sub-bacia}1i} / L_{\text{trecho}1i} \quad (5)$$

Nas quais: *i* corresponde a uma determinada sub-bacia; 1 é a área de contribuição ou o trecho do rio São Marcos a montante da UHE Batalha (km²); 2 é a área de contribuição ou o trecho do rio São Marcos entre as UHEs de Facão e Batalha (km²); $Q_{\text{sub-bacia}}$ é a vazão em cada sub-bacia (hm³/mês); Q_{difusa} é a vazão por km na área difusa (km²); $Q_{\text{Aflu-Batalha}}$ é a vazão afluente na UHE Batalha (hm³/mês); $Q_{\text{Aflu-Facão}}$ é a vazão afluente na UHE Serra do Facão (hm³/mês); $Q_{\text{Deflu-Batalha}}$ é a vazão defluente na UHE Batalha (hm³/mês); A_{total} é a área total de contribuição (km²); $A_{\text{sub-bacia}}$ é a área total de contribuição de cada sub-bacia (km²); L_{trecho} é o comprimento de cada trecho de rio (km).

Os dados de vazão são medidos diariamente por Furnas. Foi necessário calcular a média mensal para toda a série histórica, visto que a ferramenta AQUATOOL trabalha em escala mensal.

3.2 Determinação da $Q_{7,10}$

Os dados fluviométricos disponíveis foram de apenas três anos (2014 até 2017), que englobaram o período em que as duas centrais hidrelétricas já estavam em funcionamento e o período em que houve a intensificação dos conflitos pelo uso superficial dos recursos hídricos. Com isso, de acordo com a metodologia de cálculo da vazão de referência, houve a necessidade de quadruplicar sequencialmente a série de dados. Para o cálculo da vazão $Q_{7,10}$ foi utilizada a distribuição de probabilidade de Gumbel, cuja metodologia tem destaque na literatura (ROWINSKI et al., 2002; BEIJO, 2002).

3.3 Determinação da vazão Q_{95}

Foi utilizado o método da curva de permanência, que relaciona a vazão com sua probabilidade de ocorrência ao longo do tempo. Neste contexto, significa que 95% da série de dados de vazão tem valor maior ou igual à Q_{95} . A série analisada foi similar à $Q_{7,10}$.

3.4 Otimização do aproveitamento hídrico

3.4.1 Primeira análise

Foi avaliada a disponibilidade hídrica a partir de novos critérios de outorga em base anual, fixos em toda a bacia hidrográfica, conforme descritos na sequência: 70% da Q_{95} (critério utilizado no estado de Goiás e que é menos restritivo que o critério adotado no Estado de Minas Gerais); 50% da $Q_{7,10}$ (critério utilizado no Estado de Minas Gerais e que é mais restritivo que o critério adotado no estado de Goiás); 30% da $Q_{7,10}$ (critério ainda utilizado para a concessão de outorga em algumas bacias hidrográficas críticas no Estado de Minas Gerais); 80% da $Q_{7,10}$ (atual critério utilizado pelo Distrito Federal).

3.4.2 Segunda análise

Foi avaliada a disponibilidade hídrica a partir da manutenção dos critérios de outorga vigentes nos estados de Minas Gerais e Goiás, todavia calculados em base sazonal (período seco, entre abril a setembro, e chuvoso, entre outubro a março).

Para identificar, em cada trecho do rio, o percentual utilizado de outorgas a partir dos critérios adotados na primeira e na segunda análises, foram consideradas todas as outorgas emitidas a montante do trecho e no próprio trecho em estudo. Assim sendo, o percentual já outorgado por trecho de rio é expresso pela Eq. 6.

$$Q_{\text{outorgada}i} (\%) = \{ \sum Q_{\text{mt}i} / [(x/100) * Q_{7,10}] \} * 100 \quad (6)$$

Na qual: $Q_{outorgada\ i}$ é o percentual utilizado da parcela $Q_{7,10}$ permissível para outorga no segmento i (m^3/s); x é a porcentagem da $Q_{7,10}$ permissível para outorga (%); $\sum Q_{mt\ i}$ é o somatório das vazões já outorgadas a montante do segmento i , inclusive as vazões outorgadas no próprio segmento i (m^3/s).

Os resultados foram avaliados em toda a hidrografia da bacia hidrográfica do rio São Marcos, sendo classificados em: trechos sem outorgas; 0 a 1% da vazão outorgada; 1 a 30% da vazão outorgada; 30 a 50% da vazão outorgada; 50 a 70% da vazão outorgada; 70 a 100% da vazão outorgada; 100 a 200% da vazão outorgada; e acima de 200% da vazão outorgada.

3.4.3 Terceira análise

Essa terceira análise não possui nenhuma relação com as anteriores. Foram avaliadas as áreas críticas da bacia, focando-se em regiões com maior número de outorgas e nos reservatórios de acumulação. Para essa análise foram mantidos os critérios de vazão ecológica (vazão de referência) em vigor na bacia hidrográfica, ou seja, 50% da $Q_{7,10}$ na porção mineira da bacia hidrográfica e 70% da Q_{95} na porção goiana.

Em situações de escassez, os usos preferenciais dos recursos hídricos são o consumo humano e a dessedentação animal (BRASIL, 1997). A Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, de acordo com a Lei nº 13.199, estabelece a prioridade para o abastecimento público e a manutenção dos ecossistemas (MINAS GERAIS, 1999). O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, na qual está inserida a bacia hidrográfica do rio São Marcos, de acordo com ANA (2010a), estabeleceu que o setor de irrigação tem priorida-

de para outorga de uso dos recursos hídricos à montante da Usina Hidrelétrica de Batalha.

Diante disso, os níveis de prioridade adotados nesta terceira análise foram os seguintes: 1º - Vazão ecológica ou de referência em cada trecho do rio São Marcos; 2º - Abastecimento público; 3º - Irrigação; 4º - Geração de energia; 5º - Consumo Industrial; 6º - Outros consumos (lazer, mineração, paisagismo).

4 RESULTADOS

4.1 Balanço hídrico

A Fig. 3 ilustra a variação da vazão defluente e do volume armazenado nos reservatórios de Batalha e Serra do Facão, durante o período de outubro de 2014 até setembro de 2017. As vazões defluentes simuladas na ferramenta AQUATOOL ajustaram-se bem aos dados monitorados por Furnas. O coeficiente de determinação foi de 0,93 para Batalha e 0,99 para Serra do Facão, o que permite afirmar que o balanço hídrico foi satisfatório.

Ainda na Fig. 3, observa-se que a variação de volume simulado na ferramenta AQUATOOL segue a mesma tendência do volume observado, porém o coeficiente de determinação se mostrou menor, contudo ainda satisfatório, sendo 0,77 para o reservatório de Batalha e 0,62 para Serra do Facão. Tal discrepância tem relação com algumas considerações simplificadoras assumidas na ferramenta, tais como: a batimetria dos reservatórios considera apenas dez pares de valores de área superficial e volume reservado; não foi considerada a interação com o aquífero; foram mantidos valores mensais fixos de evaporação superficial.

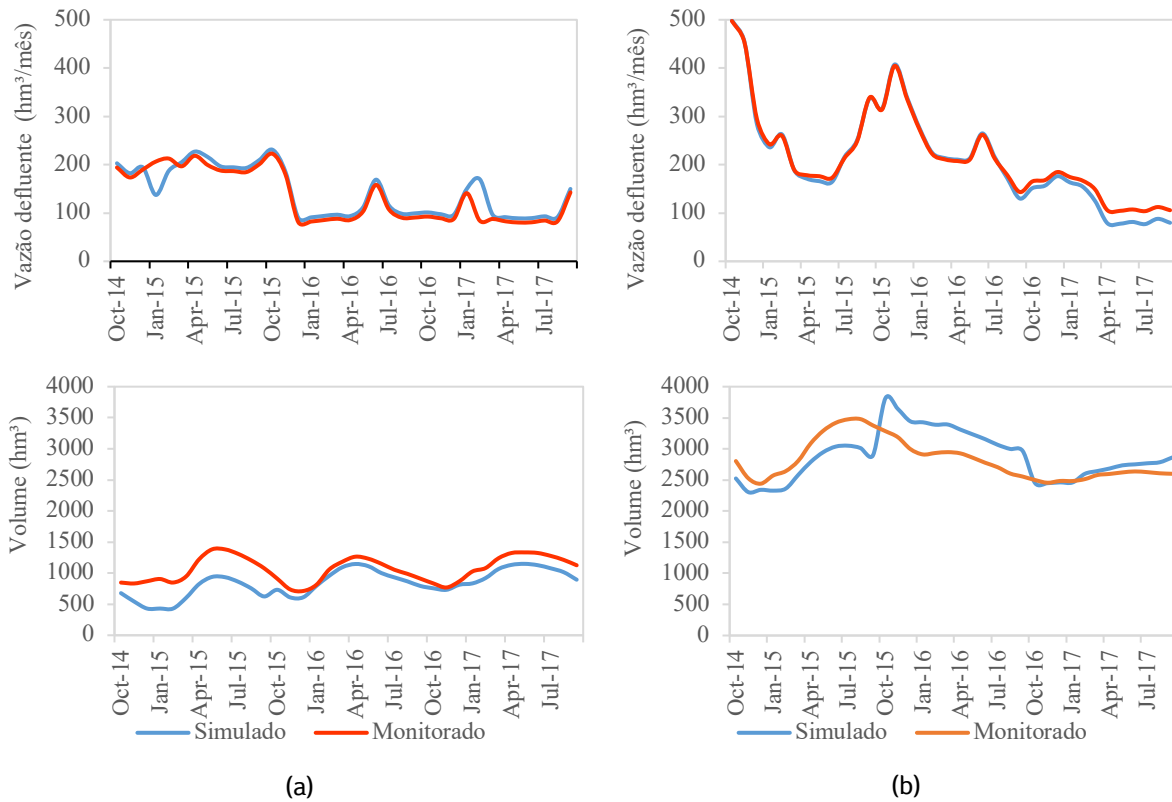


Figura 3 - Vazão defluente e volume armazenado no reservatório: (a) Batalha; (b) Serra do Facão

4.2 Otimização do aproveitamento hídrico

4.2.1 Primeira análise

A Fig. 4 traz, para os critérios de outorga analisados, a área da bacia hidrográfica inserida em

cada intervalo percentual utilizado da vazão outorgável ($Q_{outorgada}$ na Eq. 6), enquanto a Fig. 5 fornece mapas com a distribuição espacial destes intervalos.

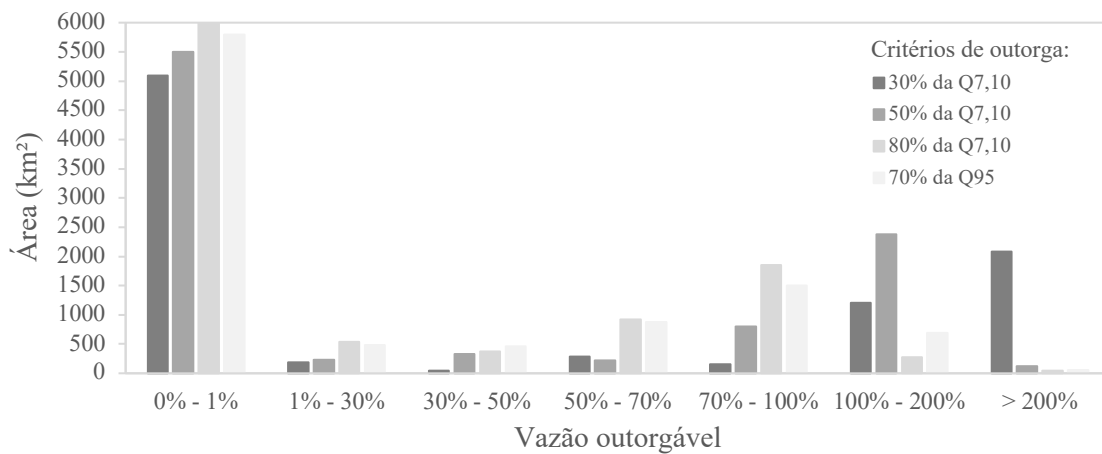


Figura 4 - Áreas da bacia hidrográfica inserida em cada intervalo percentual da vazão outorgável

A porcentagem da área total da bacia hidrográfica do rio São Marcos onde o volume captado superou o limite máximo outorgável foi de 27,1% para o critério de outorga de 30% da $Q_{7,10}$ anual em toda a bacia (aproximadamente 3.200 km²), 19,6% para o critério de outorga de 50% da $Q_{7,10}$ anual em toda a bacia (aproximadamente 2.375 km²), 2,3% para o critério de outorga de 80% da $Q_{7,10}$ anual em toda a bacia (aproximadamente 275 km²) e 5,5% para a critério de outorga de 70% da Q_{95} anual em toda a bacia (aproximadamente 663 km²). Essa análise confirma que o critério de outorga adota-

do em Minas Gerais é mais restritivo do que os critérios adotados em Goiás e Distrito Federal, confirmando a necessidade de adotar critérios menos restritivos.

Uma visão geral da Fig. 5 esclarece que os conflitos pelo uso da água superficial concentram-se no médio e alto curso do rio São Marcos, a montante do aproveitamento hidrelétrico de Batalha, independentemente do critério de outorga adotado. Também mostra uma ordem decrescente de restrição à outorga para 30% da $Q_{7,10}$, 50% da $Q_{7,10}$, 70% da Q_{95} e 80% da $Q_{7,10}$, como esperado.

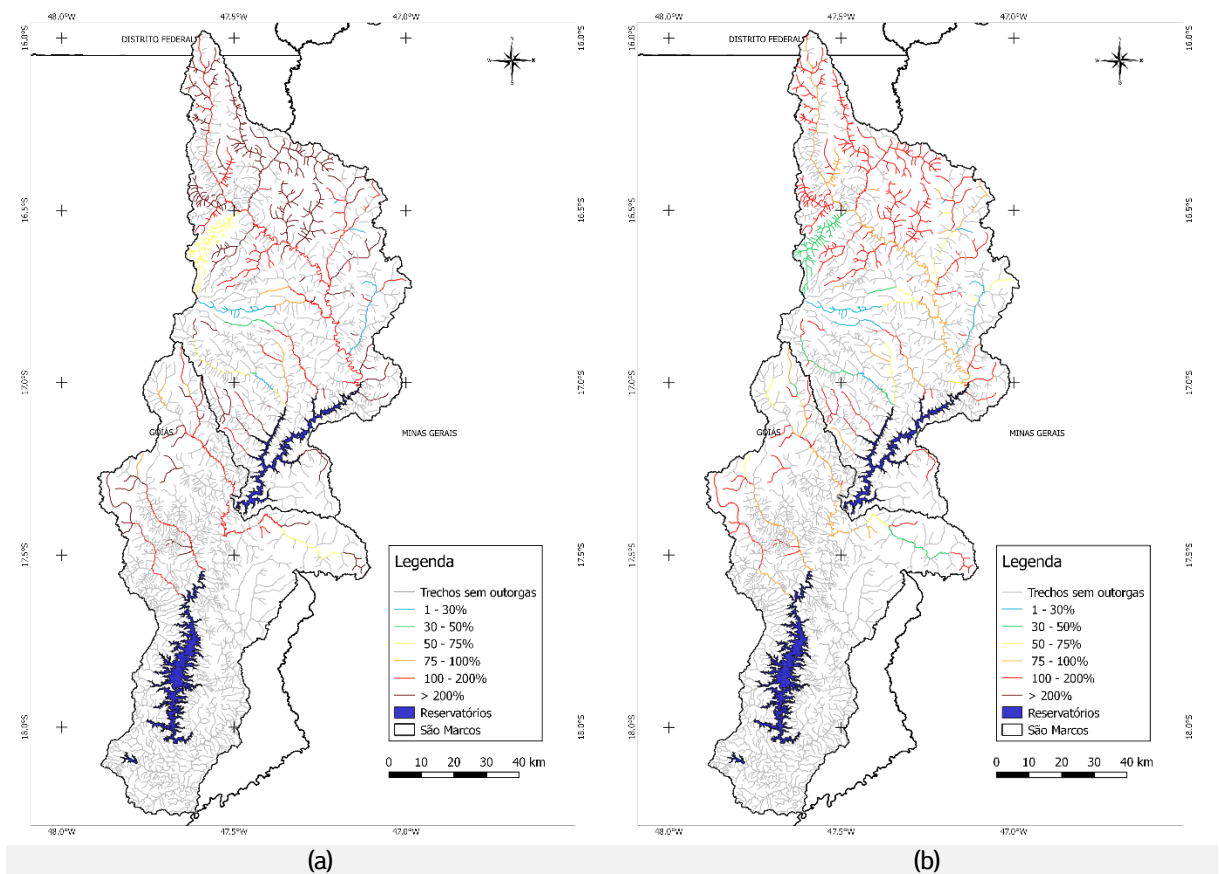
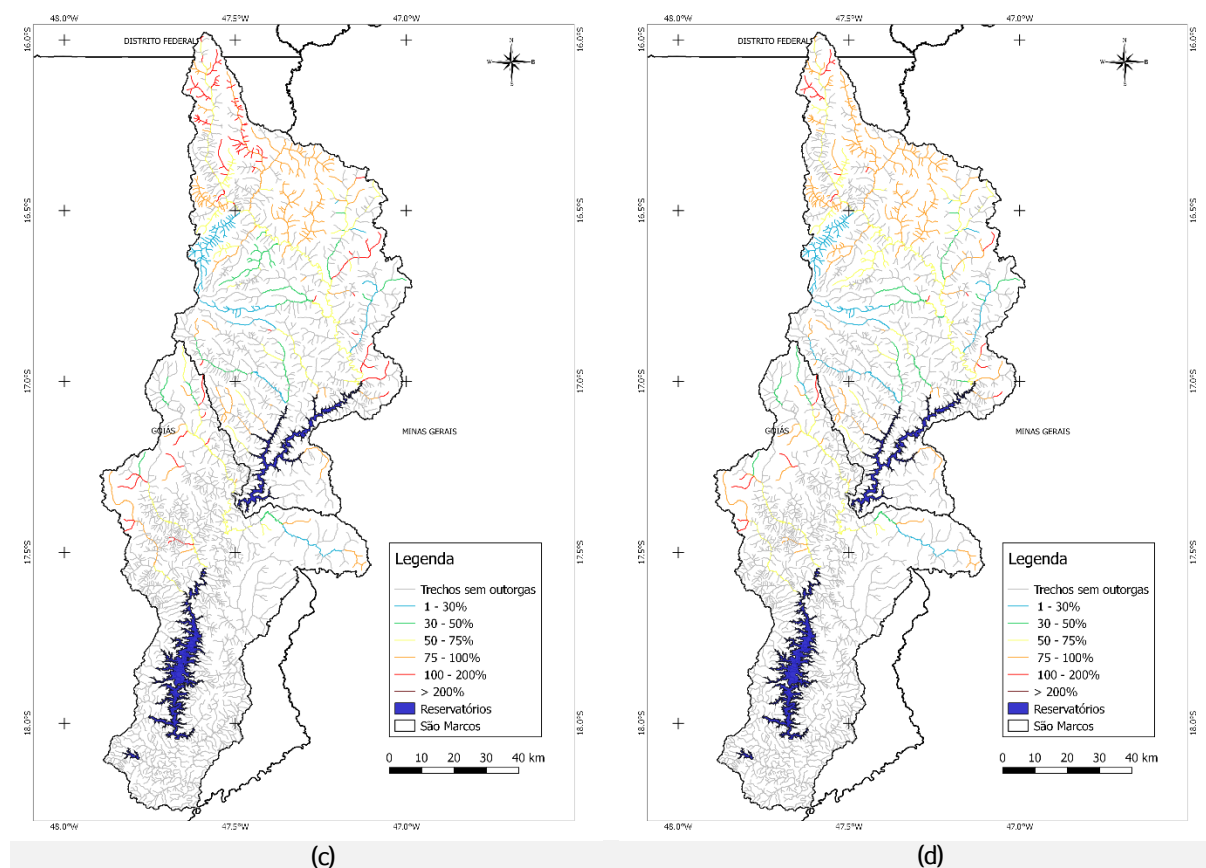


Figura 5 - Distribuição espacial de cada intervalo percentual utilizado da vazão outorgável para os seguintes critérios de outorga: (a) 30% da $Q_{7,10}$; (b) 50% da $Q_{7,10}$; (c) 70% da Q_{95} ; (d) 80% da $Q_{7,10}$.

continua...

Figura 5 - Continuação...



4.2.2 Segunda análise

O impacto da substituição das vazões $Q_{7,10}$ e Q_{95} anuais pelas sazonais foi avaliado por meio de mapas com a distribuição espacial do intervalo percentual utilizado da vazão outorgável, conforme ilustra a Fig. 6. Independentemente do critério analisado, similar à primeira análise, os conflitos pelo uso da água superficial concentram-se no médio e alto curso do rio São Marcos.

De acordo com o critério vigente de outorga (50% da $Q_{7,10}$ para Minas Gerais e 70% da Q_{95} para Goiás), aproximadamente 12% da área da bacia hidrográfica do rio São Marcos supera o limite outorgável, principalmente a montante do reservatório de Batalha. Não foram encontradas regiões com limite de superação acima de 200% (ver Fig. 6a). Essa situação motivou

as análises de critérios sazonais, os quais são mais permissíveis.

Uma comparação geral entre os critérios sazonais (Fig. 6b e 6c) evidencia, como esperado, que o critério sazonal para período chuvoso é mais permissível que o critério sazonal para período seco, com redução de aproximadamente 7,65% da área da bacia com captações acima do máximo outorgável. Essa redução é bem perceptível na calha principal do rio São Marcos.

Todavia, as comparações entre o critério vigente a base anual (Fig. 6a) com os critérios sazonais no período chuvoso (Fig. 6b) e período seco (Fig. 6c) proporcionaram, respectivamente, redução aproximada de 2% da área crítica (242 km²) e aumento aproximado de 8% da área crítica (1000 km²). Essa criticidade tem relação com as captações se-

rem superiores ao máximo outorgável. Comportamentos similares, todavia com amplitudes distintas, foram observados por Euclides et al. (2006),

Bof (2010), Silva et al. (2015), Cordeiro e Marques (2012), Pruski et al. (2014), Costa (2015), Flumignan et al. (2016) e Jhuniór (2017).

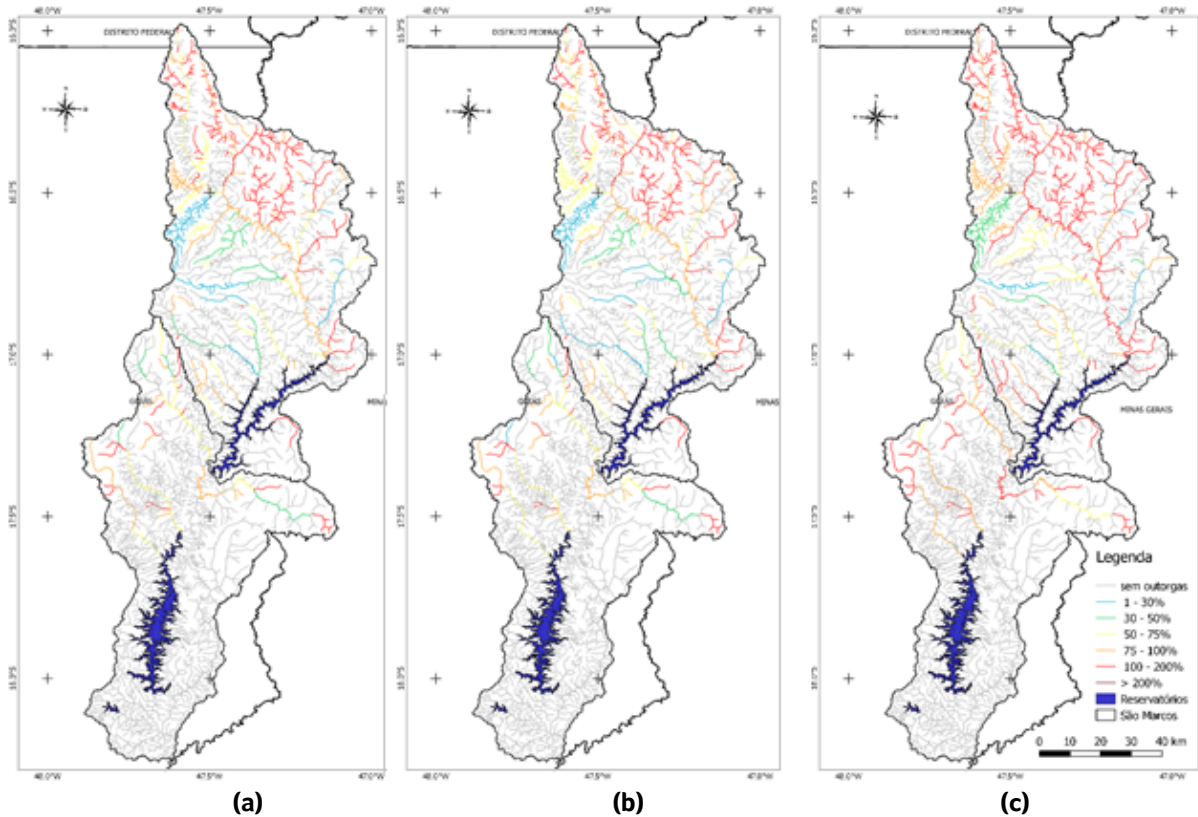


Figura 6 - Mapas com a distribuição espacial do intervalo percentual utilizado da vazão outorgável baseado nos critérios vigentes com base: (a) anual; (b) sazonal para período chuvoso (outubro a março); (c) sazonal para período seco (abril a setembro)

4.2.3 Terceira análise

Essa terceira análise focou no meio e alto curso do rio São Marcos, a montante do aproveitamento hidrelétrico de Batalha, onde, predominantemente, o volume outorgado é maior que o permitido. As sub-bacias mais críticas consideradas foram: rio Samambaia (SB-1), rio Capipumba (SB-2), rio Soberbo (SB-4), rio do Rocha (SB-5), rio Arrojado (SB-6), rio Mundo Novo (SB-7), ribeirão Cristal (SB-9), médio e alto curso do rio Batalha (SB-10 e SB-12), rio São Firmino (SB-11) e área difusa do alto curso do rio São Marcos (SB-3) (ver a localização na Fig. 2). Vale lembrar que,

nesta análise, a vazão ecológica é mantida em todos os trechos ao longo da bacia hidrográfica do Rio São Marcos e é considerada como a prioridade número 1, ou seja, antes de atender qualquer outro tipo de demanda, a vazão ecológica deve ser respeitada.

A Tabela 1 traz os resultados obtidos, incluindo a porcentagem de meses em déficit, as atividades em conflito, o volume outorgado, a vazão de referência, os déficits de atendimento das demandas médio e máximo e os cortes de $Q_{outorgada}$ médio e máximo.

Tabela 1 - Resultados obtidos na terceira análise em cada sub-bacia crítica

Sub-bacia	Curso de água	% de meses em déficit	Atividades em conflito	Volume outorgado (hm ³)	Vazão de Referência (hm ³ /mês)	Déficit no atendimento às demandas (hm ³)		Corte de Qoutorgada (%)	
						Médio	Máximo	Médio	Máximo
SB-1	Rio Samambaia	33,3	Irrigação	7,94	4,02	2,00	2,1	25,2	27,0
SB-2	Ribeirão Capipumba	33,3	Irrigação	2,83	1,45	2,11	2,8	74,6	99,0
SB-3	Alto São Marcos	33,3	Irrigação	1,06	0,58	0,48	0,5	45,2	2,0
SB-4	Ribeirão Soberbo	41,7	Irrigação	20,69	10,38	8,38	11,4	40,5	55,0
SB-5	Córrego do Rocha	33,3	Irrigação	0,18	0,10	0,10	0,1	15,5	21,0
SB-6	Ribeirão Arrojado	33,3	Irrigação	2,87	1,46	1,40	1,5	48,8	56,0
SB-7	Rib. Mundo Novo	33,3	Irrigação	2,70	1,37	1,69	2,7	62,3	89,0
SB-9	Ribeirão Cristal	33,3	Irrigação	1,23	0,63	1,01	1,2	82,1	95,0
SB-10	Alto Batalha	33,3	Irrigação	1,58	0,81	1,47	1,6	93,0	99,0
SB-11	Ribeirão São Firmino	0,0	Irrigação	6,78	3,45	0,0	0,0	0,0	0,0
SB-12	Médio Batalha	0,0	Irrigação	0,63	0,34	0,0	0,0	0,0	0,0

Com exceção das sub-bacias dos ribeirões São Firmino e Médio Batalha, todas as outras apresentaram déficit no cumprimento da vazão ecológica em, no mínimo, 1/3 dos meses analisados. As sub-bacias mais críticas quanto ao corte de $Q_{outorgada}$ para atendimento integral da vazão ecológica foram Ribeirão Capipumba, Ribeirão Mundo Novo, Ribeirão Cristal e Alto Batalha.

5 CONCLUSÕES

O potencial de aproveitamento hídrico pode ser limitado em função da discrepância de valores obtidos de $Q_{7,10}$. Apesar dos valores encontrados no estudo serem próximos de valores de outras pesquisas pelo próprio comitê da bacia hidrográfica, existem diferentes metodologias de cálculo, o que pode levar a valores discrepantes, representando riscos para os ecossistemas de determinada região. Além disso, a falta de estações de monitoramento e sua má distribuição espacial, assim como lacunas e falhas nas séries históricas, leva à utilização de métodos de regionalização, com consequente estimativa aproximada e divergente de série sintética de vazão.

No que se refere à análise de critérios visando à otimização do aproveitamento hídrico, os resultados mostraram que a mudança de critério é

viável, representando um potencial significativo na disponibilidade de água em toda a bacia. Observou-se que aplicação de vazões menos restritivas possibilitou uma diminuição significativa em áreas com demandas acima da máxima permitida, mas ainda, com algumas regiões críticas.

De uma forma geral, a situação analisada no período de outubro de 2014 até setembro de 2017 é preocupante no que diz respeito aos volumes captados para irrigação no alto curso do rio São Marcos. Entretanto, na região a jusante do reservatório de Batalha (baixo curso do rio São Marcos), a situação se mostra confortável, com boa disponibilidade hídrica.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Resolução nº 562, de 25 de outubro de 2010**. Brasília, 2010a. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-562-2010_112137.html>. Acesso em: 10 de março de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Resolução nº 564, de 25 de outubro de 2010**. Brasília, 2010b. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2010/564-2010.pdf>>. Acesso em: 16 de outubro de 2018.

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: informe 2012**, Edição especial. Brasília, 2012. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2012_inf.pdf. Acesso em: 24 de setembro de 2018
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Encarte Especial sobre a Crise Hídrica. Informe 2014. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**: Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/crisehidrica2014.pdf>. Acesso em: 06 de agosto de 2018
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração: BIG**. 2018. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 09 outubro 2018.
- AQUATOOL. **Manual de Usuario Versión 1.0**. Universidad Politécnica de Valencia, Espanha. 2016. Disponível em: www.upv.es/aquatool/. Acesso em: 20 junho 2018.
- BEIJO, L. A. **Distribuição de Gumbel: estudo de métodos de estimação dos parâmetros e ajuste aos dados de precipitação máxima de Lavras**, MG. 2002. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2002
- BOF, L. H. N. **Análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 22 de janeiro de 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva**. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/plano-nacional-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 05 de junho de 2017.
- CORDEIRO, R. S.; MARQUES, F. A. Sistematização da sazonalidade das vazões características para flexibilização da outorga de direito de uso dos recursos hídricos. In: Seminário de Iniciação Científica UFT. 11 a 14 de dezembro de 2012, Palmas – Tocantins, Brasil. **Anais...**
- COSTA, E. S. **Estudo de otimização do aproveitamento hídrico superficial no alto curso do rio Uberaba**, UPGRH-GD8. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2015.
- CUNHA, N.B. **Modelagem da qualidade de água no rio São Marcos, situado na bacia hidrográfica do Alto Paraná**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2019.
- 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. **Irrigação & Tecnologia Moderna**, v. 72, n. 4, 2006.
- FLUMIGNAN, D. L.; PASTORELLI JÚNIOR, J. H.; MINGOTI, R.; ZOLIN, C. A. **Proposta de uso da vazão de referência mensal em substituição à anual no Rio Dourados**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2016.
- FURQUIM, M. G. D.; ABDALA, K. O. Caracterização Preliminar da Agricultura Irrigada em Cristalina-GO, a Estreita Relação Entre o Desenvolvimento Sustentável e o Crescimento Econômico. **Irriga & INOVAGRI**, v. 1, n. 1, p. 129-134, 2016. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p129-134>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2015**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2015>. Acesso em: 12 mar. 2018
- JHUNIOR, H. C. S. **Otimização do aproveitamento hídrico superficial na bacia hidrográfica do rio Araguari, Triângulo Mineiro**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2017.
- MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999**. Disponível em: www.siam.mg.gov.br. Acesso em: 12 ago. 2018.
- PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; DA SILVA, L. M. C.; DA SILVA, J. M. A.; REGO, F. S.; JUSTINO, F. B. Impact of the substitution of reference annual streamflow by monthly streamflow on the potential use of water resources. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 3, p. 496-509, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000300013>
- ROWINSKI, P. M.; STRUPCZEWSKI, W. G., SINGH, V. P. A note on the applicability of log-Gumbel and log-logistic probability distributions in hydrological analyses: I. know pdf. **Hydrological Science Journal**, v. 47, n. 1, p. 107-122, 2002. <https://doi.org/10.1080/02626660209492911>
- SALLA, M. R.; CHUERUBIM, M. L. Planejamento e Gestão Ambiental em Escala de Bacia Hidrográfica: Principais Dificuldades no Manuseio de Ferramentas Computacionais. **Educação Ambiental em Ação**, v. 13, n. 49, p. 01-12, 2014. <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1874>
- SILVA, L. M. C.; HORA, M. A. G. M. Conflito pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio São Marcos: o estudo de caso da UHE Batalha. **Engevista**, v. 17, n. 1, p.166-174, 2015. <https://doi.org/10.22409/engevista.v17i2.633>
- SILVA, B. M. B.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Revista Ambiente & Água**, v.10, n.3, p. 623-634, 2015. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1587>