

Definição da vazão de contribuição como estratégia de gestão na bacia hidrográfica do Rio São Francisco

Definition of contribution flow as management strategy in the São Francisco River hydrographic basin

Polyana Alcântara Galvão dos Reis¹, Andrea Sousa Fontes² , Yvonilde Dantas Pinto Medeiros¹ 

¹Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil. E-mails: polyanagreis@gmail.com, yvonilde.medeiros@gmail.com

²Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mail: asfontes@gmail.com

Como citar: Reis, P. A. G., Fontes, A. S., & Medeiros, Y. D. P. (2020). Definição da vazão de contribuição como estratégia de gestão na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 17, e21. <https://doi.org/10.21168/reg.v17e21>

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar as vazões de contribuição da bacia hidrográfica do rio Grande ao rio São Francisco considerando o atendimento aos usos múltiplos da água armazenada no reservatório de Sobradinho. Para isso, foi realizado o balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Grande, agregando a interação rio Grande-aquífero Urucuia, devido a forte conexão hidráulica desses corpos hídricos e utilizando dados fluviométricos e pluviométricos disponíveis para a área de estudo entre os anos de 2006 a 2016, assim como dados de outorga de água da bacia do rio Grande e do trecho estudado na calha do rio São Francisco. As vazões mínimas que o rio Grande entrega à calha do rio São Francisco foram avaliadas com base na simulação de alternativas de priorização de atendimento as demandas hídricas, utilizando a ferramenta computacional WEAP. A avaliação do balanço hídrico envolvendo a bacia do rio Grande e a calha do rio São Francisco a jusante da confluência desses dois rios, indicou que a vazão de contribuição de rios afluentes para a calha do rio principal se configura em um aporte de água importante para a viabilidade de atendimento a diversas demandas hídricas na bacia hidrográfica. No caso de estudo, essa importância foi reforçada pela conectividade entre o rio Grande e o aquífero Urucuia, sinalizando a necessidade de detalhamento do balanço hídrico quantificando essa conexão entre águas superficiais e subterrâneas.

Palavras-chave: Alocação de Água em Rios Transfronteiriços; Interação Rio-aquífero; Bacia Hidrográfica do rio Grande; Aquífero Urucuia.

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the flow rates of water contribution from the Grande River hydrographic basin to the São Francisco River to meet the multiple uses of the water stored in the Sobradinho reservoir. For this, the water balance Grande River hydrographic basin was carried out, adding an interaction between the Grande River and the Urucuia aquifer, due to the strong hydraulic connection of these water bodies and using fluviometric and pluviometric data available for the study area from 2006 to 2016, as well as water use rights purposes in Grande River basin and in the stretch of the São Francisco River. The minimum flows that the Grande river delivers to the São Francisco river channel were evaluated based on the simulation of alternatives for prioritizing water demands, using the computational tool WEAP. The minimum flows that the Grande River delivers to the São Francisco river' gutter were evaluated based on the simulation of alternatives for prioritizing water demands, using the computational tool WEAP. The assessment of the water balance involving the Grande river basin and the São Francisco river' gutter downstream from the confluence of these two rivers, indicated that the flow of contribution from affluent rivers to the main river gutter is configured in an important water supply for the feasibility of meeting several water demands in the hydrographic basin. In the case of the study, this importance was reinforced by the connectivity between the Grande river and the Urucuia aquifer, signaling the need to detail the water balance by quantifying this connection between surface and groundwater.

Keywords: Water Allocation in Transboundary River; River-aquifer Interaction; Grande River Hydrographic Basin; Urucuia Aquifer.

Recebido: Agosto 17, 2020. Revisado: Novembro 28, 2020. Aceito: Dezembro 01, 2020.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

A água é um elemento que representa vida e desenvolvimento, porém, a sua distribuição espacial e temporal irregular acaba gerando conflitos de uso. Esses conflitos são potencializados nas crises hídricas crescentes em todo mundo seja pela ocorrência de secas acentuadas ou por diversos fatores como, por exemplo, o aumento da demanda de recursos hídricos impulsionada pelo aumento da população, desenvolvimento econômico e a degradação do meio ambiente (Chang & Wang, 2013; Madani, 2010; Le Quesne et al., 2007).

Esses conflitos podem ser também intensificados pela inadequação de ações da gestão hídrica, (Degefu et al., 2016; Amorim et al., 2016; Akhmouch & Correia, 2016; Swain, 2015). Wang et al. (2016) afirmam que estudos sugerem que a gestão da demanda de água por si só não será capaz de se adaptar ao aumento do estresse hídrico. Uma combinação de estratégias de gestão de recursos hídricos e demanda de água é necessária para se adaptar às variáveis ambientais e as incertezas associadas.

Na experiência de gestão das águas no Brasil se destaca o mecanismo de alocação negociada, que, de acordo com Mascarenhas (2008), surgiu das experiências de gerenciamento das águas dos reservatórios do estado do Ceará subsidiada por sistema computacional de operação de reservatórios, associados à participação, negociação e decisão popular acerca dos múltiplos usos da água.

É imprescindível que o processo de alocação de água ocorra por intermédio da avaliação de critérios físicos (hidráulicos, hidrológicos, climatológicos e qualidade da água), questões legais de competências, direitos e responsabilidades, bem como questões políticas entre os setores usuários de água da bacia hidrográfica, considerando a articulação institucional de forma a estabelecer uma alocação negociada (Silva & Monteiro, 2004; Agência Nacional de Águas, 2011; Cerezini, 2018). Destaca-se dessa forma que para a prevenção e resolução de conflitos deve-se contemplar todos esses aspectos elencados, de igual importância, sendo os aspectos físicos a base para subsidiar as questões legais, institucionais e políticas.

Isso direciona para a busca do desenvolvimento sustentável de bacias hidrográficas, sendo necessário o estabelecimento de acordos, tratados e declarações entre os agentes interessados conseguidos por intermédio da governança da água. A governança é definida como sendo um “[...] sistema político, social, econômico e administrativo montado para influenciar os usos, o desenvolvimento e a gestão integrada de recursos hídricos, e garantir a oferta de serviços e produtos ligados aos recursos para a sociedade.” (Coelho & Havens, 2015, p. 133).

O gerenciamento de recursos hídricos está cada vez mais voltado para a questão da adição dos agentes interessados para a tomada de decisões visto que este recurso natural se encontra cada vez mais limitado, com o consumo aumentando e os usuários de água tendo que compartilhá-la (Read et al., 2014), reforçando a ideia de alocação de água.

Com enfoque na gestão integrada, regularização e ordenamento dos recursos hídricos, principalmente em bacias hidrográficas que compartilham seu corpo hídrico, um aspecto que deve ser definido é a vazão de contribuição, ou seja, vazões que são entregues ao longo da calha do rio principal pelos seus afluentes ou barramentos artificiais. Para determinação dessa vazão é importante considerar o clima (sazonalidade), os mananciais disponíveis e a demanda da bacia hidrográfica para que seja possível realizar o balanço hídrico e assim melhor alocar a água disponível (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2016).

Desta forma, no decorrer da história dos conflitos sobre os rios transfronteiriços, muitos foram os acordos selados com o objetivo de promover a cooperação entre os estados interessados que compartilham a bacia hidrográfica, porém nem sempre estes acordos se mostram eficazes, seja por falta da troca de informações consistentes dos aspectos hidrogeológicos da bacia hidrográfica ou por causa dos conflitos entre os agentes interessados.

Como exemplos de aplicação de gestão de recursos hídricos internacionais para resolução de conflitos de uso da água compartilhada por bacias hidrográficas utilizando acordos e criação de comitês de bacias hidrográficas, têm-se: Bacia hidrográfica de Mekong (Sneddon & Fox, 2007); Bacia hidrográfica do rio Nestos/Mesta (Kallioras et al., 2006); Bacia hidrográfica do rio Colorado (Pedrosa, 2017; Rufino et al., 2006); Bacia hidrográfica do rio Nilo (Pedrosa, 2017; Swain, 2011).

Na bacia hidrográfica do rio Mekong, foi feito o Acordo Mekong no ano de 1995 que estipula que os estados ribeirinhos devem utilizar o sistema do rio de forma razoável e equitativa, mantendo um fluxo mínimo natural mensal na estação de seca, compartilhamento de dados e informações e notificação, consulta prévia e acordo sobre os usos de água (Mekong River Commission, 2020). Esse acordo se mantém até hoje independente dos conflitos geopolíticos entre os países que compõem essa bacia. Na bacia hidrográfica do rio Colorado o acordo foi firmado em 1944, e estabelece à proporção

que cada parte, Estados Unidos e México, utilizaria do rio. Este acordo ainda é válido, sofrendo atualizações em 2014 devido à seca que assolou os dois países (Udall & Overpeck, 2017).

Ao se tratar de mecanismos de resolução de conflitos em bacias compartilhadas por estados brasileiros, a ANA, juntamente com os órgãos gestores estaduais de recursos hídricos firmam acordos com o objetivo de resolver problemas de utilização de água na bacia (Amorim et al., 2016).

Como exemplo de aplicação da governança em bacias hidrográficas compartilhadas brasileiras, destaca-se o primeiro acordo que teve o nome de Marco Regulatório. O Marco Regulatório fixou a vazão de fronteira entre os Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, formalizado através da Resolução ANA nº 687/2004 (Brasil, 2004).

Na Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul conforme Pedrosa (2017), o acordo firmado pela Resolução 1.382/15 estabelece que a divisão das águas do rio Paraíba do Sul deve ser baseada nos princípios de aproveitamento múltiplo, racional, harmônico e integrado, sempre a fim de beneficiar a todos, respeitando as restrições propostas na resolução.

Outro exemplo é a bacia hidrográfica do rio Poti, que apresenta a Resolução Conjunta ANA/SRH-CE/SEMAR-PI nº 547 de 5 de dezembro de 2006 (Brasil, 2006), estabelecendo o Marco Regulatório sobre estratégias de gestão de recursos hídricos nas bacias dos rios Poti e Longá, procedimentos e condições para as outorgas preventiva e de direito de uso, considerando a regularização das intervenções e usos atuais, bem como as regras para as intervenções e usos futuros.

Porém, há ainda no Brasil exemplos de grandes rios nacionais que compartilham suas águas entre estados e ainda não possui Marco Regulatório definindo a vazão de contribuição nas fronteiras com os rios afluentes, como por exemplo, o rio São Francisco.

Nos Planos de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco tanto do ano de 2004, quanto o de 2016, está disposto que para que haja sustentabilidade na bacia hidrográfica os instrumentos técnicos da gestão devem ser implementados de forma integrada, estabelecendo um ambiente harmonioso entre leis, normas e procedimentos para o uso da água, a ser obtido a partir do Pacto das Águas. Para que o processo de gestão integrada ocorra de forma bem sucedida é necessário considerar a interação entre mananciais, o solo, clima, relevo, uso e ocupação do solo e qualidade da água (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2016). Nesse sentido, a definição de vazão de contribuição nas fronteiras com os rios afluentes, colabora nesse processo por ser dependente da integração de todos esses fatores.

A importância da definição da vazão de contribuição é reforçada por Castro (2019) que afirma que o Pacto das Águas é um processo que engloba três etapas: Planejamento para o Pacto, Assinatura do Pacto; e o cumprimento dos compromissos firmados, destacando, dentre os pontos de justificativa da sua necessidade na Bacia do rio São Francisco a definição da alocação de água para as principais sub-bacias e estabelecimento vazões de entrega dos principais afluentes para o rio São Francisco (em termo de qualidade e quantidade de água).

O rio São Francisco, ao chegar à Bahia, recebe contribuição hídrica dos dois principais afluentes que são o rio Corrente e o rio Grande. Estes rios ficam localizados no oeste baiano, região conhecida por seus grandes projetos de irrigação e atividade pecuária, o que tem atraído muitas pessoas para este local, fazendo com que a demanda de água aumente (Mascarenhas, 2008). Cabe ressaltar que se trata de um local cujo clima possui um período chuvoso e período seco bem definidos, com baixo índice pluviométrico, evidenciando a dependência do aquífero local. Esses dois rios recebem aporte de água do aquífero Uruçuaia, e juntamente com a vazão decorrente do reservatório de Três Marias, no estado de Minas Gerais, são responsáveis pela manutenção dos volumes de água que chegam ao reservatório de Sobradinho.

Segundo Feitosa (2008), mais de 90% dos rios sempre possui vazão em suas calhas durante todo ano, mesmo em períodos em que não há contribuição pluviométrica, devido à contribuição de água oriunda dos aquíferos. Dessa forma, ao se tratar de vazão de contribuição é necessária a compreensão da interação do rio com o aquífero. Diversos fatores vêm a influenciar na interação entre águas superficiais e subterrâneas, os três fatores físicos principais são: a fisiografia que remete aos topos, vegetação e uso e ocupação do solo; a geologia; e o clima (Manoel Filho, 2008).

A relevância dessa compreensão é reforçada pelo o uso desenfreado das águas subterrâneas que vem causando impactos negativos nos sistemas naturais, diminuindo a disponibilidade do fluxo de base dos rios por eles abastecidos, e problemas de recalque diferenciado do subsolo. Esses problemas são citados por Villar (2016) e Killian et al. (2019) quando afirmam que a superexploração das águas subterrâneas acarreta diversos problemas dos quais se pode citar: o rebaixamento dos níveis hídricos; diminuição da capacidade de armazenamento do aquífero; comprometimento da qualidade da água

pela intrusão salina ou de contaminantes presentes em aquíferos rasos; subsidência do solo; redução da disponibilidade hídrica superficial e a perda do ecossistema.

Nesse contexto, destaca-se a importância dos aspectos hidrológicos, hidrogeológicos, climatológicos e uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Grande para determinação da vazão de contribuição dessa bacia ao rio São Francisco para atendimento aos usos múltiplos da água armazenada no reservatório de Sobradinho.

Segundo a ANA (Agência Nacional de Águas, 2017), entre os anos de 2013 e 2016, cerca de 48 milhões de pessoas foram afetadas pelas secas e estiagens no Brasil, sendo o ano de 2016 o mais crítico com relação aos impactos da seca sobre a população, sendo um total de 83% da população localizada na região Nordeste, sendo que Ceará, Minas Gerais e Bahia totalizaram 61% dos registros. As estiagens que começaram a ser observadas desde 2012, em várias regiões do Brasil, prejudicaram significativamente a oferta de água para o abastecimento público e setores usuários, como a irrigação, geração de energia elétrica e navegação.

Dessa forma, esse trabalho tem como foco determinar a vazão de contribuição como estratégia de gestão em bacias compartilhadas com foco nos aspectos hidrológicos, avaliando as vazões mínimas que o rio Grande entrega à calha do rio São Francisco e como essas vazões influenciam no atendimento às demandas, considerando a interação rio-aquífero.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia do rio Grande está localizada na Região Oeste da Bahia entre as coordenadas geográficas 10°10' e 13°20'S de latitude e 43°08' e 46°37'O de longitude (Moreira, 2010), situado na altura do Médio São Francisco. Esta bacia possui uma área de drenagem de aproximadamente 78.500 Km², o que corresponde a 13,2% do território baiano. A bacia do rio Grande está posicionada na Região Oeste da Bahia e se divide em sub-bacia do Alto Grande e Médio/Baixo Grande (Figura 1).

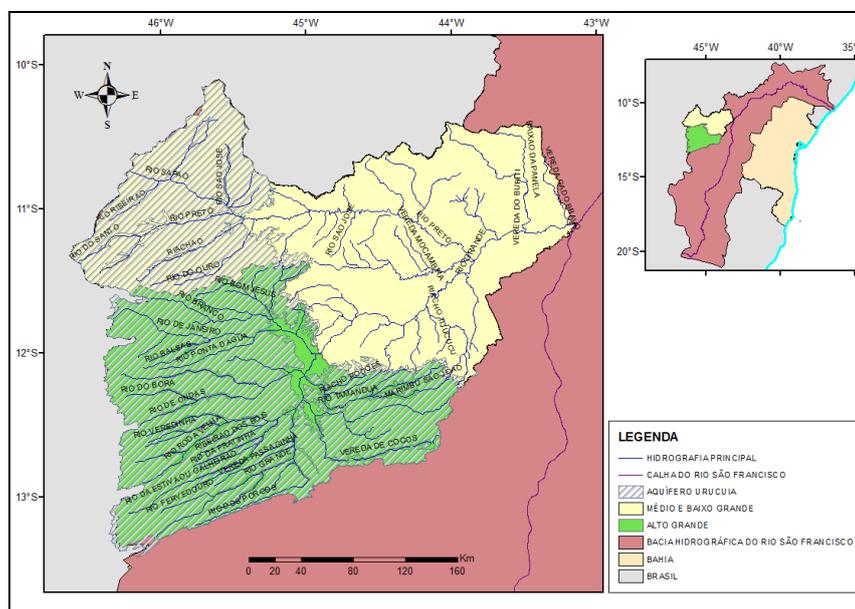


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Grande.

Fonte: Próprio autor, com base nos dados disponibilizados pelo MMA (Brasil, 2017c)

A bacia do rio Grande é representada pela Região de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA) XXI cujos limites geográficos são ao Norte, com o Estado do Piauí; ao Sul, com a RPGA da Bacia do Rio Corrente; a Oeste, com os Estados de Goiás e Tocantins; e a Leste, com a RPGA da calha do Médio Rio São Francisco.

A RPGA XXI abrange dezessete municípios sendo onze totalmente localizados sobre esta RPGA, sendo eles: Luíz Eduardo Magalhães, Catolândia, Cristópolis, Cotegipe, Wanderley, Angical, Barreiras,

Riachão das Neves, Santa Rita de Cássia, Mansidão e Formosa do Rio Preto (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2016).

Quase que 90% das rochas presentes na bacia do rio Grande são de natureza sedimentar, característica essa, que proporciona o maior armazenamento de água subterrânea, 99,38% da bacia hidrográfica do rio Grande possui clima tropical com estação seca de Inverno e chuvas no verão, apenas uma pequena porção na região Nordeste tem o clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude, ou seja, clima semiárido quente. Os maiores índices pluviométricos estão localizados na porção oeste da bacia, local este que se encontra a área de recarga do aquífero Urucuia. No lado oposto, na porção leste, encontra-se os menores índices de precipitação (Moreira, 2010).

Segundo Pereira et al. (2007) a bacia hidrográfica do rio Grande apresenta a maior contribuição potencial (14,2%) e a segunda maior contribuição real (10,9%) entre os afluentes do rio São Francisco. Além disso, a BHRG fica localizada sobre o aquífero Urucuia.

O Sistema Aquífero Urucuia (SAU) ocorre principalmente na região oeste da Bahia, indo desde o extremo sul do Maranhão e Piauí até o extremo noroeste de Minas Gerais, tendo como limites oeste a Serra Geraldo e Goiás, desde a região nordeste de Goiás até o sudeste de Tocantins; e, a leste na altura das sedes dos municípios de Barreiras (BA), Correntina (BA), Cocos (BA), Formosa do Rio Preto (BA) e Gilbués (PI) com uma área efetiva de cerca de 76.000 km² na região do oeste da Bahia e sudeste do Tocantins (Gaspar & Campos, 2007). O aquífero Urucuia se destaca pela sua importância regional e por permitir o desenvolvimento de um meio de escoamento poroso com produtividade significativa que possui elevada capacidade de armazenamento e produtividade para os pontos de captação.

Dessa forma, este aquífero constitui um manancial estratégico para a região Oeste da Bahia, pois ele contribui significativamente para o fluxo de base dos rios da região que são conectados hidráulicamente com este aquífero na época de estiagem sendo responsável por cerca de 90% da descarga de base dos rios da região oeste baiano (Pimentel et al., 2000).

Segundo Gonçalves et al. (2016), o aquífero Urucuia é o principal aporte de água dos rios da bacia hidrográfica do rio Grande contribuindo com 81,75% a 93,06%, confirmando os dados disponibilizados por Pimentel et al. (2000). Cerca de 57% da área da bacia do rio Grande são ocupados pelo Sistema Aquífero Urucuia (SAU). Este domínio poroso é importante em função de sua extensão territorial e por representar uma reserva de água de 135,3 m³/s (Engelbrecht & Chang, 2015).

Engelbrecht & Chang (2015) confirmam em seus estudos que o valor do escoamento de base do rio Corrente é de 145 m³/s, representando 17% da vazão de permanência (Q95) do rio São Francisco, o que evidencia a importância desse aquífero para manutenção da vazão na calha desse rio.

Pensando em garantir o atendimento das demandas de água na calha do rio São Francisco, principalmente nos meses mais secos, em 1973, a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf) começou a construção do reservatório de Sobradinho, tendo cerca de 320 km de extensão, uma superfície de espelho d'água de 4.214 km² e com uma potência instalada de 1.050 MW (Pereira & Johnsson, 2005).

O reservatório de Sobradinho está instalado no rio São Francisco, a quarenta quilômetros das cidades de Juazeiro (Bahia) e Petrolina (Pernambuco), tendo como principais funções a geração de energia elétrica e de regularização de água.

Processo metodológico

Para determinar a vazão de contribuição como estratégia de gestão em bacias compartilhadas, com foco nos aspectos hidrológicos, foi necessário realizar a caracterização da área de estudo; fazer o levantamento de dados, como: uso consuntivos de água, poços, precipitação, vazão e normais climatológicas; caracterizar a interação do rio Grande com o aquífero Urucuia, analisando como ocorre a interação desses mananciais e a recarga do aquífero; realizar o balanço hídrico da BHRG sem e com a interação do rio com o aquífero e por fim, avaliar a vazão de contribuição da BHRG para o rio São Francisco no período seco.

As cinco etapas realizadas na metodologia estão contempladas na Figura 2.

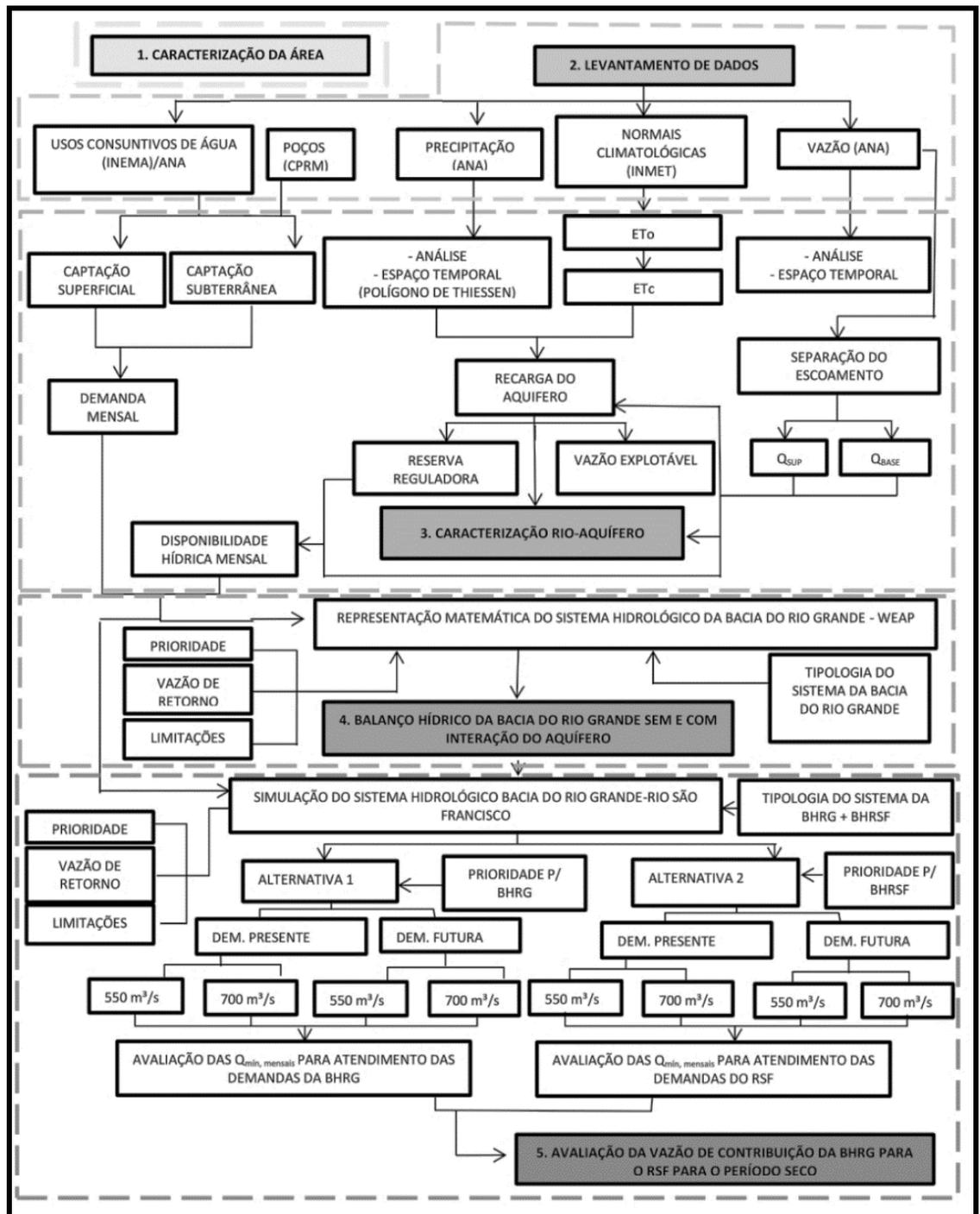


Figura 2: Fluxograma das etapas metodológicas para avaliação da vazão de contribuição do rio Grande ao rio São Francisco

Fonte: Próprio autor

Etapa 1 e 2: Caracterização da área e levantamento e processamento dos Dados para o balanço Hídrico

O período de estudo considerado para este trabalho foi de 2006 a 2016, por se tratar de um intervalo de tempo caracterizado pela redução nas vazões dos rios e dos índices pluviométricos para a bacia do rio São Francisco, sendo a vazão dos rios mantida prioritariamente pela contribuição da água subterrânea. As variáveis utilizadas para elaboração do balanço hídrico, os procedimentos de cálculo e suas respectivas fontes estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1: Variáveis utilizadas para elaboração do balanço hídrico, os procedimentos de cálculo e suas respectivas fontes.

<i>Variável</i>	<i>Dados</i>	<i>Processamento</i>	<i>Fonte da informação</i>
Vazão	16 estações fluviométricas (Figura 2)	Preenchimento	Hidroweb
Precipitação	21 estações pluviométricas (Figura 2)	Precipitação média Polígono de Thiessen	Hidroweb
Evapotranspiração de cultura	Normais climatológicas; Tipos de cultura (Kc)	Cálculo da ETc mensal pelo método criado por Doorenbos e Pruitt (1975)	INMET; Doorenbos & Pruitt (1975), Allen et al., 1998
Demandas atuais	Usos consuntivos da água; Outorgas de água (captação superficial e subterrânea); Situação dos poços ativos.	Cálculo Volume média mensal; Comparação das demandas de uso da água superficial pelo Plano da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2016) e do INEMA para o ano de 2015 (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2017)	Norma Técnica 19/2017 pelo INEMA (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2017) e da ANA (Agência Nacional de Águas, 2015b) Coordenação de Outorgas
Demandas futuras	Usos consuntivos da água	Aplicação de taxa de crescimento por uso	Plano da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025
Vazão de base	Vazão diária das estações 46790000, 46590000, 46543000 e 46550000	Separação do escoamento de base pelo parâmetro BFI (baseflow index) utilizando o filtro recursivo e digital sugerido por Eckhardt (2005)	Hidroweb; Valores do índice de escoamento de base cotado pelo BFI (baseflow index)
Escoamento superficial	Vazão diária das estações 46790000, 46590000, 46543000 e 46550000	Separação do escoamento de base pelo parâmetro BFI (baseflow index) utilizando o filtro recursivo e digital sugerido por Eckhardt (2005)	Hidroweb; Valores do índice de escoamento de base cotado pelo BFI (baseflow index)
Recarga do aquífero para o Alto e para o Médio Baixo rio Grande	Escoamento superficial, ETP, Precipitação, Área do aquífero; Domínios hidrogeológicos	Balanço hidrogeológico	Resultado dos itens anteriores
Reserva reguladora	Recarga do aquífero	Igual ao calculado	Resultado dos itens anteriores
Vazão explorável do aquífero	Reserva reguladora, Precipitação média mensal	Critério 1: 20% da reserva reguladora; Critério 2: baseado na precipitação	Resultado dos itens anteriores
Vazão de retorno	Usos consuntivos da água	Para usos urbano, industrial, rural e mineração – 80% da vazão outorgada; Para uso animal e irrigação – 20%; Para a vazão remanescente 100%	Norma Técnica 19/2017 pelo INEMA (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2017) e da ANA (Agência Nacional de Águas, 2015a) Coordenação de Outorgas; Plano da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
Vazão remanescente do reservatório de Sobradinho	Vazões operativas de restrição do reservatório	Valor original	Deliberações da ANA

Fonte: Próprio autor

Foram selecionadas quinze estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Grande e uma localizada no rio São Francisco e vinte e uma estações pluviométricas (Figura 3).



Figura 3: Estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas para realização das análises

Fonte: Próprio autor, com base nos dados disponibilizados pela Brasil (2017c), CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2017)

Etapa 3: Caracterização rio-aquífero

A caracterização da interação dos rios da bacia hidrográfica do rio Grande com o aquífero Urucuia se deu por meio da separação do escoamento superficial e subterrâneo, utilizando o software BFI + 3.0, das estações fluviométricas de códigos 46790000, 46590000, 46543000 e 46550000, com separação do escoamento de base pelo parâmetro BFI (baseflow index) utilizando o filtro recursivo e digital proposto por Eckhardt (2005).

Avaliou-se os fatores que interferem na recarga do aquífero Urucuia, considerando como contribuição hídrica a precipitação, que foi utilizado o Método do Polígono de Thiessen para cálculo da precipitação média da bacia hidrográfica, e como retiradas a evapotranspiração, determinada pelo Método de Penman-Monteith, e o escoamento superficial.

Por fim, com a separação de escoamento dos hidrogramas das quatro estações fluviométricas citadas acima, foi possível determinar o escoamento superficial integrante do balanço hidrogeológico do aquífero para avaliação da sua recarga.

Etapa 4: Balanço hídrico integrado

Para avaliação do balanço hídrico entre disponibilidade e demanda de água na bacia hidrográfica do rio Grande no período de estudado, representou-se o sistema hídrico da bacia hidrográfica do rio Grande no WEAP (*Water Evaluation And Planning*), modelo matemático de rede de fluxo, desenvolvido por *Stockholm Environment Institute's U.S. Center* (Water Evaluation and Planning, 2018), por permitir a modelagem de recursos de águas subterrâneas, a interação entre águas superficiais e subterrâneas, a geração de cenários e por fornecer um sistema para manter a demanda e informações de abastecimento de água.

O WEAP por ser uma ferramenta de software para o planejamento integrado de recursos hídricos vem sendo utilizado em diversos estudos para auxiliar na tomada de decisões e análises políticas. Como exemplos de pesquisas recentes que utilizaram esse modelo, pode-se citar Majedi et al. (2020), Zeinali et al. (2020) e Rajeevana & Mishra (2020), todas elas trataram de bacias hidrográficas que tem contribuição do aquífero para atendimento das demandas de água.

A Figura 4 apresenta o diagrama unifilar do sistema hídrico utilizado para o balanço hídrico na bacia hidrográfica do rio Grande com a separação do escoamento superficial e subterrâneo com o detalhamento da representação no modelo WEAP para simulação do fluxo da água entre os elementos considerados nesse sistema. Para associar a bacia hidrográfica a cada uso da água, utilizou-se 1, 2 e 9 referentes a sub-bacia do

Médio/Baixo Grande; 3, 4, 5, 6, 7, 8 para sub-bacia do Alto Grande e SF para a bacia hidrográfica do rio São Francisco. A prioridade de atendimento foi definida conforme proposto pelo Plano da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025, sendo que, no WEAP, a prioridade varia entre 1 (maior prioridade) e 99 (menor prioridade). Para cada tipo de uso foi atribuída uma prioridade distinta, sendo que o abastecimento urbano e rural e o uso animal apresentam prioridade máxima (1 e 2), sobrepondo-se ao abastecimento industrial (4), à irrigação (5) e, finalmente, à produção de energia (6). O valor da prioridade de atendimento de cada demanda está apresentado entre parênteses na Figura 4.

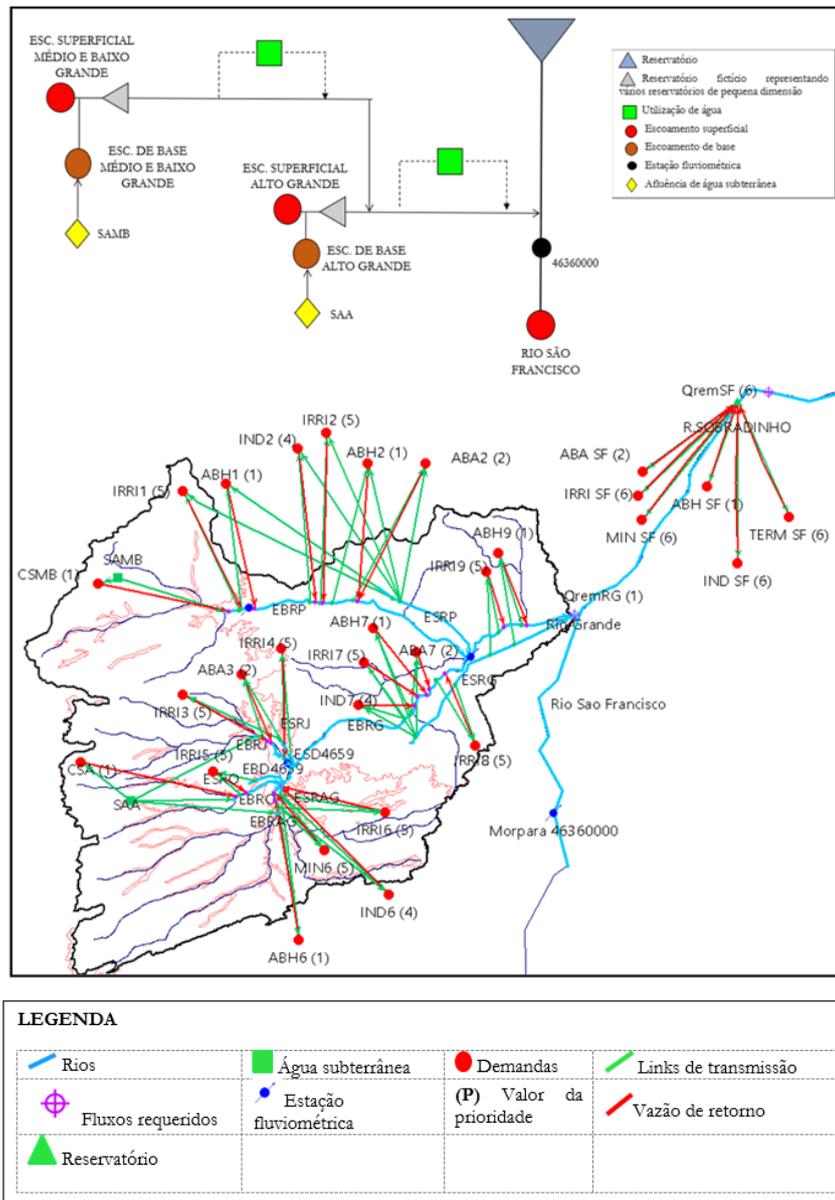


Figura 4: Representação do sistema hídrico entre as bacias hidrográficas do rio Grande e do rio São Francisco, e das demandas de água por trecho dos principais rios, considerando a contribuição do aquífero Urucuaia. ABA – Abastecimento Animal; ABH – Abastecimento Humano; CSA – Captação Subterrânea do Alto Grande; CSMB – Captação subterrânea no Médio e Baixo Grande; EBD4659 – Escoamento de Base Depois da Estação Fluviométrica 46590000; EBRAG – Escoamento de Base do rio Alto Grande; EBRG – Escoamento de Base do rio Grande; EBRJ – Escoamento de Base do rio de Janeiro; EBRO – Escoamento de Base do rio de Ondas; EBRP – Escoamento de Base do rio Preto; ESD4659 – Escoamento Superficial Depois da Estação Fluviométrica 46590000; ESRAG – Escoamento Superficial do rio Alto Grande; ESRG – Escoamento Superficial do rio Grande; ESRJ – Escoamento Superficial do rio de Janeiro; ESRO – Escoamento Superficial do rio de Ondas; ESRP – Escoamento Superficial do rio Preto; IND – Indústria; IRR1 – Irrigação; MIN – Mineração; MORPARÁ 46360000 – Estação fluviométrica de Morpará, código 46360000; QremRG – Vazão Remanescente do rio Grande; QremSF – Vazão Remanescente do rio São Francisco; SAA – Sistema Aquífero Urucuaia no Alto Grande; SAMB – Sistema Aquífero Urucuaia no Médio e Baixo Grande; TERM – Termoelétrica.

Fonte: Próprio autor

Para a simulação do sistema, foi ainda considerada a preferência de manancial de oferta de água, representada por funcionalidade disponível no WEAP, atribuindo-se a cada manancial valores variando de 1 a 99, sendo que o menor número significa maior preferência. Para este estudo considerou que as preferências de oferta de água para atendimento às demandas foram: uso do escoamento superficial, com valor igual a 1; seguido do escoamento de base, com preferência 2; e por último, o escoamento de base com aporte da água subterrânea que teve preferência de oferta 3.

Complementado a representação do sistema hídrico, foi considerada a porcentagem de retorno e a porcentagem de uso das demandas de água na bacia do rio Grande de acordo com o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025. Cabe ressaltar que utilizou o termo captação de água subterrânea pois nos dados de outorga disponibilizados pelo INEMA a água captada do poço é utilizada para diversos usos, sem detalhamento do valor destinado para cada um.

Com intuito de priorizar os atendimentos na bacia do rio Grande, as demandas presentes na calha e a vazão remanescente do rio São Francisco, considerada no período de 2006 a 2016, tiveram prioridade 99, ou seja, usos sem preferência para serem atendidos. Para os casos em que vazão captada atende mais de uma finalidade de uso, a prioridade considerada foi a maior, e a porcentagem de retorno foi a menor, com intuito de representar uma situação hídrica mais crítica.

Para representar a vazão mínima remanescente de referência do rio Grande foi, foi considerada a Instrução Normativa nº 1 de 27 de fevereiro de 2007 do INGÁ (Instituto de Gestão das Águas e Clima), Estado da Bahia (Bahia, 2007), que estabelece como vazão que deve permanecer no rio "20% da vazão de referência do manancial, estimada com base na vazão de até 90% de permanência a nível crítico, quando não houver barramento", p. 3. No caso do rio Grande, a vazão de referência, Q_{90} , é 175,56 m³/s (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2016), logo sua vazão mínima remanescente de referência é 35,11 m³/s.

No que se referiu a determinação do volume máximo que pode ser retirado da água subterrânea, foi realizada uma análise considerando a variabilidade mensal e outra com volume constante referente a 20% das reservas reguladoras de acordo com as definições da ANA (Agência Nacional de Águas, 2005) e do CBHSF (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2016).

Para a análise da variabilidade mensal foi feita a razão entre a precipitação média na sub-bacia e a sua respectiva recarga (%RP), estimando quanto da precipitação infiltra e recarrega o aquífero, calculado a média das recargas encontradas na área de influência da estação fluviométrica de códigos 4659000, 46543000 e 46550000 para o Alto Grande e para o Médio e Baixo Grande utilizou a estação fluviométrica de código 46790000. Após a determinação da %RP mensal, aplicou-se essa razão sobre a recarga média de cada ano estudado e encontrou-se vazão explorável mensal entre os anos de 2006 a 2016. Esse procedimento para cálculo do volume máximo foi baseado no conceito de que a vazão reguladora, segundo Costa (1988), é variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial, sendo a vazão explorável, parcela dessa vazão reguladora. Esta porcentagem permite determinar quanto da vazão reguladora pode ser explorável mensalmente dependendo dos índices pluviométricos da área estudada. Cabe ressaltar que quando as saídas de água, no cálculo da recarga, foram superiores à entrada de água, considerou-se a recarga nula.

Como artifício para identificar se as demandas representadas no sistema estão acionando a vazão permanente, atribuiu-se a vazão reguladora a capacidade de armazenamento do aquífero de forma a configurar um limite imposto na simulação.

Todo processo citado anteriormente para o cálculo do balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Grande com interação de água subterrânea foi repetido sem considerar a interação rio-aquífero. Esta análise teve como objetivo verificar o comportamento do hídrico da BHRG para atendimento as suas demandas sem considerar a estabilidade fornecida pelo aquífero Urucuia para comparação dos resultados e ampliar o conhecimento da interação entre águas superficial e subterrânea na bacia de estudo.

Para realizar a avaliação das alternativas de alocação de água considerando os usos múltiplos e as vazões mínimas afluentes ao rio São Francisco provenientes da bacia do rio Grande, utilizou o método da razão entre a precipitação média na sub-bacia e a sua respectiva recarga (%RP) para determinar do volume máximo a ser retirado da água subterrânea. Este método foi escolhido por se mostrar mais conservador, já que se obtém resultados sazonais.

Etapa 5: Alternativas de alocação de água

Diante da importância do rio Grande para a manutenção da vazão de base do rio São Francisco e visando otimizar a alocação de água entre as bacias hidrográficas do rio Grande e do rio São Francisco

em um período seco, foram consideradas duas alternativas de análise variando as prioridades das demandas da bacia hidrográfica do rio Grande e do rio São Francisco e posterior comparação das vazões de contribuição ao rio São Francisco.

Alternativa 1 (Potencial de contribuição da BHRG): considerou que as demandas da bacia do rio Grande deveriam ser atendidas prioritariamente e sem falhas de atendimento, ou seja, todas as demandas na calha do rio São Francisco entre Morpará e Sobradinho tiveram prioridade 6, com exceção do abastecimento humano e animal, cujas prioridades foram 1 e 2, respectivamente (Quadro 2) garantindo a prioridade desses usos definidos por lei. Essa alternativa permitiu avaliar as vazões mínimas mensais que chegam à foz do rio Grande, após o atendimento preferencial das demandas na BHRG.

Alternativa 2 (Necessidade de água para atendimento as demandas do rio São Francisco): considerou que as demandas de abastecimento humano, animal e vazão remanescente na calha da bacia do rio São Francisco, no trecho entre Morpará e Sobradinho, deveriam ser atendidas primeiramente sem falhas de atendimento, e as prioridades na bacia do rio Grande foram variadas por uso conforme apresentado no Quadro 2. Essa Alternativa possibilita a estimativa das vazões de contribuição da bacia hidrográfica do rio Grande na tentativa de alocar de forma que os principais usos sejam atendidos para ambas as bacias hidrográficas.

Quadro 2: Prioridades estabelecidas para as demandas de água nas Alternativas propostas.

Usos	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
	BHRG	Calha do rio São Francisco	BHRG	Calha do rio São Francisco
Abastecimento Humano	1	1	1	2
Captação de água subterrânea	1	1	3	4
Abastecimento animal	2	2	5	6
Vazão remanescente	1	6	7	8
Indústria	4	6	10	9
Irrigação	5	6	12	11
Mineração	5	6	14	13
Termelétrica	5	6	16	15

Fonte: Próprio autor

Cabe destacar que na simulação pelo modelo a água é dividida proporcionalmente entre os usos cujos valores de prioridade de atendimento são os mesmos. Como a proposta da Alternativa 2 foi estimar as vazões de contribuição da BHRG à calha do rio São Francisco garantindo o atendimento dos usos prioritários e da vazão remanescente no trecho entre Morpará e Sobradinho, foi necessário adotar valores distintos para as prioridades, apesar de se tratar do mesmo tipo de demanda de água, com o objetivo de evitar a divisão proporcional na simulação.

Em termos de demandas, foram feitas duas projeções: um balanço hídrico considerando as demandas de água no ano de 2017 e a projeção dessas demandas para o ano de 2035. Para essa projeção, considerou as taxas de crescimento anual disponibilizados nos relatórios do Plano da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2016) de cada setor usuário de água, para o abastecimento urbano, rural, animal, industrial e irrigação. As taxas médias de crescimento anual foram de 3,91%, 0,02%, 0,80%, 1,83%, 5,18%, respectivamente.

A taxa de crescimento anual adotada para os setores de mineração, termelétrica e captação subterrânea, nesse trabalho foi de 5,18%, mesmo valor considerado para irrigação, pois os dois primeiros usos fazem parte do setor primário econômico, assim como a irrigação. Assim como para captação subterrânea uma vez que seu maior uso é para irrigação.

Para a vazão remanescente do rio São Francisco foram considerados valores definidos em resoluções da ANA referentes definições da descarga mínima defluente dos reservatórios de Sobradinho e Xingó, no rio São Francisco, em período de escassez hídrica. Os valores dessas descargas, nos períodos mais secos, foram as condições para determinar os valores de vazão necessários a se

manter na calha do rio São Francisco e garantir o atendimento dos usos múltiplos da água. Foram selecionadas duas situações distintas de vazão:

Situação I: Vazão remanescente do rio São Francisco de 550 m³/s, representando uma vazão mínima que deve permanecer no rio em uma situação de seca, proveniente da Resolução da ANA nº 1.291 de 17 de julho de 2017 (Brasil, 2017a);

Situação II: Vazão remanescente do rio São Francisco de 700 m³/s, representando uma vazão mínima que deve permanecer no rio em uma situação de seca, procedente da Resolução ANA nº 2.081 de 4 de dezembro de 2017 (Brasil, 2017b).

A partir da análise do comportamento do sistema hídrico em cada alternativa e considerando as duas situações para vazão remanescente do rio São Francisco em situação de seca, foi realizada a estimativa da vazão de contribuição da bacia do rio Grande para o rio São Francisco para o período seco, alterando-se as vazões remanescentes no rio Grande de forma a estabelecer o valor limite que garanta o atendimento a todas as demandas de maior prioridade na BHRG e na calha do rio São Francisco simultaneamente. Essa vazão remanescente serviu como indicação da vazão que precisa passar para a calha do rio São Francisco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização rio-aquífero

O rio Grande possui regime hidrológico caracterizado pelo início do ano hidrológico no mês de outubro, com maiores valores de vazão entre dezembro e março, superando 300 m³/s para o período de 2006 a 2016 na estação fluviométrica 46902000, localizada no município de Boqueirão, próxima a foz. Já as menores vazões identificadas ocorrem entre os meses de abril e setembro, sendo este último o mês que apresentou a menor média mensal no período analisado, com valor de 177,41 m³/s, confirmando os valores de vazão já encontrados nos estudos de Engelbrecht & Chang (2015) para o rio Grande. Esse comportamento está apresentado na Figura 5, onde é possível verificar as vazões médias mensais observadas na estação fluviométrica avaliada e a estimativa do escoamento de base a partir da aplicação do filtro recursivo e digital proposto por Eckhardt (2005).

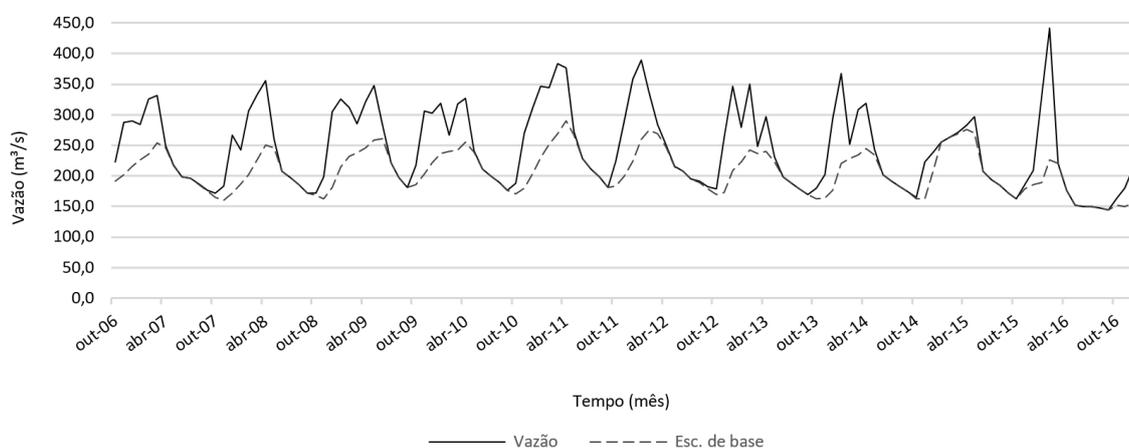


Figura 5- Ano hidrológico da bacia do rio Grande no período de 2006 a 2016, estação fluviométrica 46902000
Fonte: Próprio autor

Na Figura 5 verifica-se que entre os anos de 2006 e 2016 a vazão do rio Grande nunca foi inferior a 150 m³/s, o que confirma mais uma vez a influência do aquífero Urucuaia no fluxo de base dos rios por ele abastecidos. A vazão que chega à foz do rio Grande é formada pela contribuição dos seus rios afluentes e pelo escoamento difuso que chega à calha menos as retiradas devido às demandas. O rio de Janeiro, o rio Alto Grande e o rio Preto, são os maiores contribuintes, como foi constatado no trabalho de Pereira et al. (2007). No mês de dezembro de 2011, um dos meses mais chuvosos na bacia do rio Grande para o período de estudo, foram registradas vazões nesses rios que resultaram em estimativas da vazão de base de, respectivamente, 127,57 m³/s, 127,14 m³/s e 105,49 m³/s, contribuindo de forma significativa para a disponibilidade hídrica do rio principal.

Verifica-se que nos meses menos chuvosos, que ocorrem de maio a setembro na bacia do rio Grande, a vazão dos rios chega a ser formada apenas pela contribuição do aquífero. Pelo balanço hidrogeológico do aquífero para avaliação da recarga, foi constatado que, em média, para o período de 2006 a 2016, cerca de 16,9% da precipitação ocorrida na bacia se converteu em recarga do aquífero.

O volume máximo disponível de água subterrânea na bacia foi estimado pela média da disponibilidade subterrânea calculada para as áreas de drenagem das estações fluviométricas (46790000, 46590000, 46543000 e 46550000) por duas abordagens, sendo uma a partir da razão entre a precipitação média na sub-bacia e a sua respectiva recarga (%RP) e outra utilizando-se 20% das reservas reguladoras. A Figura 6 representa esta razão (%RP) mensal de cada estação fluviométrica, no período de análise e a Figura 7, a média dos volumes explotáveis das áreas de drenagem das estações fluviométricas, representando o comportamento do volume mensal explotável para a bacia pelas duas abordagens.

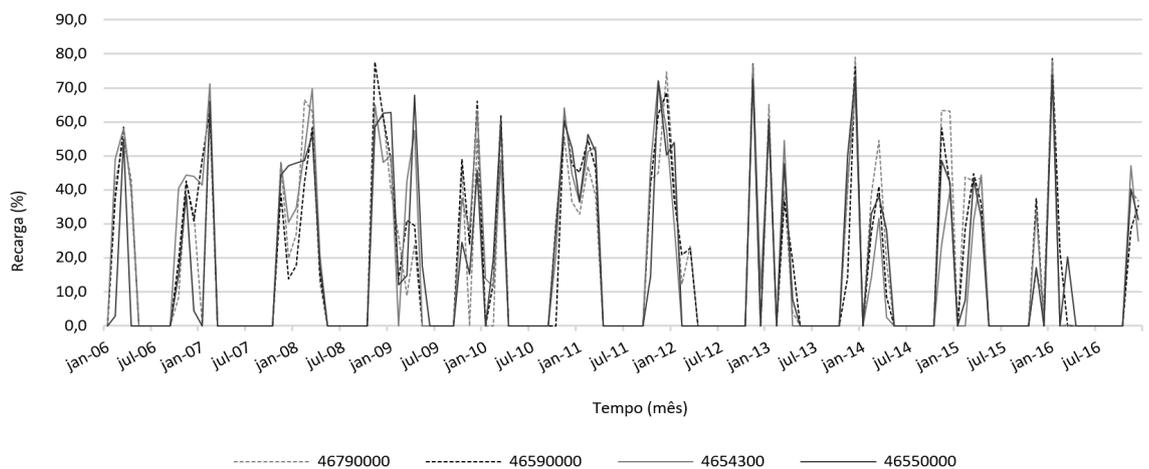


Figura 6: Variação da razão entre a precipitação média na sub-bacia e a sua respectiva recarga (%RP) das estações fluviométricas 46790000, 46590000, 46543000 e 46550000 no período de 2006 a 2016
Fonte: Próprio autor

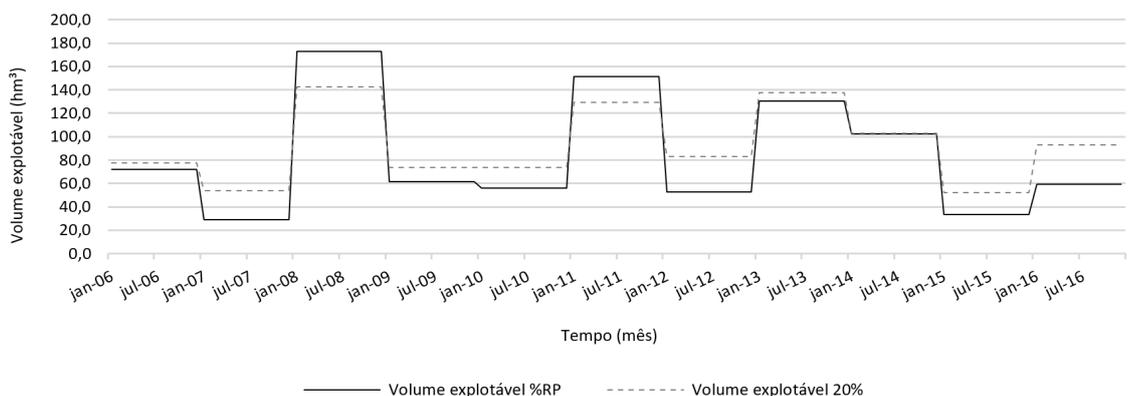


Figura 7: Comparação entre metodologias para determinação do volume explotável do SAU para atendimento dos usos superficiais considerando a variabilidade mensal de %RP e a retirada constante de 20% da vazão reguladora
Fonte: Próprio autor

Na Figura 6 verifica-se a variabilidade da recarga em função da chuva nas estações de análise, atingindo percentuais de recarga superiores a 60% em vários anos do período de estudo. Na Figura 7 verifica-se que nos meses mais chuvosos da BHRG, de outubro a março, em média, o volume explotável mensal em função da razão entre a recarga e chuva que cai na área do aquífero Urucua na porção do Médio e Baixo Grande é 8,76% menor do que o volume explotável mensal considerando a taxa de 20% da vazão reguladora, também conhecida como reserva renovável, que varia a cada ano. Dessa forma, a primeira abordagem mostra-se mais conservadora para esse período, com menor disponibilidade de

atendimento, sendo sugerida como adequada para o balanço hídrico integrado com vistas a definição da vazão de contribuição do presente estudo.

Balanço hídrico integrado

Para a realização do balanço hídrico integrado foi considerado que a quantidade de água subterrânea explorada e a água superficial captada foram representadas pelas informações de outorga do uso da água na bacia. De acordo com a Norma Técnica nº 19/2017 do INEMA (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2017) tem-se para a calha dos rios da bacia do rio Grande uma outorga acumulada total (válidas e não válidas) de 66,49 m³/s, enquanto que a outorga acumulada total de água subterrânea chega a 2,28 m³/s.

Ainda de acordo com os dados da Norma Técnica no INEMA, nº 19/2017, dos 285 pontos de captação de água superficial registrados, 88% são para atender a agricultura irrigada, 8,1% para o abastecimento humano; 2,5% para abastecimento animal; 1,1% para indústria; e 0,3% para atender a mineração. A maior parte dos pontos de captação superficial está localizada no oeste da bacia hidrográfica do Rio Grande. Com relação aos 94 pontos de captações de água subterrâneas, o uso com maior demanda é para dessedentação de animal, com 27 registros.

Já a quantidade de registros de poços disponível no cadastro da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2017), se refere a 1567 poços perfurados, sendo que apenas 282 estão bombeando água do aquífero. A cidade com mais registro de poços é São Desidério, com 312 poços, sendo que desse total, 22,11% estão bombeando água, 64% não informa sua situação e 11,54% está apenas equipado. Porém, a cidade com mais poços bombeando água para atender as demandas é Santa Rita de Cássia, que possui 70 poços bombeando água em um total de 84. Cabe chamar atenção para o grande número de cadastros que não indicam a situação do poço, cerca de 62,6% do total de cadastro.

Após a análise de disponibilidade e demanda de água, realizou-se o balanço hídrico por meio da modelagem do sistema no WEAP e verificou-se que para o período estudado, entre os anos de 2006 a 2016, o saldo foi positivo em todas as estações fluviométricas localizadas no limite do aquífero dentro da bacia hidrográfica do rio Grande. Porém, em diversos anos verificou-se a ocorrência de falhas no atendimento das demandas de água na calha do rio São Francisco, principalmente nos três últimos anos do período estudado, chamando atenção para o mês de outubro de 2014, que foi o mês que registrou maior déficit hídrico, 316,82 m³/s, sendo que 92,3% desse total são referentes à vazão remanescente do rio São Francisco no reservatório de Sobradinho.

A Figura 8 apresenta o volume armazenado mensal na reserva reguladora proveniente da recarga calculada mensalmente no aquífero Urucuia para o Médio e Baixo Grande e no Alto Grande após o atendimento das vazões da outorga, sendo verificado que a recarga mensal no Sistema Aquífero Urucuia no Médio e Baixo Grande (SAMB) na maioria dos meses foi maior do que o volume do Sistema Aquífero Urucuia no Alto Grande (SAA), isso se devendo às demandas de água no Alto Grande serem superiores, como já abordado anteriormente.

Para outubro de 2014 (Figura 8) não houve aumento no volume armazenado na vazão reguladora do Sistema Aquífero Urucuia na porção do Médio e Baixo Grande, chegando a zerar. O balanço hídrico indicou que houve falha no atendimento das demandas nesse mesmo período, e uma vez que a vazão permanente não foi considerada como disponível, pode-se inferir que, no contexto prático da interação rio-aquífero, a vazão permanente seria acionada para atender os usos múltiplos, podendo causar rebaixamento do mesmo e o comprometimento da quantidade da água subterrânea presente nesse sistema poroso.

A Figura 9 apresenta a comparação da soma do déficit hídrico referente a alocação de água para os diversos usos em duas situações de disponibilidade hídrica: com e sem a consideração da interação rio aquífero. Sem considerar a interação rio-aquífero para satisfazer as demandas superficiais, verificou-se que as demandas na bacia do rio Grande continuaram sendo atendidas, porém, com relação às demandas na calha do rio São Francisco observou-se que aumenta a quantidade de meses com falhas de atendimento aos usos da água: outubro de 2014, por exemplo, o mês mais crítico, chegou a um déficit hídrico de 654 m³/s. Essas análises reforçam a importância da contribuição do aquífero Urucuia para atendimento das demandas na calha do rio São Francisco e necessidade de considerar essa interação para o caso de estudo.

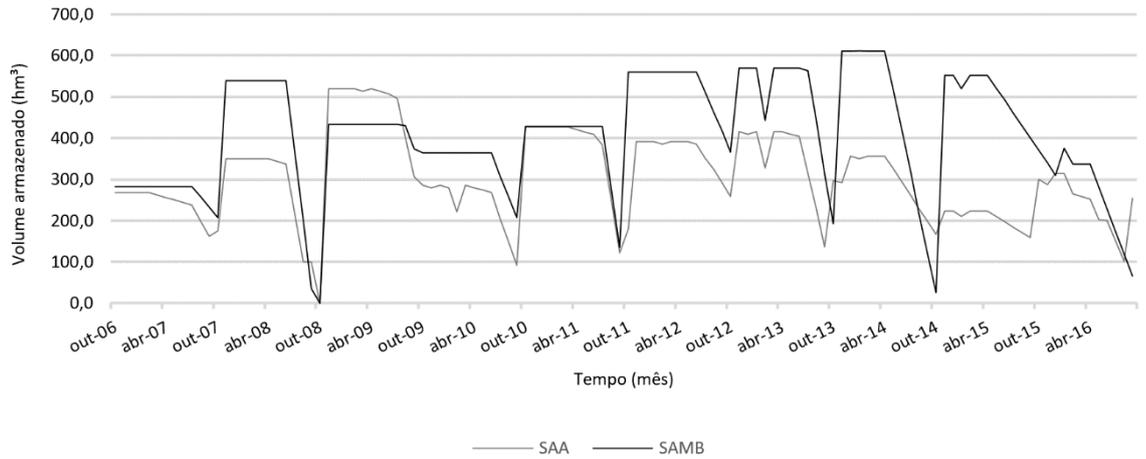


Figura 8: Volume de água armazenado na reserva reguladora devido a recarga mensal no aquífero Urucua nas áreas do Médio e Baixo Grande e o Alto Grande e atendimento às vazões outorgadas
Fonte: Próprio autor

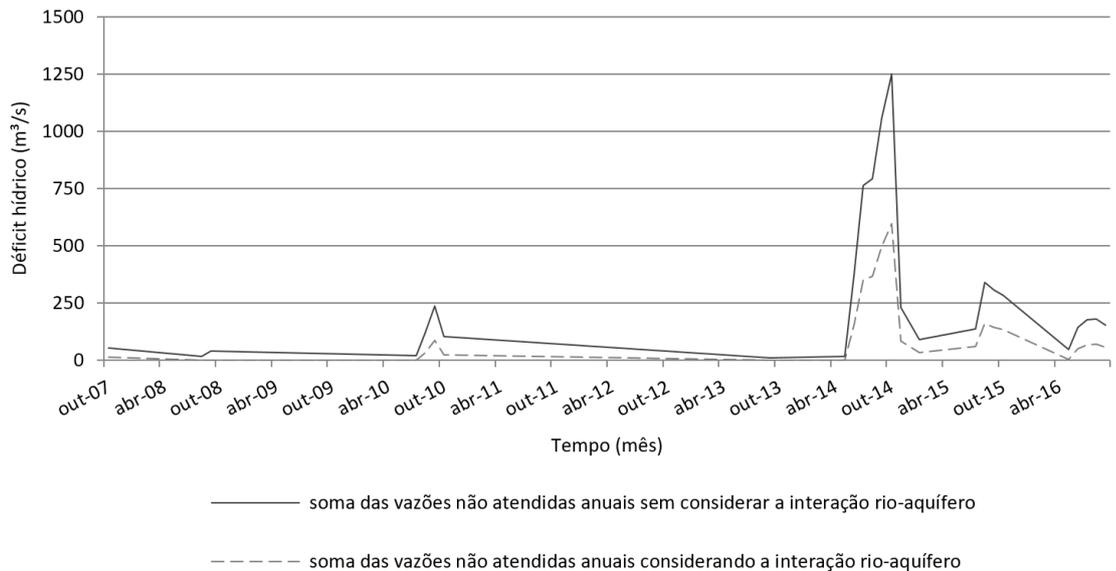


Figura 9: Comparação entre a soma do déficit hídrico de cada mês do período de estudo com e sem contribuição subterrânea para a bacia hidrográfica do rio Grande
Fonte: Próprio autor

A Figura 10 representa uma comparação feita entre as vazões entregues do rio Grande considerando e não considerando a contribuição do aquífero Urucua. Com essa simulação, verificou-se o quanto o aquífero é acionado para contribuir na disponibilidade hídrica da região e atendimento as demandas do rio São Francisco nos meses mais secos, sendo o ano de 2014 o período com maior necessidade da contribuição do aquífero, inclusive no mês de dezembro caracterizado historicamente como de condição hídrica mais favorável.

Em relação as vazões mínimas que foram entregues pela bacia hidrográfica do rio Grande para a bacia do rio São Francisco, considerando a simulação do cenário de referência do sistema e todas as demandas de água atribuídas para a BHRG atendidas, verificou-se um valor de 199 m³/s quando foi considerada a contribuição do aquífero e de 182,7 m³/s quando não foi contabilizado o aporte do aquífero. Esse resultado reforça o acionamento e contribuição do sistema aquífero para atendimento as demandas do rio São Francisco.

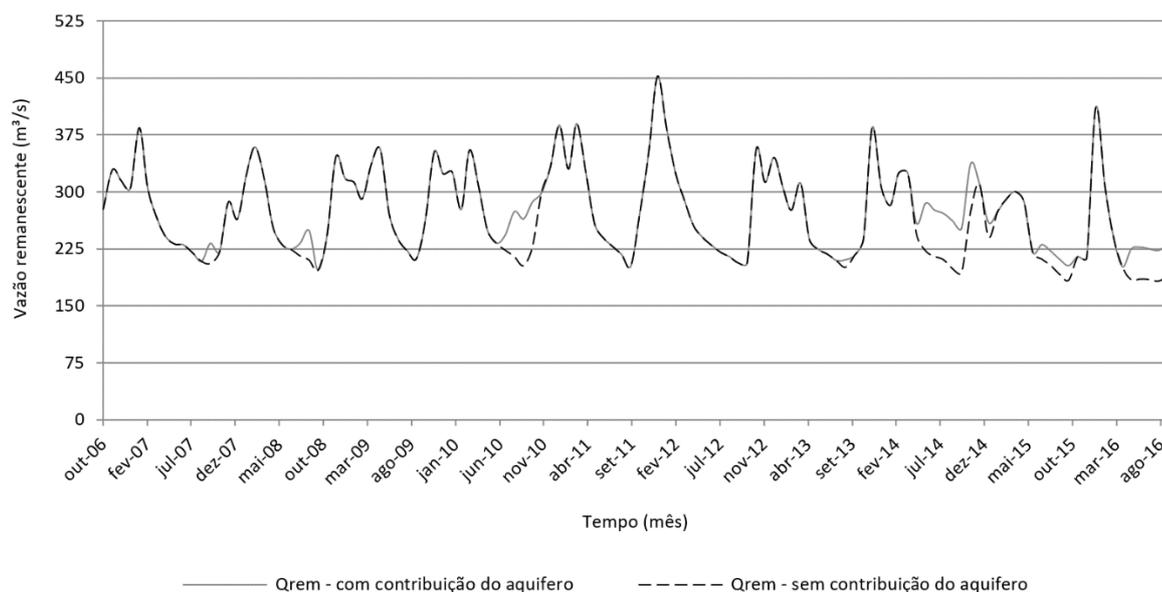


Figura 10: Comparação das vazões entregues do rio Grande com e sem contribuição do aquífero na sua foz

Fonte: Próprio autor

Análise das alternativas de alocação de água

Foram consideradas duas alternativas de alocação de água levando em conta os usos múltiplos e as vazões remanescentes do rio São Francisco, a jusante de Sobradinho, praticadas em período de escassez hídrica. Para a primeira alternativa, as demandas do cenário de 2017, a Situação I (Vazão remanescente do rio São Francisco de 550 m³/s) e a Situação II (Vazão remanescente do rio São Francisco de 700 m³/s), considerando que a vazão explotável foi encontrada mensalmente de acordo com a razão entre a precipitação média na sub-bacia e a sua respectiva recarga (%RP), verificou-se que todas as demandas consuntivas na bacia hidrográfica do rio Grande e a vazão remanescente no rio Grande próxima à foz foram atendidas. Este resultado já era esperado visto que as demandas de água dessa bacia possuem as maiores prioridades e também pelo grande potencial hídrico do aquífero Urucuia.

Já considerando as demandas de água subterrânea e superficiais da bacia hidrográfica do rio Grande, projetadas para 2035, para ambas as Situações I e II, observou-se uma falha de atendimento em todos os meses do ano de 2015, sendo que em seis meses o déficit hídrico foi de 0,97 m³/s, porém todas as vazões remanescentes representadas no sistema foram atendidas devido a sua prioridade.

A Figura 11 apresenta as vazões remanescentes da BHRG para a calha do rio São Francisco considerando as demandas de águas dos anos de 2017 e 2035, no Situação I. Pode-se observar, em relação as vazões de entrega da bacia do rio Grande para contribuir com a vazão do rio São Francisco, um valor mínimo de 198,4 m³/s e de 118,2 m³/s, para o cenário de demandas de 2017 e demandas projetadas para o ano de 2035, respectivamente, com uma redução de quase 68% na contribuição para a calha do rio principal com a projeção da demanda. Verifica-se ainda na Figura 11 que a partir de junho de 2016 essas vazões remanescentes começam a reduzir, refletindo uma influência do comportamento das chuvas ou do aumento do consumo de água na bacia do rio Grande.

Ao analisar o armazenamento de água subterrânea do aquífero Urucuia para atendimento das demandas de 2017 e projetadas para o ano de 2035, em média, o armazenamento de água subterrânea do aquífero reduziu de 711,25 milhões de m³ para 665,36 milhões de m³, uma redução de 45,0 milhões de m³ para o período de estudo. Essa análise indica que, com o aumento das demandas, o aquífero será acionado para atender os usos, diminuindo o volume armazenado referente a vazão reguladora. Nesse sentido, cabe destacar que os processos de consumo e produção de água subterrânea ocorrem em escala temporal diferente. Enquanto o bombeamento de água se dá em segundos, minutos ou horas, a recarga de aquífero se dá em meses ou anos.

Quanto ao resultado do volume armazenado no reservatório de Sobradinho, para o ano de 2017, Situação I, notou-se que em novembro de 2015, o volume simulado quase alcançou o volume meta mínimo, chegando a um valor de 5765,23 hm³, como pode ser observado na Figura 12.

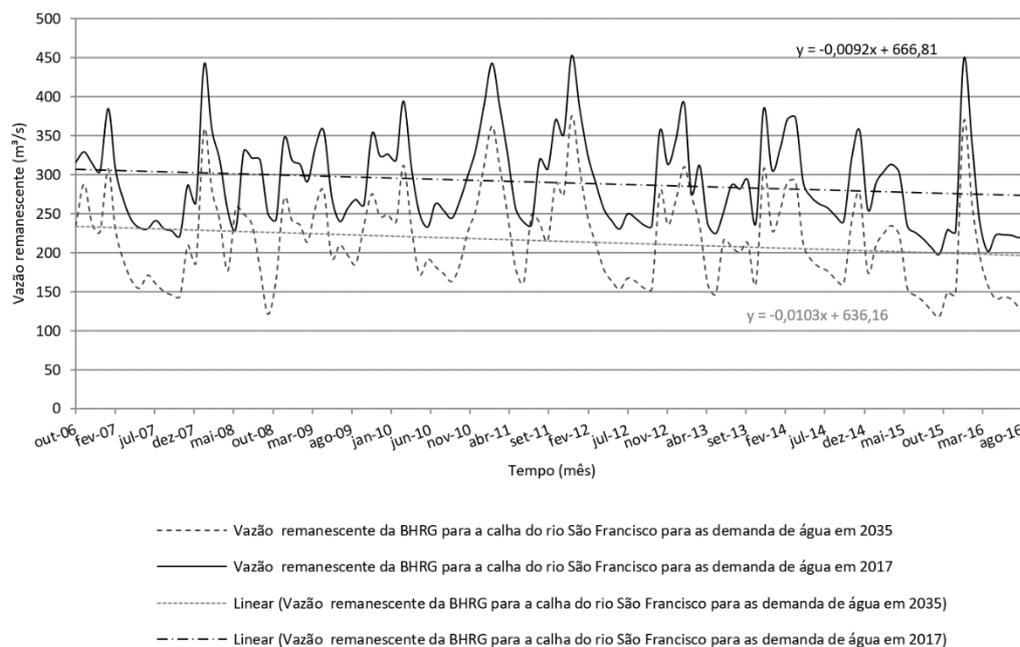


Figura 11: Vazões remanescentes da BHRG para a calha do rio São Francisco considerando as demandas de águas dos anos de 2017 e 2035, no Situação I

Fonte: Próprio autor

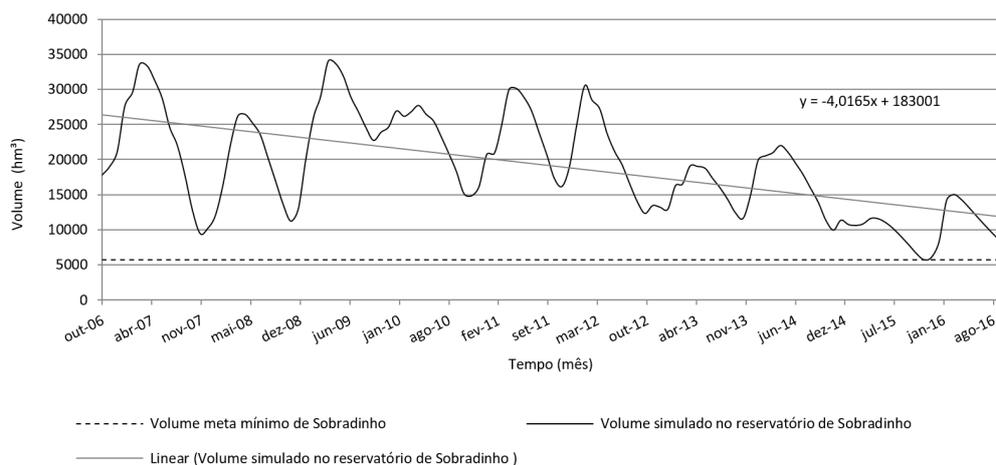


Figura 12: Análise do volume simulado no reservatório de Sobradinho para o ano de 2017, Situação I

Fonte: Próprio autor

Após observar o resultado encontrado para o volume simulado no reservatório de Sobradinho, analisou-se as vazões mínimas para atendimento das demandas de cada cenário. Para a Situação II, as vazões mínimas considerando as demandas de 2017 e 2035 foram respectivamente, 197,50 m³/s em outubro de 2008 e 118,53 m³/s em outubro de 2015.

Para a Situação II, Alternativa 1, os anos de 2014 e 2016, foram os que apresentaram os menores índices de armazenamento. Para o período de estudo, de 2006 a 2016, e projeção das demandas para o ano de 2035, o armazenamento de água médio simulado no aquífero foi de 754,53 milhões de m³, com o menor valor do período ocorrendo em agosto de 2006 e igual a 199,29 milhões de m³, 73,6% abaixo da média. Com relação à simulação do armazenamento de água subterrânea para as demandas de 2017, obteve-se uma média de armazenamento no aquífero de 789,88 Mm³ para o período de estudo. Isso sinaliza a variação da vazão reguladora do aquífero em função da demanda atendidas pelos rios.

Para a segunda alternativa, que teve como meta priorizar o atendimento das demandas presentes na calha do rio São Francisco, por tentativa e erro, foi-se modificando os valores das vazões

remanescentes do rio Grande para identificar a vazão máxima que a bacia do rio Grande poderia contribuir com a vazão do rio São Francisco.

Para a Situação I e atendimento das demandas do cenário de referência, a vazão remanescente foi de 245 m³/s, garantindo atendimento a todas as demandas na calha do rio São Francisco, mas havendo falha no atendimento a irrigação na BHRG.

Esse valor mínimo de contribuição decaiu para 220 m³/s quando as demandas são projetadas para 2035, com todas as demandas no trecho de estudo do rio São Francisco atendidas, mas com falha no atendimento das demandas da BHRG, principalmente em outubro de 2015 para a irrigação nas bacias do rio de Janeiro e rio Alto Grande, cujas falhas foram respectivamente de 55,52 m³/s e 42,83 m³/s. Já na simulação para as demandas de 2017, as duas Situações apresentaram um mesmo valor de falha, aproximadamente 57 m³/s, enquanto que para as demandas projetadas para 2035, para a Situação I e Situação II, as vazões de falha nesse mês foi respectivamente, 130,62 m³/s e 140,40 m³/s.

Ao se verificar o armazenamento de água subterrânea da vazão reguladora foi possível comprovar que o aquífero é mais acionado na Alternativa 2, onde as demandas do rio São Francisco têm maior prioridade de atendimento. Esse fato ocorreu porque as demandas na calha do rio São Francisco são maiores do que as demandas presentes na bacia do rio Grande, fazendo com que mais água seja entregue ao rio São Francisco por parte da bacia hidrográfica afluente e, portanto, o aquífero Urucuia aumentou sua contribuição de água para atender as demandas na bacia do rio Grande, fazendo com que a o armazenamento no aquífero reduzisse consideravelmente nos meses mais secos, o que representa a interação do rio com o aquífero.

Diante das combinações das alternativas e das situações, a Tabela 1 apresenta resumo das vazões mínimas remanescentes para cada situação e alternativa.

Tabela 1 - Tabela comparativa das vazões mínimas encontradas para as combinações das Alternativas e Situações

	<i>Cenários</i>	<i>Vazão mínima remanescente (m³/s)</i>	<i>% de atendimento das demandas na BHRG</i>	<i>Armazenamento médio no SAA/SAMB (hm³)</i>	<i>Armazenamento médio em Sobradinho (hm³)</i>
Demandas de água em 2017	Alternativa 1-Situação I	197,5	100	370,9	32582,5
				502,1	
	Alternativa 1-Situação II	198,4	100	349,5	33142,7
				433,9	
Alternativa 2-Situação I	245,0	100	388,5	33303,5	
			455,0		
Alternativa 2-Situação II	245,0	100	332,9	33041,5	
			428,5		
Demandas de água em 2035	Alternativa 1-Situação I	118,2	100	253,1	30136,6
				366,1	
	Alternativa 1-Situação II	118,53	100	315,7	32862,4
				430,8	
Alternativa 2-Situação I	220,0	98	319,5	33120,0	
			480,0		
Alternativa 2-Situação II	220,0	71,63	238,9	32484,2	
			315,1		

Fonte: Próprio autor

A apresentação da Tabela 1 permite avaliar as vazões de contribuição de água na bacia do rio Grande para o rio São Francisco em diferentes situações com o objetivo de aperfeiçoar a alocação de água entre as bacias hidrográfica desses dois rios. Pelo fato da Alternativa 1 garantir o atendimento dos usos da água na BHRG, essa assegura o atendimento às demandas de irrigação, visto que oeste da Bahia possui um total de 2,24 milhões de hectares de área agrícola plantada na região, sendo 150 mil hectares irrigados, o que corresponde a apenas 6% da área (Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia, 2018), mas a quase metade da produção.

Dessa forma, em períodos secos, como os anos de 2006 a 2016, e considerando o aumento populacional e econômico do país, os resultados indicam que a vazão de contribuição da bacia hidrográfica do rio Grande para a calha do rio São Francisco seja de 118,2 m³/s. Cabe ressaltar que, para o período estudado, a vazão de base mínima e máxima do rio Grande foi de 144,77 m³/s em setembro de 2016 e 290,67 m³/s em abril de 2011, respectivamente. Esse valor mínimo da vazão de base reforça que uma vazão de contribuição de 118,2 m³/s, por parte do rio Grande para o rio São Francisco, apesar de ser conservadora é viável mesmo com o crescimento das demandas de água.

O estabelecimento de vazões de entrega dos principais afluentes para o rio São Francisco é uma estratégia para, compondo um marco regulatório que retrata um pacto das águas, auxiliar na alocação de água em seu sentido mais amplo e na gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica de uma forma integrada.

A discussão de um Pacto das Águas foi tratada no primeiro Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2004-2013, cuja ideia inicial era propor as diretrizes e a estratégia para implementação dos instrumentos de gestão integrada dos recursos hídricos, além de definir um conjunto de ações nos setores de serviços e obras hidráulicas, saneamento ambiental, uso da terra e sustentabilidade hídrica (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2004). Cabe ressaltar que, segundo Castro (2019), apesar de nessa época o balanço entre demanda e disponibilidade de água ainda ser confortável, haveria a necessidade de alocar água entre estados e sub-bacias que compartilham e contribuem com o rio São Francisco de forma a orientar os critérios de análises de outorgas na bacia e o desenvolvimento e crescimento dos usos.

A necessidade de definição das vazões de contribuição dos grandes afluentes à calha principal do rio São Francisco se mostra ainda mais pertinente quando se analisa o estudo realizado pelo ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico (2020) que trata da avaliação do comportamento das séries históricas de aflúncias naturais do Sistema Interligado Nacional (SIN), nos últimos anos, onde é possível observar redução das chuvas na bacia hidrográfica do rio São Francisco e consequente alteração dos padrões das séries de vazões, o que pode vir a causar um desequilíbrio no balanço hídrico dessa bacia.

CONCLUSÕES

A avaliação do balanço hídrico envolvendo a bacia do rio Grande e a calha do rio São Francisco a jusante da confluência desses dois rios, indicou que a vazão de contribuição de rios afluentes para a calha do rio principal se configura em um aporte de água importante para a viabilidade de atendimento a diversas demandas hídricas na bacia hidrográfica. No caso de estudo, essa importância foi reforçada pela conectividade entre o rio Grande e o aquífero Urucuia, sinalizando a necessidade de detalhamento do balanço hídrico quantificando essa conexão entre águas superficiais e subterrâneas. Dessa forma, pode-se embasar a indicação de uma vazão de contribuição do rio Grande que contribua na construção de acordos de alocação de água para uma gestão dos recursos hídricos na bacia do rio São Francisco em prol da segurança hídrica.

De acordo com a alternativa de alocação de água avaliada no presente trabalho que priorizou atender as demandas da bacia do rio Grande de forma que não houvesse falhas de atendimento, em duas situações de vazão mínima remanescente do rio São Francisco operadas no reservatório de Sobradinho para o período crítico de disponibilidade hídrica (de 550 m³/s e de 700 m³/s) verificou-se que:

- Considerando as demandas projetadas para 2035, a vazão de contribuição do rio Grande de 118,2 m³/s garante o atendimento a todas suas demandas, mas reflete na diminuição do volume armazenado no reservatório de Sobradinho, mesmo com a defluência de 550 m³/s.
- A definição da vazão de contribuição do rio Grande se mostrou pouco sensível a alteração da vazão de defluência do reservatório de Sobradinho, uma vez que esse valor foi de 197,5 m³/s para 198,4 m³/s considerando as demandas para o ano de 2017 e de 118,2 m³/s para 118,53 m³/s considerando as demandas projetadas de 2035. Entretanto, para o atendimento das demandas projetadas para 2035, essa alteração resultou no aumento em torno de 9% para o volume acumulado no reservatório de Sobradinho e numa média de 21% para o de água subterrânea, sendo o balanço hídrico do reservatório mais eficiente quando considerada a maior defluência. Isso reflete na importância de considerar o sistema integrado rio afluente, rio principal, reservatórios de acumulação de água e conectividade da água superficial e subterrânea na representação do sistema hídrico.

- O aumento das demandas de 2017 para as projetadas para 2035, acarretou uma redução de cerca de 40% na vazão mínima de contribuição da bacia do rio Grande para a vazão do rio São Francisco, de forma a continuar garantindo o atendimento integral das demandas prioritárias.

Considerando-se a alternativa de alocação de água priorizando atender as demandas de abastecimento humano, animal e vazão remanescente na calha da bacia do rio São Francisco, trecho entre Morpará e Sobradinho e ainda os usos prioritários da bacia do rio Grande, em duas situações de vazão mínima remanescente do rio São Francisco operadas no reservatório de Sobradinho para o período crítico de disponibilidade hídrica (de 550 m³/s e de 700 m³/s) verificou-se que:

- A vazão de contribuição do rio grande, considerando a demandas projetadas para 2035, foi de 220 m³/s para as duas situações de defluência do reservatório de Sobradinho, mas com a situação de defluência maior acarretando em um aumento de 26% das falhas de atendimento a irrigação na bacia do rio Grande, numa diminuição do volume armazenado nesse reservatório em 2% e no menor volume armazenado de água subterrânea dentre as alternativas analisadas.
- O aumento das demandas de 2017 para as projetadas para 2035, acarretou na redução da vazão mínima de contribuição do rio Grande de 245 m³/s para 220 m³/s, e no não atendimento integral das demandas de irrigação no rio Grande. Esse contexto sinaliza a importância do Pacto das Águas no rio São Francisco estabelecer cenários de demandas futuras de forma criteriosa para estabelecimento de vazões de contribuição de seus rios afluentes.
- Considerar a prioridade de usos para abastecimento humano, animal e vazão remanescente na calha da bacia do rio São Francisco, trecho entre Morpará e Sobradinho acarretou na necessidade de aumento da vazão de contribuição do rio Grande de 24% considerando as demandas de 2017 e de 86% quando considerada a projeção para 2035. Isso destaca a relevância da vazão do rio Grande para o rio São Francisco como aporte na disponibilidade hídrica para o atendimento dos usos prioritários da água num cenário de aumento das demandas.

Diante desses resultados e considerando que a vazão de base mínima e máxima do rio Grande para o período de análise, representativo de um período de escassez hídrica na região, foi de 144,77 m³/s em setembro de 2016 e 290,67 m³/s em abril de 2011, respectivamente, a definição da vazão de contribuição da bacia hidrográfica do rio Grande para a calha do rio São Francisco de 118,2 m³/s, se configura como uma proposta conservadora, tal que, tem garantia de ocorrência, mesmo em períodos secos, e ainda levando em conta o crescimento das demandas de água na região.

Essas abordagens considerando os aspectos hidrológicos da vazão de contribuição se configuram em informações estratégicas para subsidiar futuras discussões para construção de acordos de alocação de água, entre bacias hidrográficas do rio principal e seus afluentes, aliadas a aspectos de qualidade da água e aos critérios legais, políticos e socioeconômicos inerentes a essa alocação em rios transfronteiriços.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro e institucional.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas – ANA. (2005). *Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil*. Brasília: ANA. Recuperado em 16 de agosto de 2017, de <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>
- Agência Nacional de Águas – ANA. (2011). *Outorga de Direito de uso de Recursos Hídricos* (Vol. 6, Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos, 54 p.). Brasília: ANA. Recuperado em 14 de setembro de 2016, de www.ana.gov.br
- Agência Nacional de Águas – ANA. (2015a). *Coordenação de Outorga* (pp. 5-7). Brasília: ANA.
- Agência Nacional de Águas – ANA. (2015b). *Coordenação de Outorgas*. Recuperado em 1 de maio de 2015, de <http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/uorgs/sof/geout.aspx>
- Agência Nacional de Águas – ANA. (2017). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas*. Brasília: ANA. Recuperado em 15 de agosto de 2017, de <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf>

- Akhmouch, A., & Correia, F. N. (2016). The 12 OECD principles on water governance—When science meets policy. *Utilities Policy*, 43, 14-20.
- Allen, R. G., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements* (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56). Rome: FAO.
- Amorim, A. L., Ribeiro, M. M. R., & Braga, C. F. C. (2016). Conflitos em bacias hidrográficas compartilhadas: o caso da bacia do rio Piranhas-Açu/PB-RN. *RBRH*, 21(1), 36-45.
- Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia – AIBA. (2018). *Aiba Rural: a revista do agronegócio da Bahia. Sustentabilidade hídrica na produção de alimento*. 4(9).
- Bahia. Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia – SRH. (2007). Instrução Normativa INGÁ nº 01, de 27 de fevereiro de 2007. Dispõe sobre a emissão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado da Bahia, assim como a sua renovação, ampliação, alteração, transferência, revisão, suspensão e extinção, e dá outras providências. Recuperado em 5 de outubro de 2020, de http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/INSTRUCAO_NORMATIVA_01_27_02_2007_OUT_ORGA.pdf
- Brasil. Agência Nacional de Águas – ANA. (2004). Resolução nº 687, de 03 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o Marco Regulatório para a gestão do Sistema Curema-Açu e estabelece parâmetros e condições para a emissão de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos e declaração de uso insignificante. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 15 de setembro de 2016, de <http://cbhpiancopiranhasacu.org.br/Docs/marcoregulatorio/687-2004.pdf>
- Brasil. Agência Nacional de Águas – ANA. (2006). *Resolução Conjunta ANA/SRH-CE/SEMAR-PI nº 547 de 5 de dezembro de 2006. Estabelece o Marco Regulatório que dispõe sobre estratégias de gestão de recursos hídricos nas bacias dos rios Poti e Longá e procedimentos e condições para as outorgas preventiva e de direito de uso, considerando a regularização das intervenções e usos atuais, bem como as regras para as intervenções e usos futuros*. Recuperado em 15 de agosto de 2017, de http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/Alocacao_Agua/Oficinalocacao/Resolucao_547_2006_MarcoRegulatorioPotiLonga.pdf
- Brasil. Agência Nacional de Águas – ANA. (2017a). *Resolução nº 1.291, de 17 de julho de 2017. Dispõe sobre a redução temporária da descarga mínima defluente dos reservatórios de Sobradinho e Xingó, no rio São Francisco*. Recuperado em 12 de maio de 2018, de <http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/1291-2017.pdf>
- Brasil. Agência Nacional de Águas – ANA. (2017b). *Resolução nº 2.081, de 04 de dezembro de 2017. Dispõe sobre as condições para a operação do Sistema Hídrico do Rio São Francisco, que compreende os reservatórios de Três Marias, Sobradinho, Itaparica (Luiz Gonzaga), Moxotó, Paulo Afonso I, II, III, IV e Xingó*. Recuperado em 12 de maio de 2018, de <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/2081-2017.pdf>
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente – MMA. (2017c). *Download de dados geográficos*. Recuperado em 1 de janeiro de 2017, de <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>
- Castro, L. M. A. (2019). *Estudo: Avaliação da Operação de Reservatórios de Água e Definição de Subsídios para Proposição de um Pacto das Águas na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Produto 2B: Construção de um modelo conceitual para um Pacto das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*. Belo Horizonte: Agência Peixe Vivo.
- Cerezini, M. T. (2018). *Gestão integrada e sustentável da água em bacias hidrográficas: ferramentas, desafios e diretrizes*.
- Chang, F.; Wang, K. (2013). A systematical water allocation scheme for drought mitigation. *Journal of Hydrology*, 507, 124-133.
- Coelho, R. M. P., & Havens, K. (2015). *Governança das águas. Crise nas águas: Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas* (pp. 133-147). Belo Horizonte (MG): Recóleo.
- Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF. (2004). Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. *Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2004-2013)* (150 p.). Síntese do Resumo Executivo com Apreciação das Deliberações do CBHSF.
- Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF. (2016). *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025*. Bahia.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (2017). *SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas*. Recuperado em 10 de maio de 2017, de <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>

- Costa, W. D. (1988). Avaliação de Reservas, Potencialidade e disponibilidade de aquíferos. In *Anais do 10º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. São Paulo, ABAS.
- Degefu, D. M., He, W., Yuan, L., & Zhao, J. H. (2016). Water allocation in transboundary river basins under water scarcity: a cooperative bargaining approach. *Water Resources Management*, 30(12), 4451-4466.
- Doorenbos J., & Pruitt W. O. (1975). *Guidelines for predicting crop water requirements* (FAO Irrigation and drainage paper 24, 179 p.). Rome: FAO.
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, 19(2), 507-515.
- Engelbrecht, B. Z., & Chang, H. K. (2015). Simulação numérica do fluxo de águas do Sistema Aquífero Urucuia na Bacia Hidrogeológica do rio Corrente (BA). *PhD Proposal*, 1, 244-256.
- Feitosa, E. C. (2008). *Avaliação de recursos hídricos subterrâneos*. In F. A. C. Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J.; Feitosa, E. C.; Demetrio, J. G. A. (Orgs.), *Hidrogeologias: conceitos e aplicações* (3. ed.).
- Gaspar, M. T. P., & Campos, J. E. G. (2007). O Sistema Aquífero Urucuia. *Brazilian Journal of Geology*, 37(4), 216-226.
- Gonçalves, R. D., Engelbrecht, B. Z., & Chang, H. K. (2016). *Análise hidrológica de séries históricas da Bacia do Rio Grande (BA): contribuição do Sistema Aquífero Urucuia*. *Águas Subterrâneas*, 30(2), 190-208.
- Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA. (2016). *CBH Grande: Caracterização da bacia*. Recuperado em 24 de outubro de 2016, de <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-grande/>
- Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA. (2017). *Nota Técnica NT 19/2017 - Outorgas para captação superficial e subterrânea na bacia do rio Grande*.
- Kallioras, A., Pliakas, F., & Diamantis, I. (2006). The legislative framework and policy for the water resources management of transboundary rivers in Europe: the case of Nestos/Mesta River, between Greece and Bulgaria. *Environmental Science & Policy*, 9(3), 291-301.
- Killian, C. D., Asquith, W. H., Barlow, J. R. B., Bent, G. C., Kress, W. H., Barlow, P. M., & Schmitz, D. W. (2019). *Characterizing groundwater and surface-water interaction using hydrograph-separation techniques and groundwater-level data throughout the Mississippi Delta*. USA.
- Le Quesne, T., Pegram, G., & Heyden, C. V. D. (2007). *Allocating scarce water: a primer on water allocation, water rights and water markets*. WWF.
- Madani, K. (2010). *Game theory and water resources*. *Journal of Hydrology*, 381(3-4), 225-238.
- Majedi, H., Fathia, H., Nikbakht-Shahbazi, A., & Zohrabi, N. (2020). *Integrated surface and groundwater resources allocation simulation to evaluate effective factors on greenhouse gases production*. *Water Supply*, 20(2), 652-666. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2019.194>
- Manoel Filho, J. (2008). *Ocorrência das águas subterrâneas*. In F. A. C. Fernando (Org.), *Hidrogeologia: conceitos e aplicações* (pp. 53-91). Rio de Janeiro: CPPRM/LABHID.
- Mascarenhas, A. C. M. (2008). *Conflitos e gestão de águas: o caso da bacia hidrográfica do rio São Francisco* (Dissertação de mestrado). Universidade de Brasília.
- Mekong River Commission – MRC. (2020). *Understanding the 1995 mekong agreement and the five MRC procedures: a handbook*. Vientiane: MRC Secretariat. Recuperado em 29 de junho de 2020, de <http://www.mrcmekong.org/assets/Publications/95MA-Hb.pdf>
- Moreira, M. C. (2010). *Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande Barreiras* (80 p.). BA: Editora Gazeta Santa Cruz.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. (2020). *Avaliação do Comportamento das Séries Históricas de Afluências Naturais do SIN*. Alterações de Padrões Climáticos e Hidrológicos.
- Pedrosa, V. A. (2017). *Solução de conflitos pela água*. Recuperado em 29 de abril de 2018, de http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/download/centro-de-documentacao/relatorio_e_material_da_oficina_de_capacitacao_em_gestao_de_conflito_pelo_uso_da_Agua/Texto-Guia-Conflito-pelo-uso-da-aCC81gua.pdf
- Pereira, D. S. P., & Johnsson, R. M. F. (2005). Descentralização da gestão dos recursos hídricos em bacias nacionais no Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 2, 53-72.
- Pereira, S. B., Pruski, F. F., Silva, D. D., & Ramos, M. M. (2007). Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(6), 615-622.

- Pimentel, A. L., Aquino, R. F., Silva, R. C. A., & Vieira, C. M. B. (2000). *Estimativa da recarga do aquífero Urucuia na sub-bacia do rio das Fêmeas – Oeste da Bahia, utilizando separação de hidrogramas*. In *Anais do 1o. Congresso sobre aproveitamentos e Gestão de Recursos Hídricos em Países de Idioma Português* (pp. 27-37). Rio de Janeiro, 1,
- Rajeevana, U., & Mishra, B. K. (2020). *Sustainable management of the groundwater resource of Jaffna, Sri Lanka with the participation of households: Insights from a study on household water consumption and management*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100280>.
- Read, L., Madani, K., & Inanloo, B. (2014). Optimality versus stability in water resource allocation. *Journal of Environmental Management*, 133, 343-354.
- Rufino, A. C. S., Vieira, Z. M. C. L., & Ribeiro, M. R. (2006). *Análise de conflitos em bacias interestaduais*. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 3(1).
- Silva, L. M. C., & Monteiro, R. A. (2004). *Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens*.
- Sneddon, C., & Fox, C. (2007). Power, development, and institutional change: participatory governance in the lower Mekong basin. *World Development*, 35(12), 2161-2181.
- Swain, A. (2011). Challenges for water sharing in the Nile basin: changing geo-politics and changing climate. *Hydrological Sciences Journal*, 56(4), 687-702.
- Swain, A. (2015). *Water wars*. In: Wright J. D. (Ed.), *International encyclopedia of the social & behavioral sciences* (Vol. 25, 2nd ed., pp. 443-447). Oxford: Elsevier.
- Udall, B., & Overpeck, J. *The twenty-first century Colorado River hot drought and implications for the future*. (2017). Recuperado em 14 de julho de 2020, de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2016WR019638>
- Villar, P. C. (2016). *As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise*. *Ambiente & Sociedade*, 19(1), 83-102.
- Wang, X., Zhang, J., Shahid, S., Guan, E., Wu, Y., Gao, J., & He, R. (2016). *Adaptation to climate change impacts on water demand*. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(1), 81-99.
- Water Evaluation and Planning – WEAP. (2018). *Why WEAP?* Recuperado em 5 de outubro de 2020, de <http://www.weap21.org/index.asp?action=201>
- Zeinali, M., Azari, A., & Heidari, M. M. (2020). Simulating unsaturated zone of soil for estimating the recharge rate and flow exchange between a River and an Aquifer. *Water Resources Management*, 34, 425-433. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-019-02458-7>.

Contribuições dos autores:

Polyana Alcântara Galvão dos Reis: Simulação no modelo de rede de fluxo, análise de dados e resultados.

Andrea Sousa Fontes: Definição da metodologia de estudo, suporte na análise dos resultados e supervisão da pesquisa.

Yvonilde Dantas Pinto Medeiros: Suporte nas análises dos resultados e co-supervisão da pesquisa.