

**MARIA CAMILA ALVES RAMOS**

**MÉTODOS PARA OTIMIZAÇÃO DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS PELA  
AGRICULTURA IRRIGADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Fernando Falco Pruski

Coorientador: Eber José de Andrade Pinto

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R175m  
2020 Ramos, Maria Camila Alves, 1991-  
Métodos para otimização do uso dos recursos hídricos pela  
agricultura irrigada / Maria Camila Alves Ramos. – Viçosa, MG,  
2020.  
84 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Fernando Falco Pruski.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.78-84.

1. Irrigação agrícola. 2. Abastecimento de água. 3. Água -  
Uso. 4. Desenvolvimento de recursos hídricos - Planejamento.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.  
II. Título.

CDD 22 ed. 631.587

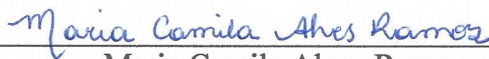
MARIA CAMILA ALVES RAMOS

**MÉTODOS PARA OTIMIZAÇÃO DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS PELA  
AGRICULTURA IRRIGADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2020.

Assentimento:



---

Maria Camila Alves Ramos

Autora



---

Fernando Falco Pruski

Orientador

*À minha família, meu amor maior.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos em mais esta etapa vencida e por colocar nesse caminho pessoas tão especiais.

Aos meus pais, Armindo e Maria, por todo o amor e por sempre e com satisfação abrirem mão de tantos desejos próprios em função dos meus.

À minha irmã Isabela, pelo amor, amizade e companheirismo em todos os momentos.

Ao Marcelo, por todo carinho, respeito e amor.

Ao professor Fernando Falco Pruski, pela orientação, ensinamentos, confiança, amizade e oportunidades concedidas.

Ao professor Eber José de Andrade Pinto, pelas correções e contribuições ao trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo afeto e suporte.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

À Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA), pela concessão de informações que auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa.

A Antônio Calazans Reis Miranda, Eber José de Andrade Pinto, Edson de Oliveira Vieira e Fernando Franca da Cunha pelo aceite a composição da banca de defesa e pelas contribuições ao trabalho.

A todos os integrantes do CRRH, em especial aos amigos Andressa, Arnaldo, Arthur T., Arthur K., Cássio, Clívia, Cristiane, Daniel, Felipe, Fernanda, Jéssica, José Rui, Josiane, Laisi, Leôncio, Lígia, Lucas, Marcel, Micael, Nívia, Priscila, Rafael I., Rafael P., Roberto, Robson e Tarcila, pelos adoráveis momentos de risos, gordices, ensinamentos e aprendizados compartilhados diariamente.

Aos integrantes da RBO, Laura, Rayssa, Luane e Magno, pela amizade e por tornarem a nossa república um verdadeiro lar.

À todos aqueles que, em maior ou menor proporção, fizeram parte de minha vida acadêmica e pessoal durante todos esses anos, dividindo bons e também maus momentos. Agradeço de todo coração!

*“Águas escuras dos rios  
Que levam a fertilidade ao sertão  
Águas que banham aldeias  
E matam a sede da população ”*

(Guilherme Arantes)

## RESUMO

RAMOS, Maria Camila Alves, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **Métodos para otimização do uso dos recursos hídricos pela agricultura irrigada.** Orientador: Fernando Falco Pruski. Coorientador: Eber José de Andrade Pinto.

A irrigação consiste em uma técnica fundamental para o incremento de produtividade nos sistemas agrícolas, desempenhando relevante papel na busca pela garantia de segurança alimentar de uma população mundial em crescimento. Entretanto, existe um grande desafio em conciliar a expansão das terras irrigadas e o uso racional dos recursos hídricos, sendo para isso necessária a implementação de políticas de planejamento e gestão fundamentadas em conhecimentos sólidos sobre onde, quando e o quanto é possível irrigar, bem como a adoção de medidas que permitam o melhor aproveitamento da água em condições de conflitos, os quais são cada vez mais frequentes. Diante desse contexto, o objetivo geral do presente estudo foi promover a otimização do uso da água pela agricultura irrigada. No primeiro capítulo, foi desenvolvida uma metodologia para avaliação do potencial de expansão da agricultura irrigada por meio da associação de áreas potencialmente irrigáveis às áreas já irrigadas. A proposta de estimativa de áreas potencialmente irrigáveis leva em consideração a disponibilidade hídrica anual a fio d'água e as demandas requeridas pela irrigação no hectare equivalente. A aplicação da metodologia permitiu a geração de resultados úteis para indicação tanto de possíveis áreas a serem exploradas com a implantação de novos sistemas de irrigação, quanto de posições em que a utilização dos sistemas já existentes supera a possibilidade de atendimento de todas as demandas hídricas, sendo necessárias avaliações mais detalhadas visando o equilíbrio entre ofertas e demandas. No segundo capítulo, é proposta uma metodologia para otimização do aproveitamento do uso da água na gestão compartilhada em condições de conflito. A metodologia tem como base a avaliação inicial da condição da disponibilidade hídrica na hidrografia em um plano legal, em que as vazões outorgadas considerando todos os usos são associadas à disponibilidade hídrica anual a fio d'água e, na sequência, para os trechos em que são observados conflitos, pela ocorrência de demandas superiores à disponibilidade, a aplicação do plano operacional. No plano operacional, as demandas são caracterizadas pelas vazões outorgadas considerando todos os usos, exceto os correspondentes às atividades de irrigação, que têm sua estimativa baseada nas vazões requeridas pelo hectare equivalente. Além disso, no plano operacional, as disponibilidades passam a ser consideradas em uma base mensal a fio d'água, e com a presença de reservatórios de regularização. A aplicação da metodologia indica a necessidade de maior conhecimento pelo órgão gestor acerca das reais captações

correspondentes às outorgas concedidas, das potencialidades da consideração das disponibilidades hídricas mínima mensal a fio d'água e potencial da bacia em condições de regularização, bem como da alteração de calendários de cultivo e uso da irrigação com déficit frente a condições de conflito pelo uso da água.

Palavras-chave: Hectare equivalente. Outorga. Disponibilidade hídrica. Planejamento e gestão de recursos hídricos. Uso racional da água.

## ABSTRACT

RAMOS, Maria Camila Alves, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2020. **Methods for optimizing the use of water resources by irrigated agriculture.** Adviser: Fernando Falco Pruski. Co-adviser: Eber José de Andrade Pinto.

Irrigation constitutes a fundamental technique for increasing yield in agricultural systems, playing a relevant role in the quest for ensuring the food security of a growing world population. However, there is a major challenge in conciliating the expansion of irrigated land and rational use of water resources, which requires the implementation of planning and management policies based on solid knowledge about where, when and how much one can irrigate, as well as the adoption of measures that enable a better water use under conditions of conflicts, which have been increasingly frequent. In this context, the general objective of this study was to promote the optimization of water use by irrigated agriculture. In the first chapter, a methodology was developed to evaluate the expansion potential of irrigated agriculture through the association of potentially irrigable areas and already irrigated areas. The proposal of estimation of potentially irrigable areas takes into account the annual run-of-river water availability and the demands required by irrigation in the equivalent hectare. The application of this methodology enabled the generation of useful results for indicating both possible areas to be exploited with the installation of new irrigation systems and positions at which the use of the already existing systems exceeds the possibility of meeting all the water demands, so more detailed evaluations are needed aiming at the balance between supplies and demands. In the second chapter, a methodology is proposed to optimize water use in shared management under conflict conditions. The methodology is based on the initial evaluation of the water availability condition in the hydrography in a legal plan, in which the granted flows considering all uses are associated with the annual run-of-river water availability and, in the sequence, for segments where conflicts are observed, through the occurrence of demands greater than the availability, the application of the operational plan. In the operational plan, the demands are characterized by the flows granted considering all uses, except those corresponding to irrigation activities, whose estimate is based on the flows required by the equivalent hectare. In addition, in the operational plan, the availabilities are considered on a monthly run-of-river basis and with the presence of flow-regulation reservoirs. The application of the methodology indicates the need for better knowledge by the management body about the actual abstractions corresponding to the granted permits, potentialities of considering the monthly run-of-river water availability and

potential water availability of the basin under regulated-flow conditions, as well as the alteration of cropping calendars and use of deficit irrigation under the conditions of conflict for water use.

Keywords: Equivalent hectare. Permit. Water availability. Planning and management of water resources. Rational water use.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$Ap_i$	área potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, considerando a disponibilidade hídrica anual a fio d'água e a vazão unitária requerida pelo hectare equivalente em cada trecho da área de drenagem considerada, ha
$Ap_{i\_Jan1^{a}Quinz.}$	área potencialmente irrigável na primeira quinzena do mês de janeiro, ha
$Ap_{i\_Jul1^{a}Quinz.}$	área potencialmente irrigável na primeira quinzena do mês de julho, ha
$Ap_{i\_Jul1^{a}Quinz.}$	área potencialmente irrigável na primeira quinzena do mês de julho, ha
$Arp_i$	área real potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, ha
$Arp_{i\_Jan1^{a}Quinz.}$	área real potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento na primeira quinzena do mês de janeiro, ha
$Arp_{i\_Jul1^{a}Quinz.}$	área real potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento na primeira quinzena do mês de julho, ha
$A$	área irrigada na área de drenagem de cada trecho da hidrografia, ha
$A_j$	área irrigada da cultura $j$ , ha
$Am$	máximo somatório das áreas irrigadas para todas as culturas de 1 a $j$ que estão em campo simultaneamente, ha
$dc_{FAO_1j}$	duração mínima do ciclo da cultura $j$ segundo a FAO, dias
$dc_{FAO_2j}$	duração máxima do ciclo da cultura $j$ segundo a FAO, dias
$dc_i$	duração do ciclo da cultura $j$ , dias
$de_{FAO_1ij}$	duração mínima do estágio de crescimento $i$ da cultura $j$ segundo a FAO, dias
$de_{FAO_2ij}$	duração máxima do estágio de crescimento $i$ da cultura $j$ segundo a FAO, dias

$de_{i,j}$	duração do estágio de crescimento $i$ da cultura $j$ , dias
$e_a$	pressão atual de vapor, kPa
$e_s$	pressão de vapor de saturação, kPa
$e_s - e_a$	déficit de pressão de vapor de saturação, kPa
$ET_{o,d}$	evapotranspiração de referência no dia $d$ , $\text{mm d}^{-1}$
$ET_{pc_{j,d}}$	evapotranspiração potencial da cultura $j$ no dia $d$ , $\text{mm d}^{-1}$
$ET_o$	evapotranspiração de referência, $\text{mm d}^{-1}$
$E_i$	eficiência de irrigação, adimensional
$F_A$	fator de área da cultura $j$ , adimensional
$F_b$	fator de bombeamento
$F_n$	fator de conversão de unidades, igual a 1/112,32, 1/129,60 e 1/138,24, para intervalos com 13, 15 e 16 dias, respectivamente, os quais foram denominados de forma genérica como “quinzenas”
$G$	densidade do fluxo de calor do solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$
$kc_{FAO_{1i}}$	coeficiente de cultivo mínimo para o estágio de crescimento $i$ da cultura $j$ segundo a FAO, adimensional
$kc_{FAO_{2i}}$	coeficiente de cultivo máximo para o estágio de crescimento $i$ da cultura $j$ segundo a FAO, adimensional
$kc_{i,j}$	coeficiente de cultivo para o estágio de crescimento $i$ da cultura $j$ , adimensional
$n$	número de valores da série de precipitação
$n_o$	número de valores iguais a zero na série de precipitação
$n_1$	número de valores maiores que zero na série de precipitação
NHFP	número de horas de bombeamento fora do horário de pico, $\text{horas dia}^{-1}$
$Pe_i$	potencial de expansão das áreas irrigadas considerando a disponibilidade hídrica anual a fio d'água (%)

$Pe_{i\_Jan1^{a}Quinz.}$	potencial de expansão das áreas irrigadas na primeira quinzena do mês de janeiro considerando a disponibilidade hídrica anual a fio d'água (%)
$Pe_{i\_Jul1^{a}Quinz.}$	potencial de expansão das áreas irrigadas na primeira quinzena do mês de julho considerando a disponibilidade hídrica anual a fio d'água (%)
$Peq_{750}$	vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração da precipitação de 750 mm para a formação das vazões.
$P_p$	precipitação provável associada a 80% de probabilidade de ocorrência, mm quinzena <sup>-1</sup>
$q_{u_j}$	vazão unitária requerida pela cultura j, L s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>
$q_{u_{he}}$	vazão unitária requerida pelo hectare equivalente, L s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>
$q_{u_{he\_Jan1^{a}Quinz.}}$	vazão unitária requerida pelo hectare equivalente na primeira quinzena do mês de janeiro, L s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>
$q_{u_{he\_Jul1^{a}Quinz.}}$	vazão unitária requerida pelo hectare equivalente na primeira quinzena do mês de julho, L s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>
$q_{u_A\_Jan1^{a}Quinz.}$	vazão unitária requerida pela cultura A na primeira quinzena do mês de janeiro, L s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>
$q_{u_B\_Jan1^{a}Quinz.}$	vazão unitária requerida pela cultura B na primeira quinzena do mês de janeiro, L s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>
$q_{u_B\_Jul1^{a}Quinz.}$	vazão unitária requerida pela cultura B na primeira quinzena do mês de julho, L s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>
$Q_{disp\_anual\_fd}$	disponibilidade hídrica anual a fio d'água no trecho, m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
$Q_{disp\_mensal\_fd}$	disponibilidade hídrica mensal a fio d'água no trecho, m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
$Q_{disp\_potencial}$	disponibilidade hídrica potencial no trecho, m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
$Q_{out}$	vazão outorgada acumulada considerando todos os setores usuários a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>

$Q_i$	vazão requerida pela irrigação acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, $m^3 s^{-1}$
$Q_{7,10}$	vazão mínima média de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos, $m^3 s^{-1}$
$Q_{90}$	vazão mínima com permanência de 90% no tempo, $m^3 s^{-1}$
$Q_{95}$	vazão mínima com permanência de 95% no tempo, $m^3 s^{-1}$
$Q_{mld}$	vazão média de longa duração, $m^3 s^{-1}$
$Q_{\min inc}$	vazão mínima incremental na área de drenagem de cada trecho da hidrografia, $L s^{-1}$
$Q_{out\_superficial}$ (irrigação)	vazão outorgada acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, captada a partir de fontes de captação superficiais com a finalidade uso para irrigação, $m^3 s^{-1}$
$Q_{out\_superficial}$ (outros)	vazão outorgada acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, captada a partir de fontes de captação superficiais com a finalidade de usos diversos, exceto irrigação, $m^3 s^{-1}$
$Q_{out\_subterrânea}$ (irrigação)	vazão outorgada acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, captada a partir de fontes de captação subterrâneas com a finalidade de uso para irrigação, $m^3 s^{-1}$
$Q_{out\_subterrânea}$ (outros)	vazão outorgada acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, captada a partir de fontes de captação subterrâneas com a finalidade de usos diversos, exceto irrigação, $m^3 s^{-1}$
$Q_{out\_inf.incompletas}$	vazão outorgada acumulada considerando todos os setores usuários a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, que apresentam informações incompletas quanto à fonte de captação e/ou tipo de uso, $m^3 s^{-1}$
Quinz.	quinzena
$R_n$	radiação líquida na superfície da cultura, $MJ m^{-2} d^{-1}$
T	temperatura média do ar diária a 2 m de altura, $^{\circ}C$
$U_2$	velocidade do vento a 2 m de altura, $m s^{-1}$

X	porcentagem da $Q_{\text{mín inc}}$ passível de outorga, adimensional
$X_i$	precipitação, mm
$\gamma$	constante psicrométrica, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$
$\Delta$	declividade da curva de pressão de vapor, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$
$\Delta\text{DH}$	condição legal de disponibilidade hídrica, %

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	17
CAPÍTULO I:.....	20
Metodologia para avaliação do potencial de expansão da agricultura irrigada.....	20
1 INTRODUÇÃO .....	20
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	21
2.1 Disponibilidade hídrica anual a fio d'água .....	21
2.2 Vazão unitária requerida pela irrigação .....	22
2.2.1 Precipitação provável.....	23
2.2.2 Evapotranspiração .....	24
2.2.3 Eficiência de irrigação .....	27
2.2.4 Vazão unitária requerida pela irrigação no hectare equivalente .....	28
2.3 Áreas potencialmente irrigáveis e áreas reais potencialmente irrigáveis.....	28
2.4 Potencial de expansão das áreas irrigadas.....	30
2.5 Exemplo de aplicação numérica.....	30
2.6 Estudo de caso: bacia do rio Grande .....	34
2.6.1 Caracterização da área de estudo .....	34
2.6.2 Disponibilidade hídrica anual a fio d'água .....	36
2.6.3 Dados hidrológicos utilizados.....	37
2.6.4 Área irrigada .....	38
2.6.5 Principais culturas irrigadas .....	38
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
3.1 Disponibilidade hídrica .....	40
3.2 Vazões unitárias requeridas pela irrigação.....	41
3.3 Áreas potencialmente irrigáveis e áreas reais potencialmente irrigáveis.....	47
3.4 Potencial de expansão das áreas irrigadas.....	50
4 CONCLUSÕES .....	52
CAPÍTULO II:.....	54
Metodologia para otimização do aproveitamento do uso da água na gestão compartilhada em condições de conflito .....	54
1 INTRODUÇÃO .....	54
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	56

2.1 Plano legal.....	57
2.1.1 Disponibilidade hídrica anual a fio d'água .....	57
2.1.2 Vazões outorgadas .....	57
2.1.3 Análise da condição legal de disponibilidade hídrica .....	58
2.2 Plano operacional .....	58
2.1.4 Disponibilidade hídrica mensal a fio d'água.....	59
2.1.5 Disponibilidade hídrica potencial .....	59
2.1.6 Vazão requerida pela irrigação.....	60
2.1.7 Análise da condição operacional de disponibilidade hídrica .....	61
2.3 Estudo de caso: bacia do rio Branco .....	61
2.3.1 Caracterização da área de estudo .....	61
2.3.2 Disponibilidade hídrica .....	62
2.3.3 Levantamento das vazões outorgadas .....	63
2.3.4 Vazão requerida pela irrigação.....	64
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
3.2 Análise da condição legal de disponibilidade hídrica .....	65
3.3 Análise da condição operacional de disponibilidade hídrica .....	66
4 CONCLUSÃO .....	76
CONCLUSÕES GERAIS .....	77
REFERÊNCIAS .....	78

## INTRODUÇÃO GERAL

Em 2017 a população mundial atingiu 7,6 bilhões de habitantes, sendo esperado até 2050 atingir 9,8 bilhões (UNDESA, 2017). De 2016 a 2017 o número de pessoas cronicamente inseguras e desnutridas no mundo passou de 804 milhões para 821 milhões (WWAP, 2019). Diante desses dados, a garantia da segurança alimentar se apresenta como um desafio, visto a necessidade de aumento da produção de alimentos (FAO, 2011a; WWAP, 2018; RODRIGUES; DOMINGUES, 2017), estimado em 60% até 2050 (WWAP, 2015).

Para atendimento dessas demandas, a produção agrícola terá que aumentar de forma acelerada, sendo necessária uma adequada intensificação do uso das terras já exploradas, baseando-se na preservação dos recursos naturais (FAO, 2011b). Estimativas indicam que a contínua degradação do meio ambiente e o uso irracional dos recursos hídricos podem implicar o comprometimento de 40% da produção global de grãos até 2050, com aumento da desigualdade social (UNITED NATION, 2018).

A adoção de técnicas de irrigação é um dos principais determinantes da produtividade da terra, pois permite o aumento da produtividade (RAPSOMANIKIS, 2015; FAO, 2011b) e, como consequência, a redução do preço dos alimentos (FAURÈS; SANTINI, 2008; ANA, 2012). Embora a relação entre o total de áreas irrigadas no mundo e a área plantada corresponda a cerca de 20%, essas áreas são responsáveis por aproximadamente 40% da produção agrícola mundial (WWAP, 2009; FAO, 2017).

Em regiões caracterizadas por expressivo déficit hídrico, a irrigação se apresenta como essencial para a produção agrícola (ANA, 2012), como é o caso de regiões áridas e semiáridas (ANA, 2017a). A agricultura irrigada gera riquezas e empregos e movimentada cadeias produtivas agropecuárias e agroindustriais (ANA, 2019a).

No contexto mundial, a irrigação responde por 70% das retiradas de água de fontes superficiais e subterrâneas (FAO, 2011b; HLPE, 2015; WADA et al., 2016). Embora a maior parte da água consumida pela agricultura retorne ao ciclo hidrológico, a sua disponibilização após o processo de evapotranspiração das plantas e do solo ocorre com certa variação espacial e temporal (ANA, 2017a).

Estima-se que até 2050 será necessário que as terras equipadas com irrigação expandam em 11%, enquanto as terras irrigadas colhidas, 17% (BRUINSMA, 2009). Entretanto, ressalta-se que considerável parcela dos sistemas de irrigação implantados opera abaixo do potencial, podendo atingir maior produtividade (FAO, 2011b). A inadequada aplicação de irrigação, além de desperdícios, pode afetar a qualidade dos solos e dos recursos

hídricos superficiais e subterrâneos, por meio de fertilizantes, corretivos e agrotóxicos (SETTI et al., 2000).

Diante da projeção de aumento da demanda hídrica mundial entre 20% e 33% até 2050 (BUREK et al., 2016), a busca por maior eficiência no uso da água e a execução de um melhor compartilhamento dos recursos hídricos disponíveis serão fundamentais para reduzir os impactos inerentes à escassez na biodiversidade e no bem-estar da sociedade (WWAP, 2019).

De acordo Burek et al. (2016), em meados de 2010, cerca de 1,9 bilhão de pessoas viviam em áreas de potencial escassez, e, em 2050, isso pode aumentar para cerca de 2,7 a 3,2 bilhões. Esses autores relatam ainda que, se a variabilidade mensal das demandas e oferta for levada em consideração, 3,6 bilhões de pessoas em todo o mundo já estão vivendo em áreas com potencial escassez de água em pelo menos um mês por ano, podendo aumentar para cerca de 4,8 a 5,7 bilhões em 2050.

Por ser a irrigação o principal segmento usuário de água, sobre ela recai também o maior potencial de racionalização do uso. A adequação do uso da água pela irrigação não está associada apenas ao aumento da eficiência dos sistemas de irrigação, mas, sobretudo, ao seu uso em locais em que a disponibilidade seja suficiente para suprir a demanda (PRUSKI, 2018). De acordo com FAO (2011b), a competição por água e a crescente escassez estão restringindo a disponibilidade de água para irrigação e a expansão de novas áreas irrigadas em determinadas regiões.

Burek et al. (2016) citam diversas alternativas de intervenção para abordar problemas de escassez, como a construção de estruturas de regularização de vazões, a adoção de tecnologias que promovam maior eficiência do uso da água na irrigação, planejamento e manejo dos recursos da bacia e conscientização dos usuários. Pruski (2018) também apresenta algumas medidas para otimização do uso da água em condições de restrição hídrica, como a utilização da irrigação com déficit, a adequação de calendário de cultivo e a consideração de vazões permissíveis para a outorga variáveis ao longo do ano.

Uma vez que as principais fronteiras agrícolas estão associadas a climas tropicais, segundo Laurence, Sayer e Cassman (2014), a proposição de melhorias nas tecnologias e políticas agrícolas é de grande importância no sentido de minimizar os fatores que ameaçam essas regiões, buscando o aumento do rendimento das culturas. O Brasil, com papel de destaque na produção agrícola mundial, tem, portanto, compromisso de estabelecer um modelo de produção sustentável (FAO, 2017).

Diante do exposto e dos diferentes objetivos a serem alcançados para otimização do uso da água na agricultura irrigada, optou-se por dividir a tese em dois capítulos.

O Capítulo I foi fundamentado na hipótese de que o adequado planejamento da expansão da irrigação deve levar em conta as demandas e a disponibilidade hídrica existentes na bacia. Assim, objetivou-se desenvolver uma metodologia para avaliação do potencial de expansão da agricultura irrigada.

O Capítulo II foi fundamentado na hipótese de que a adoção da disponibilidade hídrica mensal, bem como o planejamento de ações que possam promover o uso mais eficiente da água pela irrigação, podem atenuar ou até mesmo resolver conflitos pelo uso da água. Portanto, objetivou-se desenvolver uma metodologia para otimização do aproveitamento do uso da água na gestão compartilhada em condições de conflito.

## CAPÍTULO I:

### Metodologia para avaliação do potencial de expansão da agricultura irrigada

**RESUMO:** O conhecimento da disponibilidade hídrica ao longo da hidrografia é de grande importância no contexto do planejamento da implantação de sistemas de irrigação, uma vez que sua não consideração pode implicar desequilíbrios entre oferta e demanda de água, acarretando prejuízos ambientais, econômicos e sociais. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi desenvolver uma metodologia para avaliação do potencial de expansão da agricultura irrigada na busca pela otimização do uso da água por esse setor. A proposta baseia-se na associação de áreas potencialmente irrigáveis a áreas já irrigadas. A estimativa de áreas potencialmente irrigáveis leva em consideração a disponibilidade hídrica anual a fio d'água e as demandas requeridas pela irrigação no hectare equivalente. A aplicação da metodologia permitiu a geração de resultados úteis para indicação tanto de possíveis áreas a serem exploradas, quanto de posições em que a utilização dos sistemas já existentes supera a possibilidade de atendimento de todas as demandas hídricas, sendo necessárias avaliações mais detalhadas visando o equilíbrio entre ofertas e demandas.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento na produção de alimentos visando a garantia de segurança alimentar para uma população crescente e com número alarmante de pessoas em situação crítica quanto ao suprimento nutricional representa uma grande preocupação para a atual e as futuras gerações.

Entre as alternativas que permitem o incremento de produtividade, a irrigação é a mais eficaz (MONTE; PEREIRA; BARRANCO, 2019). A adoção de técnicas de irrigação permite que a produção não seja influenciada pelas incertezas espaciais e temporais das precipitações, podendo-se produzir em qualquer época do ano (RODRIGUES; DOMINGUES, 2017), aumentar a diversidade de culturas (FAO, 2017), obter mais ciclos de produção (SILVA, 2014), maior produtividade (RAPSOMANIKIS, 2015; FAO, 2011B; CHRISTOFIDIS, 2013), melhor qualidade dos produtos (OLIVEIRA; TALAMINI, 2010) e otimização de insumos e equipamentos (ANA, 2017a). A produtividade média obtida em áreas irrigadas no Brasil é pelo menos 2,7 vezes maior que com a agricultura de sequeiro (FAO, 2017).

No Brasil, de 1996 a 2016 a área irrigada cresceu de cerca de 2,7 milhões de hectares para 6,2 milhões (RODRIGUES; DOMINGUES, 2017). Atualmente são irrigados cerca de 7,3

milhões de hectares (ANA, 2018), com expectativa de atingir 10,09 milhões até 2030 (ANA, 2017a).

No âmbito nacional, o setor de irrigação é responsável pela maior proporção de demanda consuntiva, cerca de 67,2%, sendo seguida pelo abastecimento animal, industrial, urbano e rural, e pelos setores de mineração e termelétrico, com 11,1%, 9,5%, 8,8%, 2,4%, 0,8% e 0,3%, respectivamente (ANA, 2017b).

Embora o Brasil ocupe posição privilegiada em termos de disponibilidade hídrica para irrigação, sua distribuição é muito irregular (OLIVEIRA; TALAMINI 2010; MONTE; PEREIRA; BARRANCO, 2019; SETTI et al., 2000) e deve sempre ser levada em consideração, visando o atendimento das demandas e a minimização de conflitos com outros usuários (FAO, 2017). Para isso, é imprescindível o conhecimento da disponibilidade hídrica ao longo da hidrografia (MAMUN; HASHIM; DAOUD, 2010), com entendimento de sua distribuição espacial e temporal nos cursos d'água (WWAP, 2012). A consideração das vazões mínimas como apoio ao planejamento e gestão de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica é de grande importância, pois fornece subsídio para identificação de locais com potenciais fontes de captação sem negligenciar as necessidades dos usuários a jusante (WMO, 2008).

Nesse sentido, a associação das demandas pela irrigação à disponibilidade hídrica se apresenta como de grande relevância para a garantia de uma exploração agrícola sustentável. Partindo desse princípio, este estudo teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para avaliação do potencial de expansão da agricultura irrigada.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A metodologia de planejamento do uso da água pela irrigação tem como base a estimativa do potencial de uso da água por meio da associação de áreas potencialmente irrigáveis (dadas pela razão entre disponibilidade hídrica e vazões unitárias requeridas pela irrigação) a áreas já irrigadas.

### **2.1 Disponibilidade hídrica anual a fio d'água**

A disponibilidade hídrica anual a fio d'água de uma bacia hidrográfica é caracterizada pelas vazões mínimas. De acordo com Smakhtin (2001), as vazões mínimas são definidas como

um fenômeno sazonal que naturalmente compõe o regime de vazões e são derivadas das descargas de águas subterrâneas e fontes de armazenamento na superfície.

Segundo WMO (2008), existem diversas maneiras de analisar as vazões mínimas: com base em valores individuais, como uma constante de recessão, um índice de fluxo base ou a média de uma série; pela adoção de métodos estatísticos de probabilidade, com o uso da curva de permanência, que determina para dado valor de vazão a porcentagem de tempo com que esse será excedido, e pela análise de valores extremos, que, diferentemente do anterior, calcula a probabilidade de não excedência em anos ou intervalo médio em anos (período de retorno) quando os mínimos anuais estão abaixo de um determinado valor de vazão.

No Brasil, basicamente, as variáveis utilizadas para caracterização da vazão mínima são a  $Q_{7,10}$  (vazão mínima média de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos) e a  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  (vazões com permanência de 90% e 95% no tempo, respectivamente).

## 2.2 Vazão unitária requerida pela irrigação

O cálculo das vazões unitárias demandadas pela irrigação de cada cultura é realizado pela equação adaptada de IBIO e Funarbe (2013):

$$q_{u,j} = \left( \frac{(\sum_{d=1}^n ET_{pc,j,d}) - P_p}{E_i} \right) F_n \quad (1)$$

em que:

$q_{u,j}$  = vazão unitária requerida pela cultura  $j$ ,  $L s^{-1} ha^{-1}$ ;

$ET_{pc,j,d}$  = evapotranspiração potencial da cultura  $j$  no dia  $d$ ,  $mm d^{-1}$ ;

$P_p$  = precipitação provável associada a 80% de probabilidade de ocorrência,  $mm$  quinzena<sup>-1</sup>;

$E_i$  = eficiência de irrigação, adimensional;

$F_n$  = fator de conversão de unidades, igual a 1/112,32, 1/129,60 e 1/138,24, para intervalos com 13, 15 e 16 dias, respectivamente, os quais foram denominados de forma genérica como “quinzenas”.

Na presente proposta metodológica, a determinação das variáveis da equação é feita segundo metodologias descritas a seguir.

### 2.2.1 Precipitação provável

A precipitação provável faz referência à quantidade mínima de precipitação associada a determinada probabilidade de ocorrência e é definida como de fundamental importância para o planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação complementar (BERNARDO et al., 2019).

Para sua estimativa, faz-se uso de séries de precipitação correspondentes a totais quinzenais e a aplicação da Distribuição Gama, cujas funções densidade de probabilidade e cumulativa de probabilidade são dadas, respectivamente, por (ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996):

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma) \beta^\gamma} x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (2)$$

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma) \beta^\gamma} \int_0^x x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (3)$$

em que:  $\beta, \gamma > 0$  e  $0 > x$ , onde  $\Gamma(\gamma)$  é a função gama do parâmetro  $\gamma$ .

O método de inferência estatística utilizado na obtenção dos parâmetros de ajuste para a distribuição é o Método da Máxima Verossimilhança descrito por Thom (1966, citado por Assis, Arruda e Pereira, 1996):

$$\gamma = \frac{1}{4A} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\gamma} \quad (5)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - X_g \quad (6)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (7)$$

$$X_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Ln}(X_i) \quad (8)$$

em que:

$n$  = número de valores da série de precipitação; e

$X_i$  = precipitação, mm.

Previamente à estimativa dos parâmetros, recomenda-se realizar um tratamento nos valores da série, devendo os valores de  $X_i$  tal que  $0,5 \text{ mm} \leq X_i < 1 \text{ mm}$  serem considerados iguais a 1, e os valores de  $X_i$  tal que  $0 < X_i < 0,5 \text{ mm}$  serem considerados iguais a 0 (SAAD; FRIZZONE, 1998).

Na existência de séries com valores nulos, Assis, Arruda e Pereira (1996) propõem o uso de uma distribuição mista, na qual  $F(x)$  é a distribuição cumulativa teórica, onde os parâmetros são estimados na ausência de valores nulos.

$$M(x) = P_o + (1 - P_o) F(x) \quad (9)$$

$$P_o = \frac{n_o}{(n_o + n_1 + 1)} \quad (10)$$

em que:

$n_o$  = número de valores iguais a zero na série de precipitação; e

$n_1$  = número de valores maiores que zero na série de precipitação.

Para obtenção da precipitação provável, é considerada a probabilidade igual a 80%, conforme recomendam Bernardo et al. (2019) para uso em projetos de irrigação.

Visando a obtenção de mapas que possam caracterizar toda a bacia, os valores estimados de precipitação provável são interpolados pelo método do inverso do quadrado da distância.

### 2.2.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração de referência consiste na evapotranspiração de uma superfície de referência com uma cultura hipotética de altura igual a 0,12 m, uma resistência superficial fixa

em  $70 \text{ s m}^{-1}$  e albedo de 0,23, semelhante a uma superfície completamente coberta por grama verde e bem regada, de altura uniforme, crescendo ativamente e sem restrição hídrica (ALLEN et al., 1998).

Para essa estimativa, o método combinado de Penman-Monteith-FAO é utilizado pela aplicação da equação apresentada por Allen et al. (1998):

$$ET_o = \frac{0,480 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (11)$$

em que:

$ET_o$  = evapotranspiração de referência, mm  $d^{-1}$ ;

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor, kPa  $^{\circ}C^{-1}$ ;

$R_n$  = radiação líquida na superfície da cultura, MJ  $m^{-2} d^{-1}$ ;

$G$  = densidade do fluxo de calor do solo, MJ  $m^{-2} d^{-1}$ ;

$\gamma$  = constante psicrométrica, kPa  $^{\circ}C^{-1}$ ;

$T$  = temperatura média do ar diária a 2 m de altura,  $^{\circ}C$ ;

$U_2$  = velocidade do vento a 2 m de altura,  $ms^{-1}$ ;

$e_s$  = pressão de vapor de saturação, kPa;

$e_a$  = pressão atual de vapor, kPa; e

$e_s - e_a$  = déficit de pressão de vapor de saturação, kPa.

A aplicação dessa equação é realizada por meio do software *Reference Evapotranspiration Calculator* – RefEt 3.1.15 (ALLEN, 2013), em função do fornecimento de dados mensais de temperatura máxima e mínima, insolação, velocidade do vento e umidade relativa.

A partir dos valores estimados de evapotranspiração de referência, são obtidas médias mensais de longa duração, as quais são interpoladas pelo método do inverso do quadrado da distância, visando a obtenção de mapas que característicos de toda a bacia.

Para estimativa da evapotranspiração da cultura, são consideradas as principais culturas irrigadas na bacia de interesse e seus respectivos calendários de cultivo. Essas informações são obtidas, entre outras fontes, por meio de censos agropecuários e dados advindos de instituições vinculadas aos irrigantes.

Para obtenção dos coeficientes de cultivo, são utilizados os boletins FAO 33 (DOORENBONS e KASSAM, 1994) e FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

Tendo em vista o ajuste das magnitudes dos valores de duração de ciclo e coeficientes de cultivo apresentados na literatura e os praticados na bacia, são propostas as seguintes relações:

$$de_{i,j} = \frac{(dc_i - dc_{FAO_{1i}})(de_{FAO_{2ij}} - de_{FAO_{1ij}})}{(dc_{FAO_{2i}} - dc_{FAO_{1i}})} + de_{FAO_{1ij}} \quad (12)$$

em que:

$de_{i,j}$  = duração do estágio de crescimento  $i$  da cultura  $j$ , dias;

$dc_i$  = duração do ciclo da cultura  $j$ , dias;

$de_{FAO_{1ij}}$  = duração mínima do estágio de crescimento  $i$  da cultura  $j$  segundo a FAO, dias;

$de_{FAO_{2ij}}$  = duração máxima do estágio de crescimento  $i$  da cultura  $j$  segundo a FAO, dias;

$dc_{FAO_{1i}}$  = duração mínima do ciclo da cultura  $j$  segundo a FAO, dias; e

$dc_{FAO_{2i}}$  = duração máxima do ciclo da cultura  $j$  segundo a FAO, dias.

$$kc_{i,j} = \frac{(de_{i,j} - de_{FAO_{1ij}})(kc_{FAO_{2ij}} - kc_{FAO_{1ij}})}{(de_{FAO_{2ij}} - de_{FAO_{1ij}})} + kc_{FAO_{1ij}} \quad (13)$$

em que:

$kc_{i,j}$  = coeficiente de cultivo para o estágio de crescimento  $i$  da cultura  $j$ , adimensional;

$de_{FAO_{1ij}}$  = duração mínima do estágio de crescimento  $i$  da cultura  $j$  segundo a FAO, dias;

$de_{FAO_{2ij}}$  = duração máxima do estágio de crescimento  $i$  da cultura  $j$  segundo a FAO, dias;

$kc_{FAO_{1i}}$  = coeficiente de cultivo mínimo para o estágio de crescimento  $i$  e cultura  $j$  segundo a FAO, adimensional; e

$kc_{FAO_{2i}}$  = coeficiente de cultivo máximo para o estágio de crescimento  $i$  e cultura  $j$  segundo a FAO, adimensional.

A evapotranspiração potencial da cultura, que corresponde à evapotranspiração máxima da cultura durante suas diversas fases de desenvolvimento, é dada pela equação:

$$ET_{pc_{j,d}} = ET_{o_d} kc_{i,j} \quad (14)$$

em que:

$ET_{pc_{j,d}}$  = evapotranspiração potencial da cultura  $j$  no dia  $d$ ,  $mm\ d^{-1}$ ; e

$ET_{o_d}$  = evapotranspiração de referência no dia  $d$ ,  $mm\ d^{-1}$ .

$kc_{i,j}$  = coeficiente de cultivo para o estágio de crescimento  $i$  e cultura  $j$ , adimensional;

### 2.2.3 Eficiência de irrigação

A eficiência de irrigação ( $E_i$ ) é a relação entre a necessidade de irrigação e o que é captado para esse fim, incorporando, portanto, possíveis perdas na captação, condução e aplicação.

De acordo com a Nota Técnica nº 364/2007/GEOUT/SOF-ANA, citada por ANA (2013), as eficiências de irrigação mínimas recomendadas para os diversos sistemas de irrigação variam de 60% a 95% (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de eficiência de irrigação de acordo com o sistema adotado

Sistema de irrigação	Eficiência mínima (%)
Gotejamento	95
Microaspersão	90
Tubos perfurados	85
Subirrigação	60
Gotejamento subterrâneo - tubo poroso	95
Aspersão por sistema autopropelido	80
Aspersão por sistema convencional	80
Aspersão por sistema pivô central	85
Aspersão por sistema deslocamento linear	90
Aspersão por sistema pivô central com LEPA	95
Aspersão por sistema em malha	85
Sulcos abertos	65
Sulcos interligados em bacias	75
Sulcos fechados	75
Inundação	60

Fonte: Nota Técnica nº 364/2007/GEOUT/SOF-ANA, citada por ANA (2013).

### 2.2.4 Vazão unitária requerida pela irrigação no hectare equivalente

O hectare equivalente tem como objetivo traçar o perfil de consumo de água para irrigação ao longo do ano em uma região específica. A proposta se fundamenta em uma média ponderada que leva em consideração as áreas ocupadas e as vazões unitárias das principais culturas irrigadas, nas quais estão embutidas informações de calendários de cultivo e clima local, conforme equação:

$$q_{u\ he} = \sum_{i=1}^j (q_{u\ i} F_{A\ i}) \quad (15)$$

em que:

$q_{u\ he}$  = vazão unitária requerida pelo hectare equivalente,  $L\ s^{-1}\ ha^{-1}$ ; e

$F_A$  = fator de área da cultura j, adimensional.

$$F_A = \frac{A_j}{A_m} \quad (16)$$

em que:

$A_j$  = área irrigada da cultura j, ha; e

$A_m$  = máximo somatório das áreas irrigadas para todas as culturas de 1 a j que estão em campo simultaneamente, ha.

### 2.3 Áreas potencialmente irrigáveis e áreas reais potencialmente irrigáveis

As áreas potencialmente irrigáveis são estimadas considerando-se a disponibilidade hídrica anual a fio d'água e a vazão unitária requerida pelo hectare equivalente em cada trecho da hidrografia, e posteriormente acumuladas até a confluência com o próximo trecho na direção no escoamento.

$$A_{p_i} = \sum \frac{X Q_{\min\ inc}}{q_{u\ he} F_b} \quad (17)$$

em que:

$Ap_i$  = área potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, considerando a disponibilidade hídrica anual a fio d'água e a vazão unitária requerida pelo hectare equivalente em cada trecho da área de drenagem considerada, ha;

$Q_{\min inc}$  = vazão mínima incremental na área de drenagem de cada trecho da hidrografia,  $L s^{-1}$ ;

$X$  = porcentagem da  $Q_{\min inc}$  passível de outorga, adimensional;

$q_{u he}$  = vazão unitária requerida pelo hectare equivalente,  $L s^{-1} ha^{-1}$ ; e

$F_b$  = fator de bombeamento.

$$F_b = \frac{24}{NHFP} \quad (18)$$

em que:

NHFP = número de horas de bombeamento fora do horário de pico.

O termo trecho faz referência a cada segmento de hidrografia existente entre duas confluências consecutivas ou ao segmento que se estende da nascente do rio até a confluência imediatamente a jusante. O comprimento de cada trecho é dependente da escala da hidrografia considerada no estudo.

O termo incremental é utilizado para fazer referência à vazão de contribuição de cada trecho, a qual é obtida pela diferença entre o valor da vazão mínima ( $Q_{\min}$ ) no trecho de interesse e a do trecho imediatamente a montante. A disponibilidade hídrica considerada para cada trecho na presente metodologia pressupõe que toda a água disponível para a outorga seja destinada ao uso para atividades de irrigação.

As áreas reais potencialmente irrigáveis são obtidas a partir do produto das áreas potencialmente irrigáveis pelo somatório do fator área no período de interesse. Essa estimativa é de grande relevância, visto os calendários de cultivos apresentarem de modo geral um tempo com uso parcial dos sistemas de irrigação implantados, o que implica que parte das áreas potencialmente irrigáveis estimadas para esses meses esteja associada a áreas sem cultivo, ou ao menos sem uso da irrigação.

$$Arp_i = Ap_i \sum_{i=1}^j F_{Ai} \quad (19)$$

em que:

$Arp_i$  = área real potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, ha; e

$Ap_i$  = área potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, considerando a disponibilidade hídrica anual a fio d'água e a vazão unitária requerida pelo hectare equivalente em cada trecho da área de drenagem considerada, ha;

## 2.4 Potencial de expansão das áreas irrigadas

O potencial de expansão das áreas irrigadas é obtido por meio de uma relação que considera a área potencialmente irrigável e a área já irrigada na bacia.

$$Pe_i = \left( \frac{Ap_i - \sum Am}{Ap_i} \right) 100 \quad (20)$$

em que:

$Pe_i$  = potencial de expansão das áreas irrigadas considerando a disponibilidade hídrica anual a fio d'água (%);

$Am$  = máximo somatório das áreas irrigadas para todas as culturas de 1 a j que estão em campo simultaneamente, acumulado a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, ha; e

$Ap_i$  = área potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, considerando a disponibilidade hídrica anual a fio d'água e a vazão unitária requerida pelo hectare equivalente em cada trecho da área de drenagem considerada, ha;

## 2.5 Exemplo de aplicação numérica

Visando uma melhor compreensão dos conceitos das variáveis hectare equivalente, área potencialmente irrigável, área real potencialmente irrigável e potencial de expansão da área irrigada citados, apresenta-se na sequência um exemplo numérico de suas estimativas considerando-se uma situação hipotética para a primeira quinzena dos meses de janeiro e julho, para uma bacia em que há predominância das culturas irrigadas A e B. A cultura A é temporária

e está em campo durante os meses de janeiro a junho, e a cultura B, permanente, em campo ao longo de todo o ano, conforme ilustra calendário de cultivo apresentado na Figura 1.

	Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun		Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.
A	Cultura em campo																							
B	Cultura em campo																							

Legenda  
 Cultura em campo

Figura 1 - Calendário de cultivo hipotético considerado no exemplo.

Essas culturas têm sua ocupação, em termos percentuais em relação à área total irrigada, igual a 50%, conforme ilustrado na Figura 2.

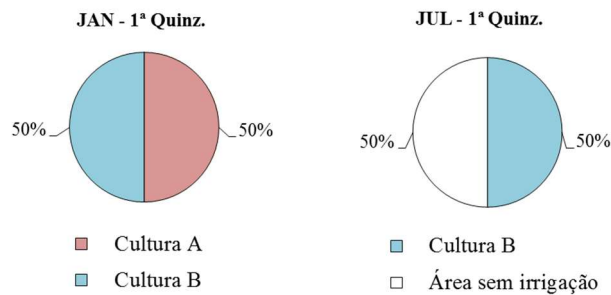


Figura 2 - Ocupação do calendário de cultivo hipotético considerado no exemplo para a primeira quinzena dos meses de janeiro e julho.

Sendo o fator de área  $F_A$  igual a 0,5 para ambas as culturas, as vazões unitárias requeridas pelo hectare equivalente na primeira quinzena dos meses de janeiro e julho são dados, respectivamente, por:

$$q_{u_{he\_Jan1^aQuinz}} = (q_{u_{A\_Jan1^aQuinz}} 0,5) + (q_{u_{B\_Jan1^aQuinz}} 0,5) \quad (21)$$

em que:

$q_{u_{he\_Jan1^aQuinz}}$  = vazão unitária requerida pelo hectare equivalente na primeira quinzena do mês de janeiro,  $L s^{-1} ha^{-1}$ ;

$q_{u_{A\_Jan1^aQuinz}}$  = vazão unitária requerida pela cultura A na primeira quinzena do mês de janeiro,  $L s^{-1} ha^{-1}$ ; e

$q_{u\ B\_Jan1^aQuinz}$  = vazão unitária requerida pela cultura B na primeira quinzena do mês de janeiro,  $L\ s^{-1}\ ha^{-1}$ .

$$q_{u\ he\_Jul1^aQuinz} = q_{u\ B\_Jan1^aQuinz} \cdot 0,5 \quad (22)$$

em que:

$q_{u\ he\_Jul1^aQuinz}$  = vazão unitária requerida pelo hectare equivalente na primeira quinzena do mês de julho,  $L\ s^{-1}\ ha^{-1}$ ; e

$q_{u\ B\_Jul1^aQuinz}$  = vazão unitária requerida pela cultura B na primeira quinzena do mês de julho,  $L\ s^{-1}\ ha^{-1}$ .

Sendo  $F_b$  o fator de bombeamento e  $X\ Q_{\min\ inc}$  a vazão mínima passível de outorga na hidrografia local, as áreas potencialmente irrigáveis na primeira quinzena dos meses de janeiro e julho são dados, respectivamente, por:

$$Ap_{i\_Jan1^aQuinz} = \sum \frac{X\ Q_{\min\ inc}}{q_{u\ he\_Jan1Q}\ F_b} \quad (23)$$

em que:

$Ap_{i\_Jan1^aQuinz}$  = área potencialmente irrigável na primeira quinzena do mês de janeiro, ha;

$q_{u\ he\_Jan1^aQuinz}$  = vazão unitária requerida pelo hectare equivalente na primeira quinzena do mês de janeiro,  $L\ s^{-1}\ ha^{-1}$ ;

$Q_{\min\ inc}$  = vazão mínima incremental na área de drenagem de cada trecho da hidrografia,  $L\ s^{-1}$ ; e  $X$  = porcentagem da  $Q_{\min\ inc}$  passível de outorga, adimensional.

$$Ap_{i\_Jul1^aQuinz} = \sum \frac{X\ Q_{\min\ inc}}{q_{u\ he\_Jul1^aQuinz}\ F_b} \quad (24)$$

em que:

$Ap_{i\_Jul1^aQuinz}$  = área potencialmente irrigável na primeira quinzena do mês de julho, ha;

$q_{u_{he\_Jul1^aQuinz}}$  = vazão unitária requerida pelo hectare equivalente da primeira quinzena do mês de julho,  $L s^{-1} ha^{-1}$ ;

$Q_{mín\ inc}$  = vazão mínima incremental na área de drenagem de cada trecho da hidrografia,  $L s^{-1}$ ;

e  $X$  = porcentagem da  $Q_{mín\ inc}$  passível de outorga, adimensional.

De acordo com o calendário de cultivo característico da bacia, durante o mês de janeiro as culturas A e B estão em campo e a área irrigada encontra-se plenamente ocupada. Assim, a área real potencialmente irrigável é dada por:

$$Arp_{i\_Jan1^aQuinz} = Ap_{i\_Jan1^aQuinz} (0,5 + 0,5) \quad (25)$$

em que:

$Arp_{i\_Jan1^aQuinz}$  = área real potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento na primeira quinzena do mês de janeiro, ha; e

$Ap_{i\_Jan1^aQuinz}$  = área potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento na primeira quinzena do mês de janeiro, ha.

Nos períodos em que o somatório do fator de área é igual à unidade, a área real potencialmente irrigável é igual à área potencialmente irrigável. Nesse período, conforme fator de área de cada cultura, há disponibilidade hídrica para atender o cultivo de  $0,5Arp_{i\_Jan1^aQuinz}$  ha da cultura A e  $0,5Arp_{i\_Jan1^aQuinz}$  ha da cultura B.

Diferentemente do mês de janeiro, no mês de julho apenas a cultura B está em campo, ocupando 0,5% da área total equipada com sistemas de irrigação. Nessa quinzena, a área real potencialmente irrigável é dada por:

$$Arp_{i\_Jul1^aQuinz} = Ap_{i\_Jul1^aQuinz} 0,5 \quad (26)$$

em que:

$Arp_{i\_Jul1^aQuinz}$  = área real potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento na primeira quinzena do mês de julho, ha; e

$Ap_{i\_Jul1^aQuinz}$  = área potencialmente irrigável acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento na primeira quinzena do mês de julho, ha.

Nesse período, o somatório do fator de área é igual a 0,5, e implica que a área real potencialmente irrigável seja diferente da área potencialmente irrigável. Conforme fator de área da cultura em campo, há disponibilidade hídrica para atender o cultivo de  $0,5Ap_{i\_Jul1^aQuinz}$  ha da cultura B, enquanto  $0,5Ap_{i\_Jan1^aQuinz}$  ha corresponde a proporção das áreas sem cultivo irrigado.

Sendo  $Am$  o máximo somatório das áreas irrigadas para as culturas A e B em campo simultaneamente, acumulado a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, o potencial de expansão das áreas irrigadas na primeira quinzena dos meses de janeiro e julho são dados, respectivamente, por:

$$Pe_{i\_Jan1^aQuinz} = \left( \frac{Ap_{i\_Jan1^aQuinz} - \sum Am}{Ap_{i\_Jan1^aQuinz}} \right) 100 \quad (27)$$

em que:

$Pe_{i\_Jan1^aQuinz}$  = potencial de expansão das áreas irrigadas na primeira quinzena do mês de janeiro considerando a disponibilidade hídrica anual a fio d'água (%);

$Ap_{i\_Jan1^aQuinz}$  = área potencialmente irrigável na primeira quinzena do mês de janeiro, ha.

$$Pe_{i\_Jul1^aQuinz} = \left( \frac{Ap_{i\_Jul1^aQuinz} - \sum Am}{Ap_{i\_Jul1^aQuinz}} \right) 100 \quad (28)$$

em que:

$Pe_{i\_Jul1^aQuinz}$  = potencial de expansão das áreas irrigadas na primeira quinzena do mês de julho considerando a disponibilidade hídrica anual a fio d'água (%);

$Ap_{i\_Jul1^aQuinz}$  = área potencialmente irrigável na primeira quinzena do mês de julho, ha.

## 2.6 Estudo de caso: bacia do rio Grande

### 2.6.1 Caracterização da área de estudo

A bacia do rio Grande está localizada no Oeste do Estado da Bahia, entre as coordenadas geográficas  $10^{\circ}10'$  e  $13^{\circ}20'S$  de latitude e  $43^{\circ}08'$  e  $46^{\circ}37'O$  de longitude (Figura 3), representando 13,2% da área do Estado, sendo limitada ao norte pelo Estado do Piauí; ao

sul, pela bacia do rio Corrente; a oeste, pelos Estados de Goiás e Tocantins; e a leste, pelas bacias do médio São Francisco.

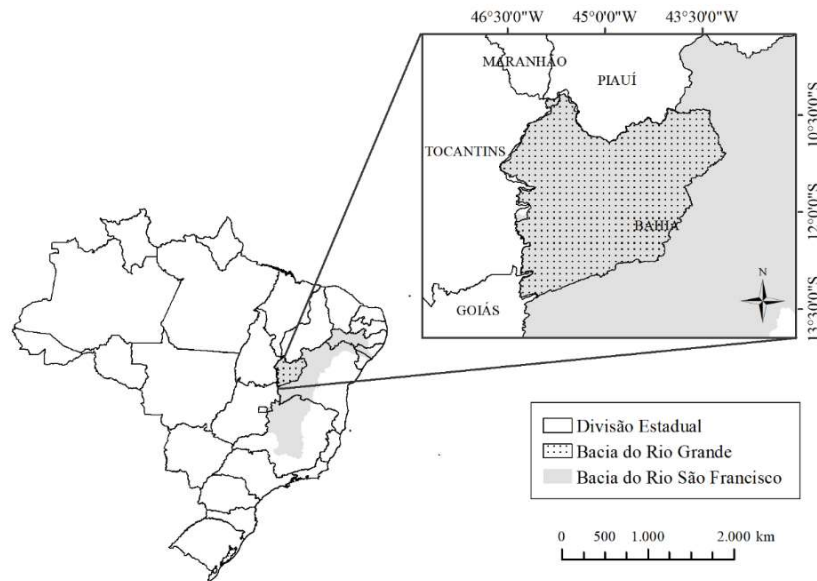


Figura 3 - Localização geográfica da bacia do rio Grande.

A bacia do rio Grande possui uma área de aproximadamente 77.967 km<sup>2</sup>, dos quais 55,6% pertencem as quatro maiores sub-bacias da margem esquerda do rio Grande: rio Preto, rio Branco, rio de Ondas e rio das Fêmeas (Figura 4).

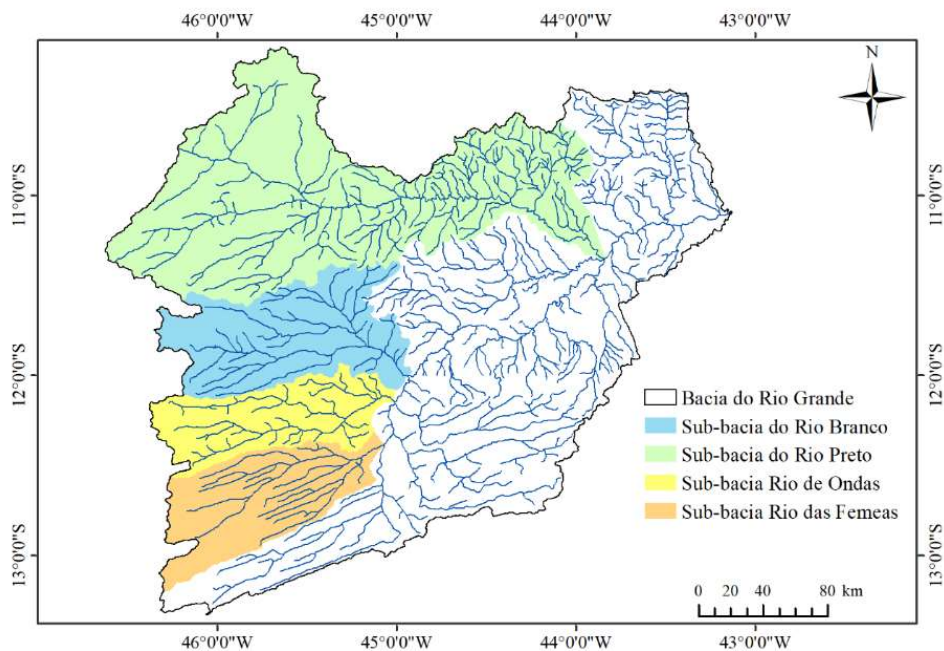


Figura 4 - Maiores sub-bacias dos afluentes da margem esquerda do rio Grande.

A região do Oeste da Bahia possui clima classificado como tropical, tipo Aw, segundo Köppen, com inverno seco e verão chuvoso (GASPAR, 2006). Na bacia do rio Grande o comportamento pluviométrico é bastante heterogêneo, com regiões onde as chuvas podem superar os 1.850 mm por ano e outras em que esses índices não chegam a 800 mm, com distribuição irregular ao longo do ano.

O clima favorável e o relevo plano, somada à presença de rios perenes e volumosos, favoreceram o surgimento e expansão de lavouras com e sem uso de irrigação, caracterizando a região como de destaque na produção de grãos (SILVA; PAIVA, 2018). A região concentra um dos maiores e mais tradicionais polos de irrigação por pivôs centrais do País (ANA, 2019a), com forte perspectiva de expansão abastecida por sistemas superficiais e subterrâneos, estes provenientes do aquífero Urucuia (ANA, 2017a).

### 2.6.2 Disponibilidade hídrica anual a fio d'água

A disponibilidade hídrica anual a fio d'água na bacia do rio Grande foi caracterizada pelo percentual de 80% da vazão mínima associada à permanência de 90% no tempo ( $Q_{90}$ ), considerada por ser a vazão de referência utilizada para concessão de outorgas pela legislação do Estado da Bahia, no qual a bacia do rio Grande está localizada.

A  $Q_{90}$  foi obtida pela equação de regionalização gerada no “Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas Bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha” disponível no software SIHBA-Oeste (SOUSA, 2018), e é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Equação utilizada para a regionalização das  $Q_{90}$  na área de estudo

Equação	
$Q_{90}$	$Q_{90} = 0,4674 Peq_{750}^{0,9284}$

$Peq_{750}$  é a vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração da precipitação de 750 mm para a formação das vazões.

### 2.6.3 Dados hidrológicos utilizados

Para caracterizar o comportamento da área de estudo, foram utilizados dados históricos de 87 estações pluviométricas, pertencentes à rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas (ANA), e dados de 11 estações climatológicas, disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), referente à rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O período base adotado foi de 40 anos, de 1976 a 2015, com descarte dos anos que apresentaram mais de 5% de falhas nas estações pluviométricas. Nas estações climatológicas, foram descartados todos os meses da série que apresentaram falhas em ao menos uma das cinco variáveis usadas no estudo. Na Figura 5 é apresentada a localização geográfica de todas as estações pluviométricas e climatológicas consideradas no estudo.

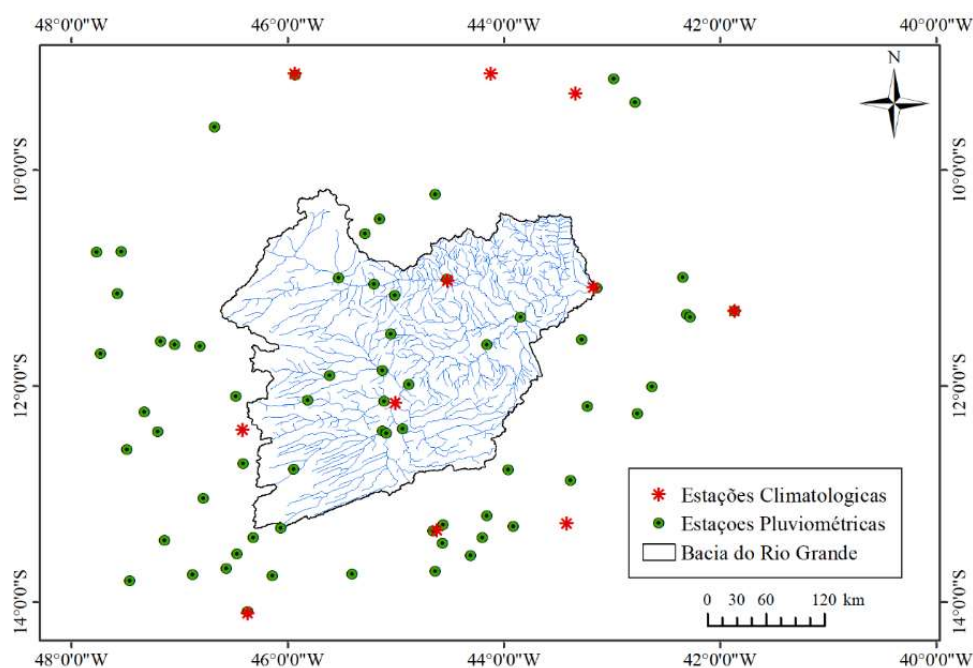


Figura 5 - Localização das estações climatológicas e pluviométricas utilizadas no estudo.

## 2.6.4 Área irrigada

A área irrigada ao longo da bacia do rio Grande foi obtida por ANA (2019a), no “Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil”. A associação da área irrigada como pertencente a determinada área de drenagem foi feita tendo como base a localização do centroide de cada pivô central. Esse critério foi adotado como uma alternativa ao processo de identificação do efetivo ponto de captação de cada área irrigada, dada a sua complexidade de execução na escala de bacia hidrográfica. Além disso, não foi considerada a diferenciação de área irrigada com relação ao manancial de captação, sendo o total contabilizado como proveniente da disponibilidade hídrica superficial.

## 2.6.5 Principais culturas irrigadas

Na região Oeste da Bahia as áreas irrigadas de cultivo de café e das rotações entre soja e algodão, soja e milho, e milho e feijão são as de maior destaque em termos de extensão territorial. Essas informações e dados referentes às épocas de semeadura e às durações médias dos ciclos foram obtidas segundo informação verbal<sup>1</sup>, e reunidas permitiram o estabelecimento de um calendário de cultivo genérico para a região (Figura 6). Esse calendário é dividido em quatro rotações, as quais têm sua ocupação em termos percentuais em relação à área total das principais culturas irrigadas, conforme ilustrado na Figura 7.

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.	1ª Quinz.	2ª Quinz.
I	soja				algodão							
II	soja				milho				milho			
III	milho				milho				feijão			
IV	café											

Legenda

 Cultura em campo

Figura 6 - Calendário de cultivo genérico para a área de estudo.

<sup>1</sup> Reunião na Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia, em 27/02/2018.

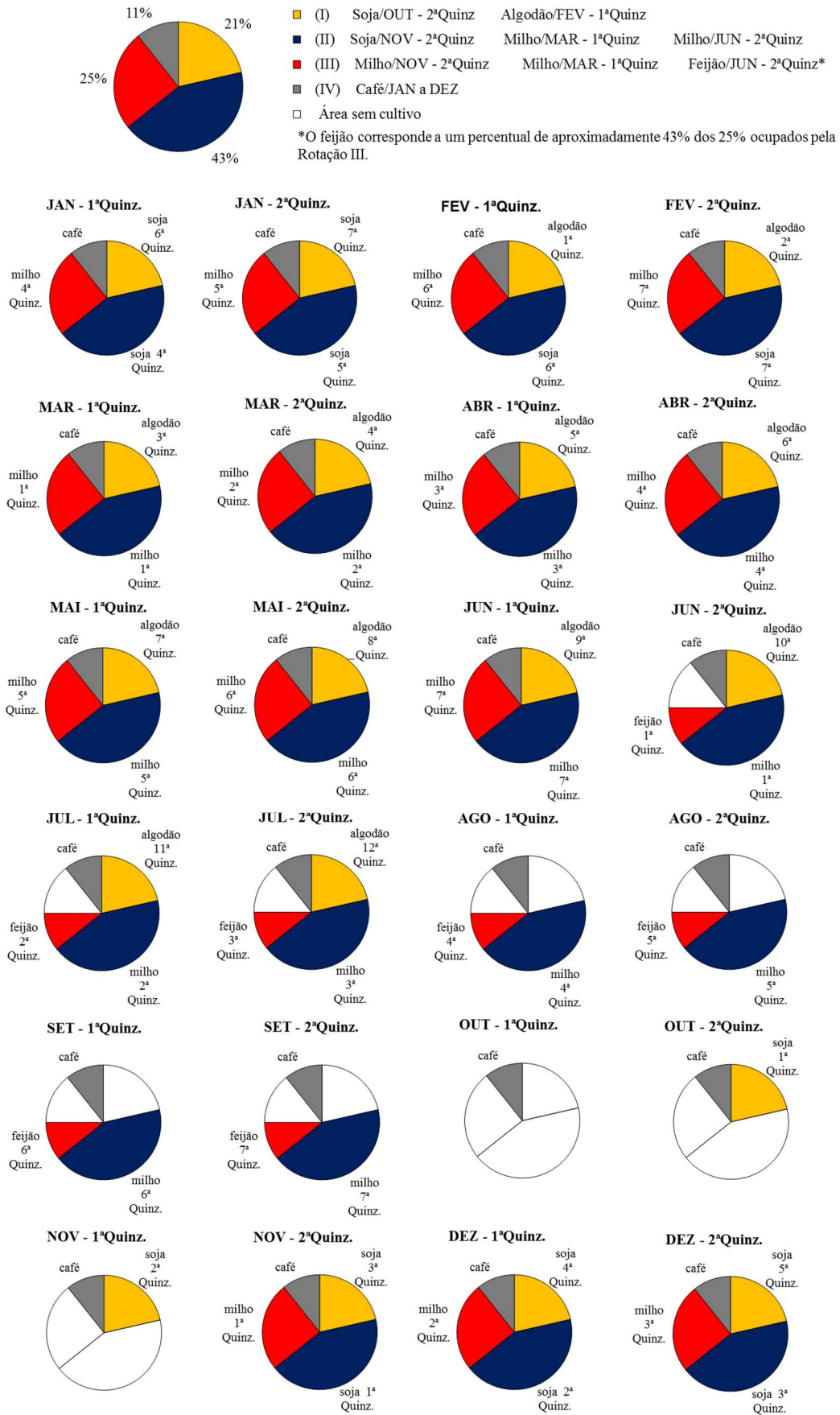
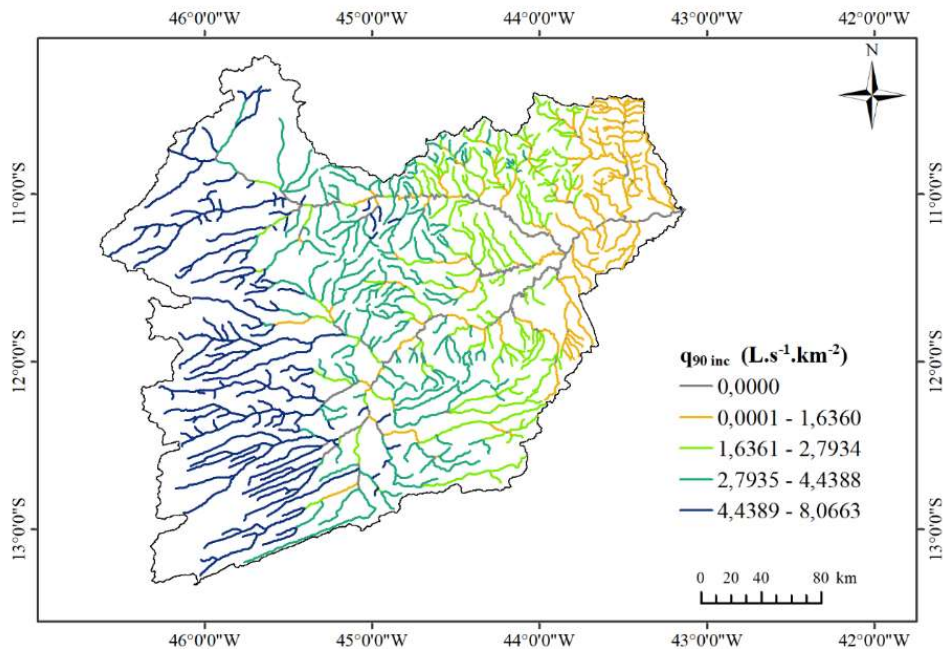


Figura 7 - Ocupação do calendário de cultivo genérico na área de estudo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Disponibilidade hídrica

Na Figura 8 é apresentada a espacialização das vazões  $q_{90inc}$  para cada trecho da hidrografia a partir das equações do estudo de regionalização considerado para caracterizar a disponibilidade hídrica da bacia do rio Grande. Os resultados são apresentados em termos de vazões específicas, visando permitir melhor visualização da variação do potencial hídrico ao longo da bacia. As vazões específicas estão divididas em quartis, sendo os valores nulos alocados em classe separada.

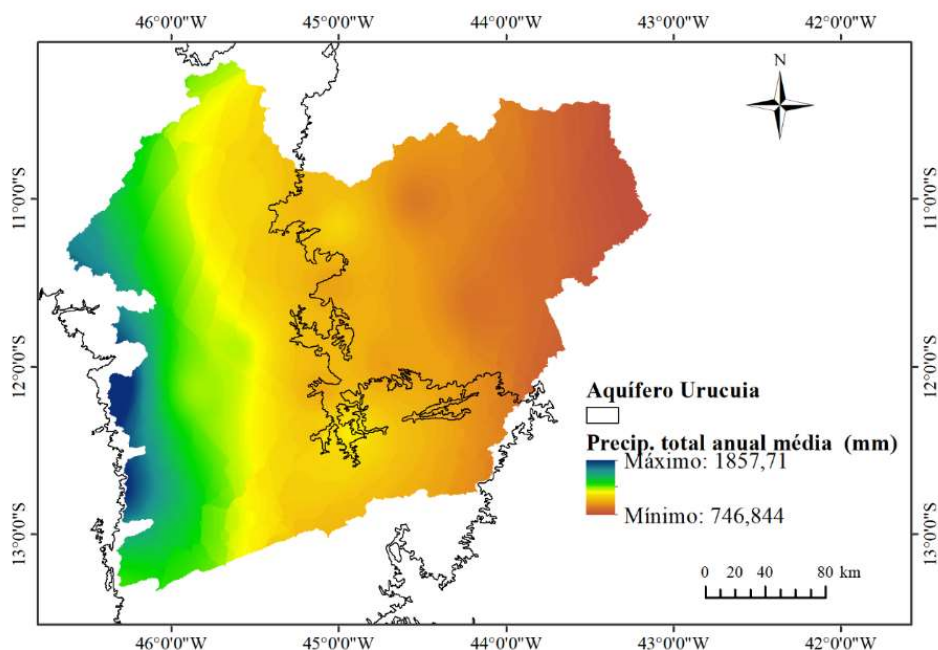


Figuras 8 - Espacialização da  $q_{90inc}$  para cada trecho da hidrografia da bacia do rio Grande.

Os valores nulos correspondem a vazões incrementais negativas obtidas na espacialização das equações de regionalização para alguns trechos; por estas serem fisicamente incoerentes, foram associadas ao valor zero. Essa limitação, denominada descontinuidade, consiste no fato de a soma das vazões imediatamente a montante de determinado trecho ser superior ao valor da vazão no trecho, podendo ser resultante da aplicação do método tradicional de regionalização com base em regressões não lineares (RODRIGUEZ, 2008), do uso consuntivo dos recursos hídricos, ou, ainda, devido a características hidrogeológicas.

A  $q_{90\text{ inc}}$  variou em 75% dos trechos de 0,0341 a 4,4388 L s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>, e nos demais 25% dos trechos alcançou valores até 8,0662 L s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>.

Evidencia-se que as vazões incrementais específicas relativas a  $Q_{90}$  apresentam tendência de redução de oeste em direção à leste. Esse fato é um reflexo da formação hidrogeológica e da distribuição da precipitação na bacia, ambas mostradas na Figura 9.



Figuras 9 - Distribuição da precipitação total anual média na bacia do rio Grande e localização do Aquífero Urucua.

A porção oeste da bacia do rio Grande está inserida no Sistema Aquífero Urucua, composto pelos arenitos fluvioeólicos neocretáceos do Grupo Urucua, responsável por uma forte contribuição para o fluxo de base nos períodos de estiagem (GONÇALVES; CHANG, 2017). O mapa de precipitação apresenta gradual redução dos totais de chuva no sentido oeste para leste da bacia, o que corrobora o descrito por Gaspar (2006).

### 3.2 Vazões unitárias requeridas pela irrigação

Os resultados referentes às vazões unitárias requeridas pela irrigação são apresentados considerando toda a área de estudo, enquanto os correspondentes às áreas potencialmente irrigáveis, às áreas reais potencialmente irrigáveis e ao potencial de expansão de uso da água pela irrigação são apresentados com ênfase na foz do rio Grande e de quatro dos seus maiores

afluentes da margem esquerda (rio Preto, rio Branco, rio de Ondas e rio das Fêmeas). Em razão do grande número de imagens geradas no estudo, optou-se por apresentar apenas duas quinzenas ao longo do ano, representativas da primeira metade dos meses de maio e setembro. O mês de maio foi escolhido por caracterizar um dos períodos de máxima ocupação da área irrigada na região associado a fases de desenvolvimento de grande demanda hídrica. O mês de setembro, embora possua expressiva redução das áreas irrigadas, apresenta um dos maiores déficits hídricos do ano e é coincidente com o período de menor disponibilidade hídrica na hidrografia.

Na Figura 10 são apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as rotações e para o hectare equivalente, ambos na primeira quinzena do mês de maio. No calendário de cultivo considerado, as rotações II e III apresentam cultivo de milho na mesma fase de crescimento no mês de maio, e, portanto, estas foram representadas por uma única figura.

De modo geral, observou-se que há incremento de vazão unitária requerida pela irrigação crescente do sentido oeste para leste na bacia do rio Grande. Analisando as variáveis envolvidas no balanço hídrico dessa estimativa, pôde-se inferir que esse comportamento se justifica prioritariamente pela distribuição espacial evapotranspiração na bacia, a qual apresenta valores crescentes no sentido oeste para leste.

Observa-se, para os cultivos em campo durante esse período, que a demanda mais crítica em termos de quantidade de água requerida é a do algodão, cerca 13,0% e 8,0% maior que as médias obtidas para o milho e café, respectivamente. Embora o algodão e o milho estejam no mesmo estágio de crescimento, o coeficiente de cultivo do primeiro é 7,3% maior que o do segundo. O café é o que menos requer irrigação nesse momento, visto ele ter sido estimado com menor coeficiente comparado às duas outras culturas.

O hectare equivalente estimado para a primeira quinzena do mês de maio apresenta um intervalo de variação próximo do observado para todos os cultivos, tendendo a uma maior aproximação com a cultura do milho, uma vez que o fator peso associado à sua estimativa, que tem como base a área irrigada por cada cultura, é maior em relação ao algodão e café.

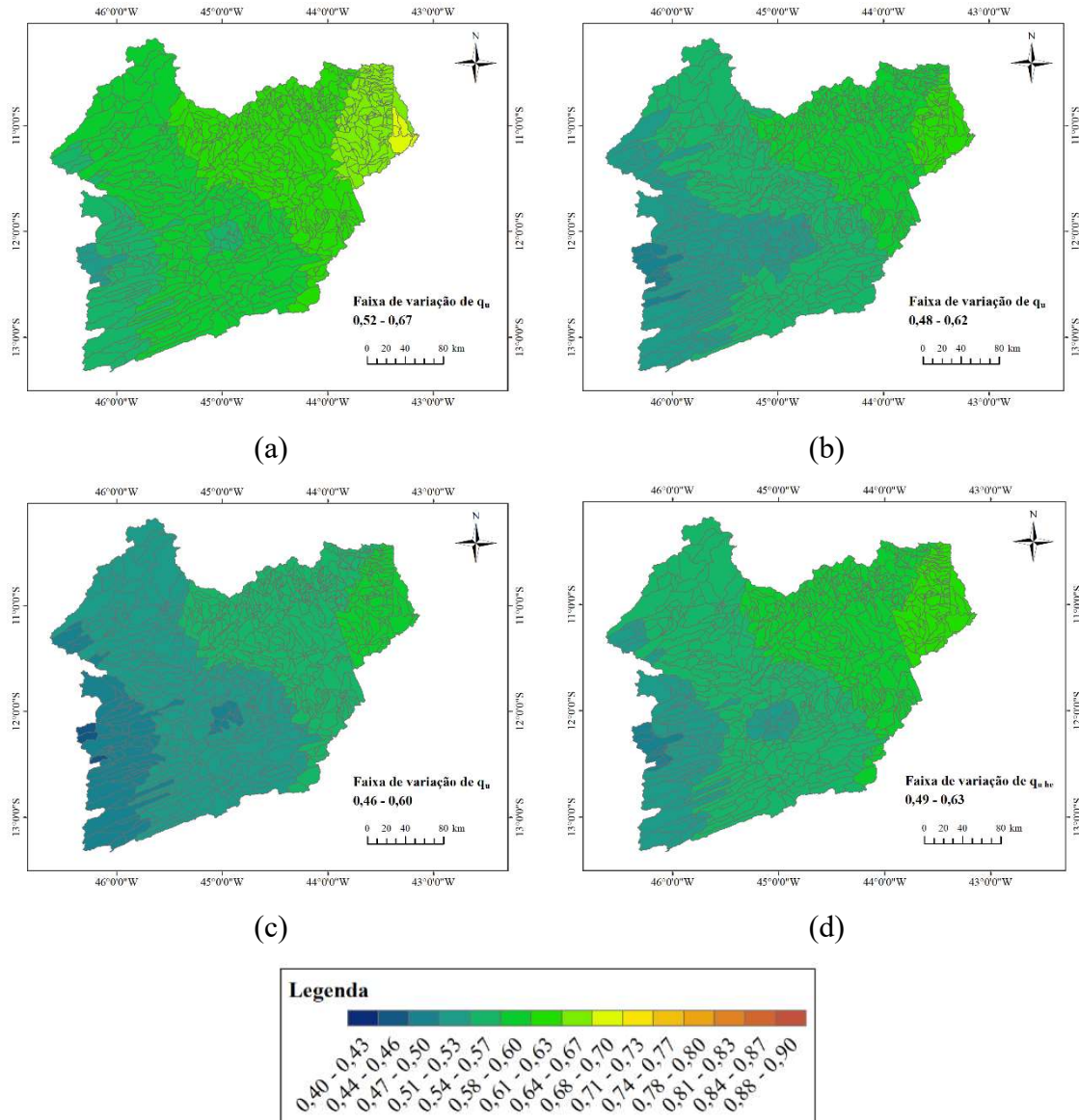


Figura 10 - Vazões unitárias requeridas pela irrigação em  $L s^{-1} ha^{-1}$  na primeira quinzena do mês de maio para a rotação I - algodão na 7<sup>a</sup> quinzena e estágio de crescimento intermediário (a), para as rotações II e III - milho na 5<sup>a</sup> quinzena e estágio de crescimento intermediário (b), para a rotação IV - cultura do café (c) e para o hectare equivalente (d).

Na Figura 11 são apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as rotações e para o hectare equivalente na primeira quinzena do mês de setembro. Uma vez que para a rotação I o calendário de cultivo considerado não caracteriza cultivos em campo nesse período, devido ao algodão já ter sido colhido e a soja ainda não ter sido semeada, não há demandas pela irrigação a serem apresentadas.

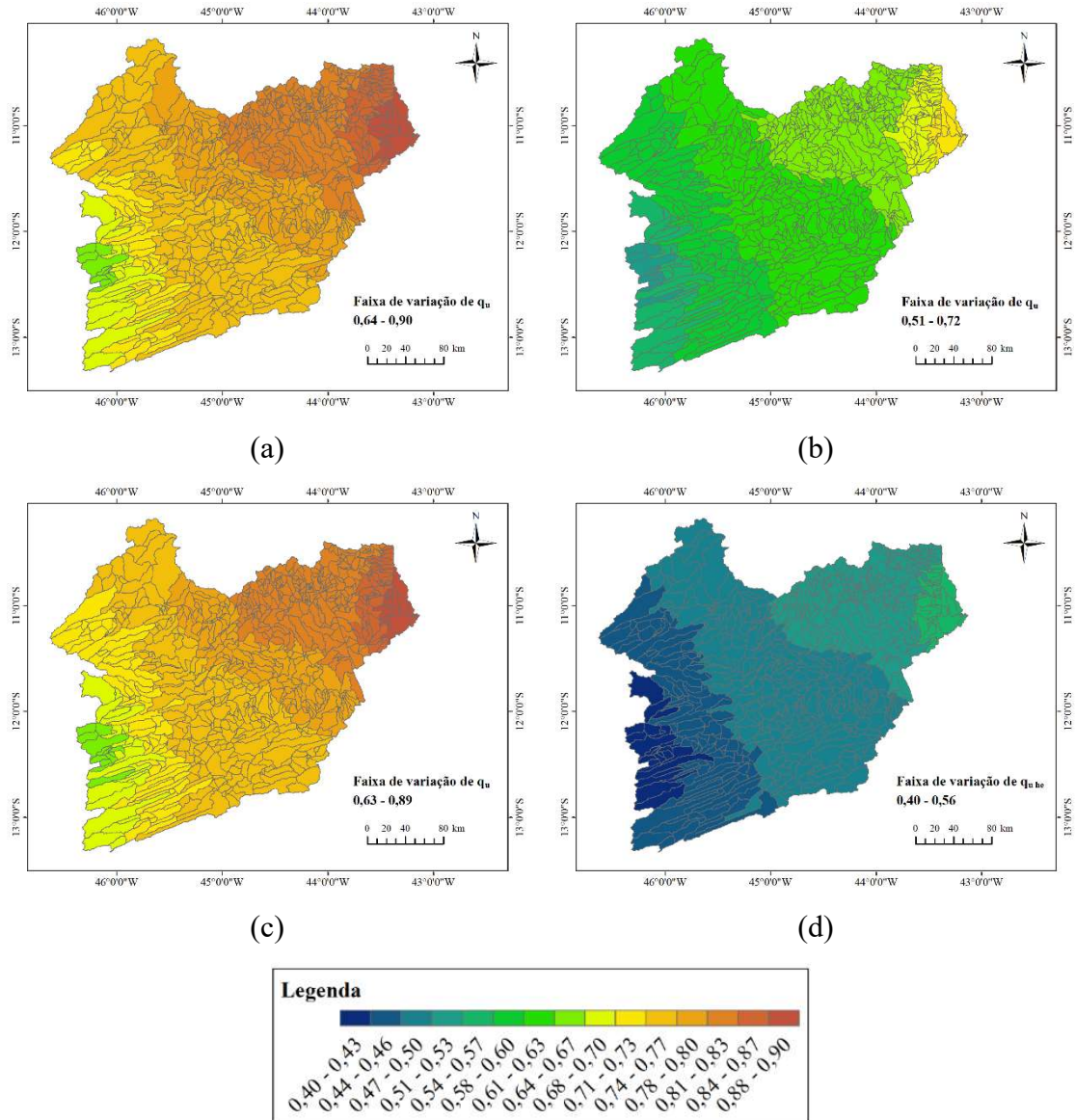


Figura 11 - Vazões unitárias requeridas pela irrigação em  $L s^{-1} ha^{-1}$  na primeira quinzena do mês de setembro para a rotação II - milho na 6<sup>a</sup> quinzena e transição entre os estágios de crescimento intermediário e final (a), para a rotação III - feijão na 6<sup>a</sup> quinzena e transição entre os estágios de crescimento intermediário e final (b), para a rotação IV - cultura do café (c) e para o hectare equivalente (d).

Observa-se, para as demandas estimadas na primeira metade do mês de setembro, que, embora haja uma nítida variação quantitativa em relação ao evidenciado em maio, é mantido o comportamento de redução das demandas de oeste para leste da bacia.

A análise comparativa das vazões requeridas pela irrigação durante esse período mostra que as maiores demandas estão associadas à cultura do milho e, na sequência, o café e, posteriormente, com um maior distanciamento entre as demais, o feijão, 20,5% menor que a primeira. Apesar de no calendário de cultivo considerado o milho e feijão apresentarem o mesmo número de dias após semeadura e a mesma duração total do ciclo, há variações na duração dos estágios de crescimento. O feijão apresenta o valor de coeficiente de cultivo para o estágio intermediário superior ao do milho; entretanto, na primeira quinzena do mês de setembro, ele possui maior número de dias associado ao coeficiente de cultivo do estágio final, o que implica redução da evapotranspiração da cultura durante esse período.

O hectare equivalente correspondente a setembro apresentou valores bastante discrepantes das demandas estimadas para as culturas em campo. Embora nesse período sejam observados os maiores déficits hídricos e, como consequência, as maiores vazões unitárias requeridas, de acordo o calendário de cultivo considerado, as áreas irrigadas correspondem a apenas cerca de 64,3% do total observado para maio. Em função disso, o somatório do fator área não é correspondente à unidade, o que implica redução do valor do hectare equivalente.

Nas Figuras 10b e 11a a demanda do milho encontra-se em diferentes fases de crescimento, porém 87% dos dias na primeira quinzena de setembro possuem o mesmo coeficiente de cultivo que a primeira quinzena de maio. Apesar disso, na Figura 11a evidencia-se uma nítida mudança na distribuição das cores nos mapas, com deslocamento para a direção direita da legenda. Isso ressalta que a necessidade de água no mês de setembro se mostrou expressivamente maior que em maio para a cultura do milho (em média, cerca de 40,9%), o que ocorre devido ao aumento do déficit hídrico. Esse fato se confirma com a análise da relação entre evapotranspiração potencial e precipitação provável apresentada na Figura 12. Na primeira quinzena do mês de maio a evapotranspiração é em média 20,4 vezes maior que a precipitação, enquanto que na primeira quinzena de setembro esse valor corresponde em média 51,5 vezes.

Nas Figuras 10c e 11c, a demanda do café foi estimada com base em um valor de coeficiente de cultivo único ao longo de todo o ano, porém observa-se, assim como para o milho, nítida variação na distribuição das cores nos mapas do mês de maio para setembro, com incremento médio de vazões requeridas de cerca de 45,8% em função da sazonalidade do clima na região.

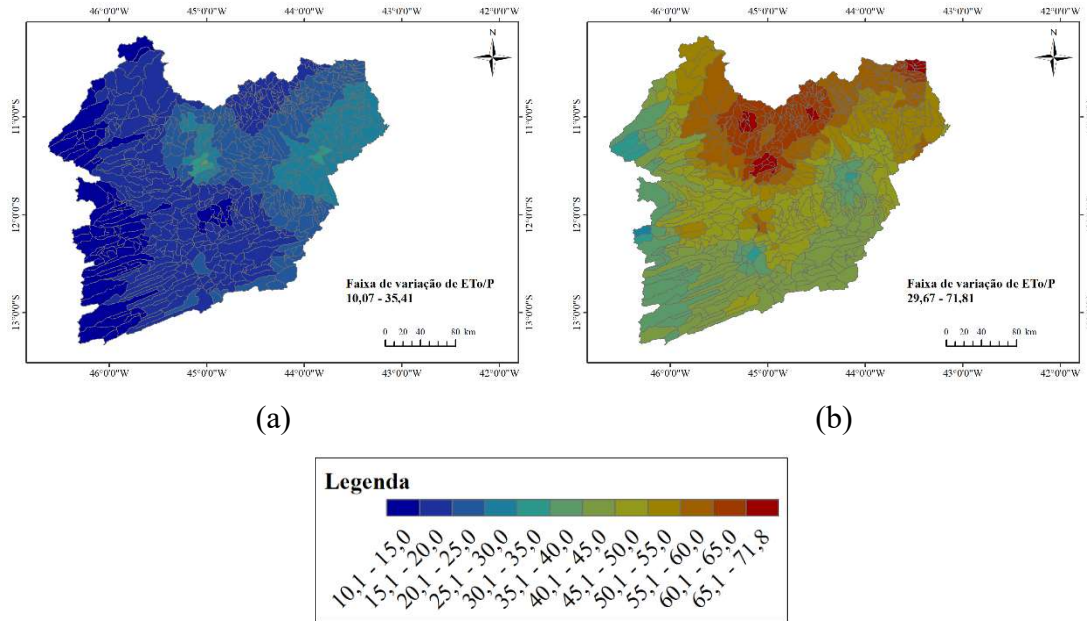


Figura 12 - Distribuição da relação entre evapotranspiração potencial e precipitação provável para a primeira quinzena dos meses de maio (a) e setembro (b).

Segundo o IGAM (2010), o consumo de água na agricultura irrigada por sistemas com aspersão varia de  $1,0$  a  $1,4 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . Considerando as vazões unitárias requeridas para todas as culturas e meses, o valor máximo, já associado ao fator de bombeamento, seria igual a  $1,21 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , ou seja, de acordo com os valores de base de consumo. Isso sugere, para o plano de agricultura irrigada considerado (Figura 6), que não se justificam solicitações de outorgas superiores a esse valor.

Na Figura 13 são apresentadas as médias das vazões unitárias requeridas nos hectares equivalentes e seus correspondentes valores máximos e mínimos observados ao longo do ano na bacia.

De modo geral, a diferença nas demandas se justifica pela variação na distribuição espacial e temporal da evapotranspiração e precipitação e pelos cultivos e datas de semeadura considerados ao longo do ano. O decaimento das demandas com a aproximação dos meses de março, junho e outubro ocorre devido à transição entre o fim e o início de ciclos, conforme calendário de cultivo adotado como representativo para a região.

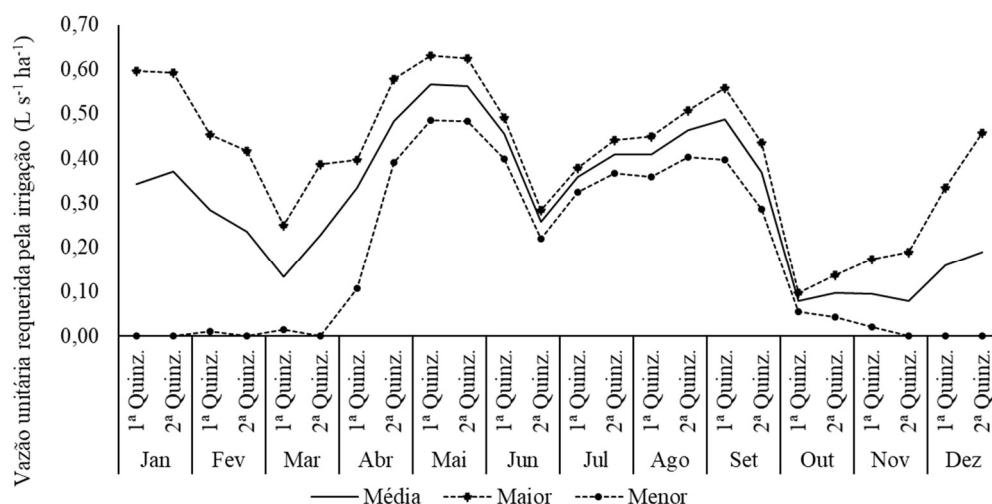


Figura 13 - Médias das vazões unitárias requeridas nos hectares equivalentes e seus correspondentes valores máximos e mínimos observados ao longo do ano na bacia.

A análise das vazões unitárias requeridas nos hectares equivalentes estimados indica a existência de grande sazonalidade das demandas ao longo do ano (em média, de 0,08 a 0,57 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>). O fato de as maiores demandas totais pela irrigação ocorrerem no mês de maio e as menores em outubro e novembro vem de encontro ao observado por Silva (2014), de não coincidência da maior necessidade de água para irrigação com o período de menor disponibilidade hídrica, ressaltando a importância da consideração de critérios sazonais para melhor aproveitamento da água ao longo do ano, como avaliado por Ramos et al. (2017), Silva (2014), Ribeiro et al. (2019), Bof (2010) e Euclides, Ferreira e Filho (2006). De acordo com Oliveira et al. (2013), o uso das vazões mínimas mensais como índices de referência para definição de critérios para a concessão de outorga, em substituição às calculadas em base anual, pode representar expressivo aumento da quantidade de água permissível para outorga, sem que isso signifique um aumento no risco de desabastecimento.

### 3.3 Áreas potencialmente irrigáveis e áreas reais potencialmente irrigáveis

Nas Figuras 14 e 15 são apresentadas as áreas potencialmente irrigáveis e as áreas reais potencialmente irrigáveis estimadas com base nas demandas do hectare equivalente na primeira quinzena dos meses de maio e setembro, respectivamente, e na disponibilidade hídrica anual a fio d'água. O valor de cada trecho corresponde à área potencialmente irrigável e à área real potencialmente irrigável acumulada até a confluência com o próximo trecho na direção do escoamento, incluindo, portanto, o potencial a montante.

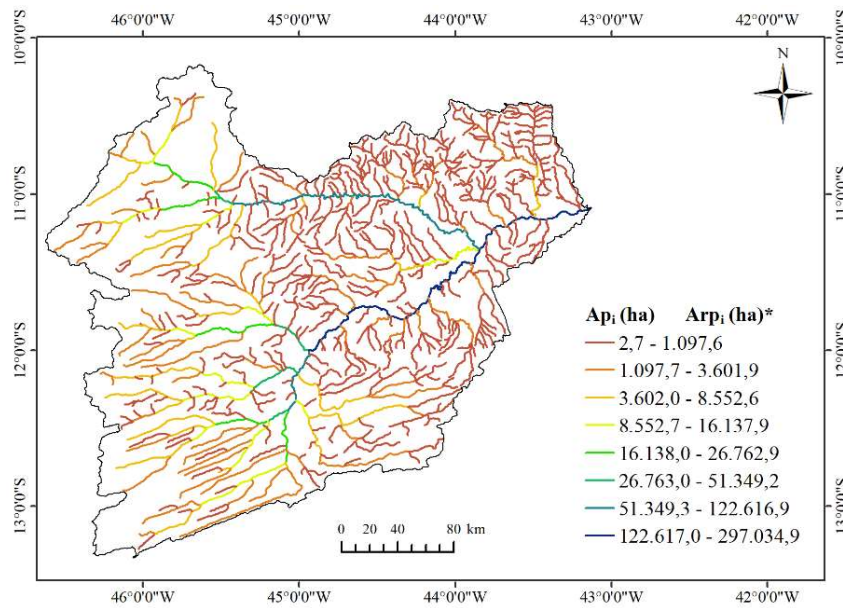


Figura 14 - Área potencialmente irrigável e área real potencialmente irrigável na primeira quinzena do mês de maio. \*Nessa quinzena, o valor da  $Arp_i$  é igual a  $Ap_i$ .

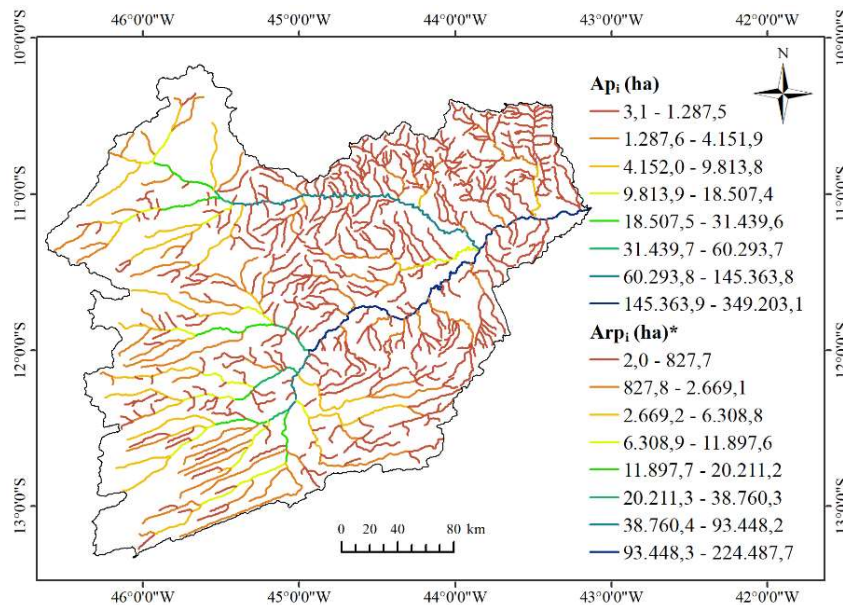


Figura 15 - Área potencialmente irrigável e área real potencialmente irrigável na primeira quinzena do mês de setembro. \*Nessa quinzena, o valor da  $Arp_i$  corresponde a 64,3% da  $Ap_i$ .

Nos meses do ano em que o valor do hectare equivalente utilizado considera toda a área irrigada na bacia em plena utilização, a  $Ap_i$  é igual a  $Arp_i$ . Em meses em que o hectare equivalente utilizado não possui o somatório do fator área igual à unidade, ou seja, considera

percentuais de áreas sem uso da irrigação, a  $Ap_i$  apresenta percentual de área potencial também sem irrigação. Neste último caso, o valor representativo da área potencial é o  $Arp_i$ , o qual é resultado do produto da área potencial pelo somatório do fator área, conforme calendário de cultivo considerado.

Observa-se, nas Figuras 14 e 15, que de oeste para leste da bacia há um aumento na concentração de trechos de cabeceira com baixos valores de áreas potencialmente irrigáveis. Isso se justifica pela tendência de aumento dos déficits hídricos e redução das vazões incrementais nessa direção. Na porção oeste, caracterizada por menores vazões demandadas e maior disponibilidade hídrica, essas ocorrências se explicam pela baixa vazão de contribuição advinda de áreas de drenagem muito pequenas.

A área potencialmente irrigável da bacia do rio Grande foi estimada para a primeira quinzena do mês de maio em 297.034,9 ha, dos quais, de acordo com o fator área de cada cultura no calendário de cultivo considerado, 63.650,34 ha seriam destinados ao cultivo do algodão (rotação I), 201.559,41 ha, ao milho (rotações II e III), e 31.825,17 ha, ao café (rotação IV).

No mês de maio, cerca de 71,4% da área potencialmente irrigável na bacia do rio Grande advém das quatro maiores sub-bacias de sua margem esquerda. A sub-bacia do rio Preto foi a que apresentou maior potencial, com 32,1% do acumulado na foz do rio Grande. Na sequência, têm-se as sub-bacias do rio Branco e a do rio das Fêmeas, com cerca de 14% e 13,9%, respectivamente, e a do rio de Ondas, com 11,4%. Fazendo-se uma associação entre as áreas reais potencialmente irrigáveis obtidas e as áreas de drenagem de cada sub-bacia, observa-se que a sub-bacia do rio das Fêmeas é a que apresenta maior potencial de uso da água por unidade de área, pois permite ter um hectare irrigado para cada 15,7 ha de área da bacia, enquanto nas demais sub-bacias do rio de Ondas, rio Branco e rio Preto a relação é de um para cada 16,5, 19,8 e 24,2 ha, respectivamente.

O fato de a demanda correspondente ao hectare equivalente no mês de setembro ser inferior à do mês de maio permitiu a obtenção de áreas potencialmente irrigáveis superiores; entretanto, há que se considerar que no calendário de cultivo utilizado o percentual de ocupação da bacia por áreas irrigadas nesse período é de apenas cerca de 64,3% em relação ao mês de maio. Isso significa que, dos 349.203,1 ha de  $Ap_i$ , 124.715,4 ha são de áreas sem demandas pela irrigação, e 224.487,6 ha, o correspondente ao  $Arp_i$  na bacia, dos quais 149.658,4 ha seriam destinados ao cultivo do milho (rotação II), 37.414,62 ha, ao feijão (rotação III), e 37.414,62, ao café (rotação IV).

No mês de setembro, o percentual de  $Ap_i$  obtido para cada uma das quatro maiores sub-bacias da margem esquerda do rio Grande em relação ao seu potencial total foi bastante

similar ao de maio, com variações inferiores a 2%. Considerando a associação entre as áreas reais potencialmente irrigáveis em setembro e as áreas de drenagem de cada sub-bacia, observa-se que as sub-bacias do rio de Ondas, do rio Branco, do rio Preto e do rio das Fêmeas apresentaram um percentual médio de cerca de 31,6% maior em relação a maio, ou seja, tem-se mais área de contribuição por hectare possível de ser irrigado em setembro.

### 3.4 Potencial de expansão das áreas irrigadas

Nas Figuras 16 e 17 são apresentados os potenciais de expansão de áreas irrigadas obtidos com base nas áreas potencialmente irrigáveis e nas áreas irrigadas acumuladas até a confluência com o próximo trecho para a primeira quinzena dos meses de maio e setembro, respectivamente. Uma vez que a área irrigada espacializada na bacia foi considerada fixa ao longo dos meses, é importante que essa estimativa seja realizada com a  $Ap_i$ , visto a  $Arp_i$  ter embutida essa variação.

Para a primeira quinzena dos meses de maio e setembro, a bacia do rio Grande apresentou potencial de expansão das áreas irrigadas de 64,1% e 69,5%, respectivamente. A porções norte e leste da bacia mostraram os maiores  $Pe_i$ , o que se justifica prioritariamente pela disponibilidade de recursos hídricos ainda não explorados com a prática da irrigação, a qual se concentra sobretudo na porção centro-oeste e sudoeste da bacia do rio Grande. Estima-se que cerca de 76,6% dos trechos da bacia do rio Grande não possuam áreas irrigadas.

Comparando as maiores sub-bacias da margem esquerda do rio Grande, a do rio Preto foi a que apresentou, na primeira quinzena do mês de maio, o maior potencial de expansão das áreas irrigadas, correspondente a cerca de 99,1%, seguida pelas sub-bacias do rio das Fêmeas, do rio Branco e do rio de Ondas, com 57,0%, 13,7% e 3,1%, respectivamente. Na primeira quinzena do mês de setembro, as sub-bacias seguiram o mesmo comportamento, apenas com variação quantitativa. As sub-bacias do rio Preto, rio das Fêmeas, rio Branco e rio de Ondas apresentaram potenciais de expansão de 99,2%, 64,1%, 26,6% e 18,2%, respectivamente.

Embora nos resultados em nível de bacia e sub-bacia tenham sido observados potenciais de crescimento da irrigação, análises trecho a trecho da hidrografia evidenciam a necessidade de compatibilização da área irrigada com a estimada como potencial. No mês de maio há potencial de expansão da área irrigada em 96,8% dos trechos, porém observam-se áreas de drenagem em que a área irrigada acumulada supera a área potencial em mais de oito vezes. No mês de setembro, a quantidade de trechos em conformidade é bastante semelhante, igual a 96,4%; contudo, o percentual de excedência da área irrigável potencial reduz para cerca de 7,3

vezes. É válido ressaltar que as estimativas foram feitas considerando apenas as retiradas para irrigação e que toda essa demanda é abastecida pela disponibilidade hídrica superficial, a qual, segundo Gaspar (2006), responde por mais de 90% das outorgas.

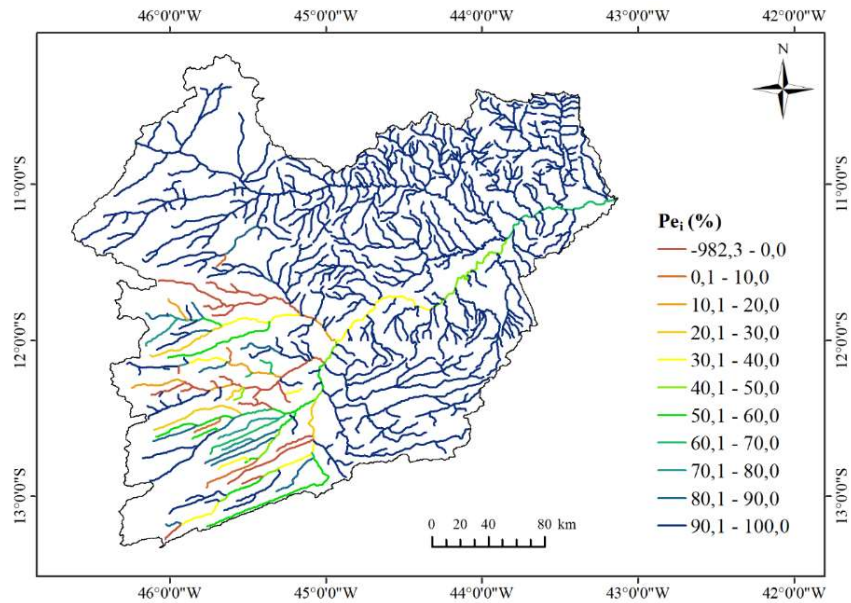


Figura 16 - Potencial de expansão da irrigação na primeira quinzena do mês de maio.

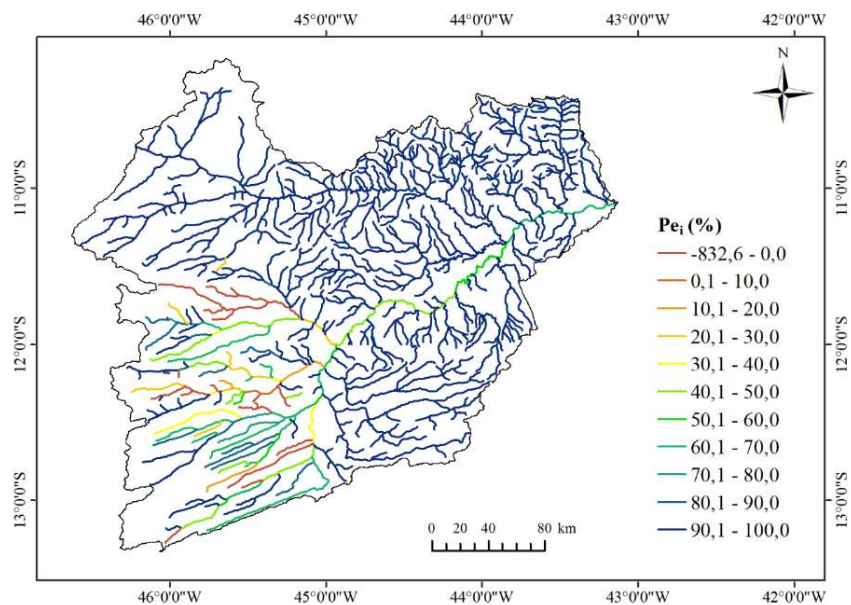


Figura 17 - Potencial de expansão da irrigação na primeira quinzena do mês de setembro.

Gaspar (2006) afirma que no Oeste da Bahia tem ocorrido incremento na exploração da água subterrânea, refletido no aumento expressivo de outorgas. Esse número crescente de concessão de outorgas de direitos de uso da água subterrânea é interpretado por Silva et al.

(2005 citado por Gaspar, 2006), como resultado de se ter alcançado o limite legal máximo outorgável para os recursos superficiais. Almeida e Moreira (2013) observaram que em 0,6% dos segmentos da hidrografia da bacia do rio Grande há excedência da vazão disponível para outorga tanto considerando a vazão mínima de referência em condições a fio d'água, quando a vazão média de longa duração.

A retirada de água subterrânea em um determinado ponto implica uma menor contribuição do aquífero para o rio e, por conseguinte, redução da água disponível neste último (ANA, 2005a). De acordo com Oliveira et al. (2008), alguns rios na região já sofrem os efeitos das captações subterrâneas, das retiradas das matas ciliares e da compactação do solo, os quais dificultam o abastecimento do aquífero. Segundo Gaspar (2006), o manejo dos solos nas áreas de agricultura intensiva na região carece de cuidados, visto elas compreenderem áreas de recarga.

HLPE (2015) diz que cerca de 40% das retiradas da irrigação no mundo são provenientes de fonte subterrânea e chama atenção para o fato de certos reservatórios poderem se esgotar repentinamente, enquanto o tempo de recarga pode alcançar milhares ou até milhões de anos. Esse autor observa ainda que, embora em determinadas posições esse recurso estratégico seja subutilizado, uma dificuldade inerente à sua exploração é o monitoramento e o impacto associado às retiradas.

Por ser a irrigação o principal usuário da água na região (CPRM, 2012), considera-se que é o setor prioritário para receber alterações na busca por adequações das demandas em relação à oferta. Os instrumentos de gestão de recursos hídricos vão desde medidas do lado da oferta, pela busca de maior disponibilidade no tempo e no espaço, quanto na demanda, por meio de usos mais eficientes (BUREK et al., 2016).

Comumente, a busca pelo equilíbrio no uso de recursos hídricos no contexto agrícola é associada à redução de áreas irrigadas; entretanto, o contexto de crescente demanda por alimentos e o desenvolvimento socioeconômico promovido pela agricultura irrigada motivam a viabilização de outras ações. FAO (2017) ressalta que a execução de políticas públicas eficientes na agricultura irrigada sustentável é um grande desafio, o qual pode ser facilitado por estudos técnicos que forneçam indicativos do potencial produtivo de cada região.

#### **4 CONCLUSÕES**

A metodologia permitiu a geração de informações essenciais ao planejamento da implantação de novas áreas irrigadas e melhor aproveitamento ao longo do ano dos sistemas

implantados. Além disso, atua como indicativo para posterior verificação mais detalhada das áreas em que as demandas demonstram ser superiores às ofertas.

O hectare equivalente proposto se apresentou como uma alternativa à estimativa de vazões requeridas pela irrigação representativas de determinada região, podendo ser aplicado tanto nas situações em que há maior nível de detalhamento das áreas irrigadas, quanto quando essas informações são gerais para uma maior área de abrangência, considerando-se apenas as variações espaciais nos valores correspondentes às variáveis climáticas.

As variações sazonais das vazões requeridas pela irrigação possibilitam a identificação do período e cultura que caracterizam a situação mais crítica da bacia, podendo servir como base para criação de cenários com alterações nos planos de rotação, datas de semeadura, aplicação de déficits hídricos, visando posterior avaliação do efeito dessa ação na hidrografia.

O estudo evidencia a necessidade de que a gestão de recursos hídricos seja realizada trecho a trecho da hidrografia, a fim de não diluir problemas de trechos específicos na disponibilidade hídrica da bacia.

## CAPÍTULO II:

### **Metodologia para otimização do aproveitamento do uso da água na gestão compartilhada em condições de conflito**

**RESUMO:** A outorga pelo uso de recursos hídricos foi instituída na legislação com o objetivo de garantir o adequado acesso à água a todos os setores usuários. Entretanto, por vezes, esse instrumento de gestão não cumpre efetivamente o controle quantitativo das concessões, ou seja, são outorgadas vazões superiores à disponibilidade hídrica, as quais nem sempre são representativas das reais captações. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia para otimização do aproveitamento do uso da água na gestão compartilhada em condições de conflito. A proposta tem como base a avaliação inicial da condição da disponibilidade hídrica em um plano legal, em que as vazões outorgadas considerando todos os usos são associadas à disponibilidade hídrica anual a fio d'água e, na sequência, para os trechos em que são observadas demandas superiores à disponibilidade, a análise da condição da disponibilidade hídrica em um plano operacional. No plano operacional, as demandas são caracterizadas pelas vazões outorgadas considerando todos os usos, exceto os correspondentes às atividades de irrigação, que têm sua estimativa baseada nas vazões requeridas pelo hectare equivalente. Além disso, neste plano as disponibilidades passam a ser consideradas em uma base mensal a fio d'água, e com a presença de reservatórios de regularização. A aplicação da metodologia indica a necessidade de maior conhecimento pelo órgão gestor acerca das reais captações correspondentes às outorgas concedidas e das potencialidades da consideração das disponibilidades hídricas mínima mensal à fio d'água e potencial da bacia em condições de regularização, bem como da alteração de calendários de cultivo e uso da irrigação com déficit frente a condições de conflito pelo uso da água.

## **1 INTRODUÇÃO**

A água é um elemento essencial para a manutenção da vida humana no planeta, entretanto, a exploração indevida desse recurso gerou a necessidade de leis e normas de regulamentação do seu uso, visando garantir o atendimento das demandas de forma sustentável.

No Brasil, a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, denominada “Lei das Águas”, instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos, que prevê como um dos seus instrumentos de gestão a outorga pelo direito de uso dos recursos hídricos. De acordo com essa

legislação, a outorga tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos (ANA, 2011).

Apesar de estar em vigor há mais de vinte anos, a outorga é um instrumento que ainda necessita de aprimoramentos, como, por exemplo: o fato dos órgãos gestores adotarem diferentes critérios na permissão pelo uso da água (PRUSKI; PRUSKI, 2011, COSTA; TYBUSCH, 2015; ANA, 2011); a vazão máxima permissível para a outorga, limitada a um critério anual, restringir o uso em meses de maior disponibilidade (OLIVEIRA et al., 2013; SILVA, SILVA; MOREIRA, 2015); e a questão de que muitas vezes as vazões outorgadas não são representativas das reais captações, podendo ser subutilizadas ou exploradas além do que foi concedido (PIAU, 2016). A combinação desses fatores dificulta a execução de um efetivo plano de gestão da água nas bacias hidrográficas, sobretudo quando estas evidenciam situações de conflito.

Em situações nas quais o conflito pelo uso da água é decretado, uma das práticas adotadas é a consideração de uma outorga única para todos os usuários, que decidem sobre a forma de compartilhamento dos recursos hídricos (MARQUES; TEIXEIRA, 2019).

Grande parte das bacias que configuram situação de escassez quantitativa no País tem como maior usuário a irrigação (ANA, 2017a). Estima-se que até meados de 2018 o total de outorgas para captação em vigência no País somava 74.086, correspondente a uma vazão total de  $3.594 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , dos quais cerca de 67% eram destinados à irrigação (ANA, 2019b), a qual requer maior atenção dos órgãos gestores, visando o uso racional da água (ANA, 2012).

Em condição de escassez, o consumo humano e a dessedentação de animais têm prioridades quanto ao atendimento das demandas, sendo o racionamento destinado aos outros setores, principalmente irrigação (ANA, 2005b). De acordo com HLPE (2015), frequentemente o uso da água pela agricultura é considerado para ajustar os totais demandados à disponibilidade hídrica existente.

Paula (2014) afirma que, embora conflitos pelo uso da água venham se agravando em várias regiões do País, muitas vezes o problema não é a falta de água, mas de estratégias para condução de tais conflitos ou de um adequado planejamento. Os instrumentos de gestão na política de águas vão desde medidas do lado da oferta, pela busca de maior disponibilidade no tempo e no espaço, quanto na demanda, por meio de usos mais eficientes (BUREK et al., 2016).

Estimativas da ANA (2018) indicam que até 2030 a demanda por água aumentará em 24%. Diante dessa previsão e do fato de instrumentos, como a outorga, serem passíveis de melhorias (ANA, 2017a), alternativas de planejamento e gestão que tenham potencialidades frente a situações de conflito são muito importantes. Assim, este trabalho teve por objetivo

desenvolver uma metodologia para otimização do aproveitamento do uso da água pela irrigação na gestão compartilhada em condições de conflito.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de otimização do aproveitamento do uso da água tem como base a caracterização da condição de oferta e demanda hídrica em um caráter legal e outro operacional, a fim de obter melhor representatividade das condições da hidrografia, tendo como consequência a atenuação ou até mesmo a solução das incompatibilidades existentes. Na Figura 1 é apresentado um fluxograma da análise da disponibilidade hídrica no contexto dos planos legal e operacional descritos na sequência.

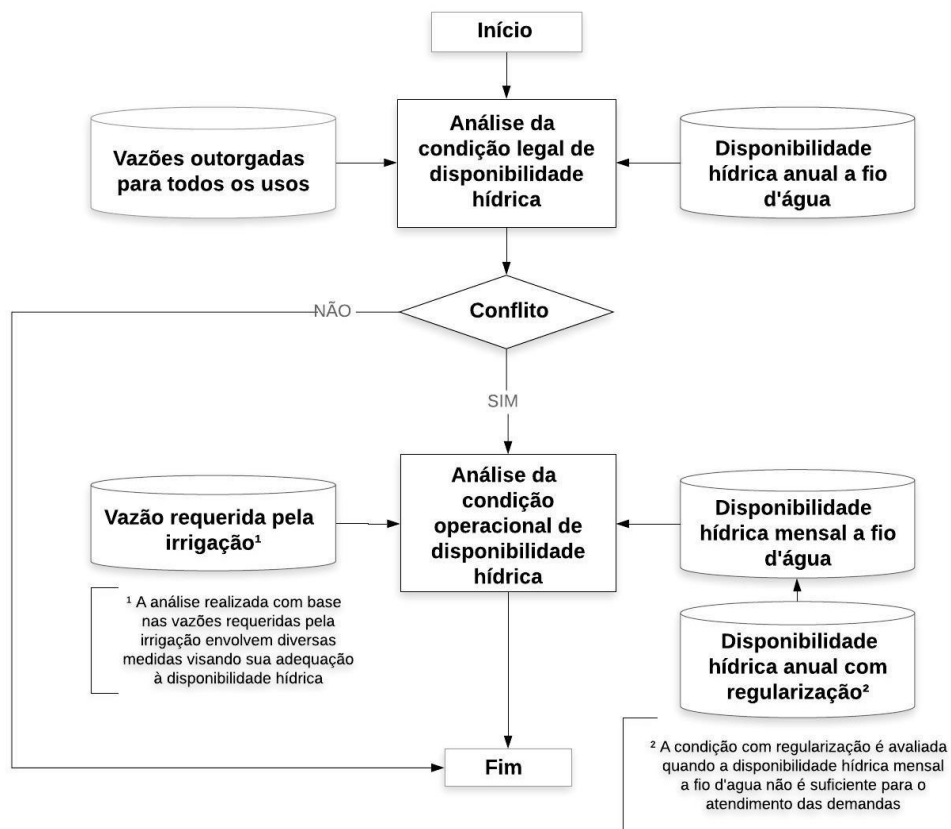


Figura 1 - Fluxograma da caracterização da condição da hidrografia no contexto dos planos legal e operacional.

## **2.1 Plano legal**

Define-se como plano legal aquele em que a demanda é estimada pelo somatório de vazões outorgadas considerando todos os setores usuários, e a oferta pela disponibilidade hídrica anual em condições a fio d'água.

### **2.1.1 Disponibilidade hídrica anual a fio d'água**

A disponibilidade hídrica anual a fio d'água representa a máxima vazão outorgável em um curso d'água sem a presença de reservatórios, e corresponde à vazão mínima de referência no trecho, subtraída de um percentual remanescente, que deve obrigatoriamente ser preservado na hidrografia.

De acordo com Smakhtin (2001), as vazões mínimas são definidas como um fenômeno sazonal que naturalmente compõe o regime de vazões e são derivadas das descargas de águas subterrâneas e de fontes de armazenamento na superfície.

Segundo WMO (2008), existem diversas maneiras de analisar as vazões mínimas: com base em valores individuais, como uma constante de recessão, um índice de fluxo de base ou a média de uma série; e pela adoção de métodos estatísticos de probabilidade, com o uso da curva de permanência, que determina para dado valor de vazão a porcentagem de tempo com que esse será excedido, e pela análise de valores extremos, que diferentemente do anterior, calcula a probabilidade de não excedência em anos ou intervalo médio em anos (período de retorno) quando os mínimos anuais estão abaixo de um determinado valor de vazão.

No Brasil, basicamente, as variáveis utilizadas para caracterização da vazão mínima são a  $Q_{7,10}$  (vazão mínima média de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos) e a  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  (vazões com permanência de 90% e 95% no tempo, respectivamente).

### **2.1.2 Vazões outorgadas**

A outorga é dos instrumentos adotados pela Política Nacional dos Recursos Hídricos para dar suporte à gestão dos recursos hídricos e consiste no ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante (União, Estado ou Distrito Federal) faculta ao outorgado (requerente) o direito de uso de recursos hídricos, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato. O ato administrativo é publicado no Diário Oficial da União, ou nos Diários Oficiais dos Estados ou do Distrito Federal (ANA, 2011).

Desse modo, os valores de vazões outorgadas são informações de domínio público, sendo para o seu levantamento necessária a realização de buscas nos Diários Oficiais.

### 2.1.3 Análise da condição legal de disponibilidade hídrica

A análise da condição legal de disponibilidade hídrica é realizada por meio do seguinte equacionamento:

$$\Delta DH = \left( \frac{Q_{\text{disp\_anual\_fd}} - \sum Q_{\text{out}}}{Q_{\text{out}}} \right) 100 \quad (1)$$

em que:

$\Delta DH$  = condição legal de disponibilidade hídrica, %;

$Q_{\text{disp\_anual\_fd}}$  = disponibilidade hídrica anual a fio d'água no trecho,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ; e

$Q_{\text{out}}$  = vazão outorgada acumulada considerando todos os setores usuários a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ .

O termo trecho faz referência a cada segmento de hidrografia existente entre duas confluências consecutivas ou ao segmento que se estende da nascente do rio até a confluência imediatamente a jusante. O comprimento de cada trecho é dependente da escala da hidrografia considerada no estudo.

Os valores de  $\Delta DH$  podem ser negativos ou positivos. Quando não há excedência da disponibilidade hídrica anual a fio d'água pela vazão outorgada, é positivo, indicando equilíbrio entre ofertas e demandas. O contrário implica sinal negativo e indica a existência de conflito com necessidade de adequação das demandas à oferta hídrica.

## 2.2 Plano operacional

Denomina-se plano operacional aquele em que a demanda é obtida pelo somatório das vazões outorgadas considerando todos os usos, exceto irrigação, para a qual é considerada uma metodologia específica para sua estimativa. Nesse plano, a oferta é dada pela disponibilidade hídrica mensal em condições a fio d'água e anual em condições de regularização. Embora haja um critério legal referente à regularização, esta foi enquadrada no plano operacional por não

ser a base de referência da concessão das outorgas concedidas consideradas no presente trabalho.

#### **2.1.4 Disponibilidade hídrica mensal a fio d'água**

No Brasil há uma variedade de regimes hidrológicos; parte das regiões apresentam sazonalidade das vazões naturais, ou seja, existem épocas no ano em que as vazões são mais baixas, enquanto os meses chuvosos têm vazões mais altas (ANA, 2013). As variações sazonais das vazões ao longo do ano ocorrem em função das estações e do comportamento das precipitações (ANA, 2005a).

Embora as estimativas das vazões mínimas tradicionalmente envolvam a utilização de todos os dados disponíveis, podem-se adotar menores intervalos de tempo, como meses ou grupos de meses (WMO, 2008).

Estudo sobre a análise do uso de diferentes critérios de outorga de direito de uso dos recursos hídricos para seis seções da hidrografia da bacia do Paracatu mostrou que a mudança da base anual para a base mensal, considerando o critério de 30% da  $Q_{7,10}$ , conduziria a aumento do volume permissível para a outorga, variando de 91,0% a 168,6% (BOF, 2010).

Oliveira et al. (2013) afirmam que a adoção de critérios mensais é uma forma potencial de melhorar o uso da água e possibilitar a atenuação de problemas de escassez, visto que em seu estudo foi evidenciado que a adoção do critério de outorga de 30% da  $Q_{7,10}$  mensal proporcionaria, em relação ao que é observado considerando a base anual para a bacia do Entre RIBEIROS, um aumento de 209% no percentual de trechos em que o somatório das outorgas não superou a vazão máxima outorgável. Assim, a consideração de um critério mensal pode ser uma excelente opção para melhorar o uso da água, no sentido de reduzir os conflitos entre os usuários (PRUSKI et al., 2014).

A consideração de critérios sazonais para a concessão de outorgas tem o potencial de permitir maior uso da água para todos os setores usuários sem prejudicar o meio ambiente (EUCLYDES; FERREIRA; FILHO, 2006).

#### **2.1.5 Disponibilidade hídrica potencial**

Nas situações em que a disponibilidade hídrica a fio d'água não é suficiente para o atendimento das demandas, tem-se como alternativa a exploração da disponibilidade hídrica potencial da bacia, a qual pode ser atingida por meio das técnicas de regularização de vazão.

Define-se como vazão regularizada a quantidade de água que um reservatório pode fornecer com uma determinada segurança, considerado o período de dados da série histórica de vazões afluentes (ANA, 2005a). Do ponto de vista teórico, a maior vazão que pode ser regularizada é a vazão média (ANA, 2005a; FEPAM, 2003).

Em estudo para a bacia do Paracatu, Ribeiro, Ramos e Pruski (2018) obtiveram para a relação entre  $Q_{mld}$  e  $Q_{7,10}$  variações de 3,7 a 10,0, as quais estiveram relacionadas a incrementos de disponibilidade de 531% a 1.795%.

De acordo com Nunes (2013), o aumento da disponibilidade hídrica por meio da implantação de estruturas de regularização de vazões permite um atendimento mais eficiente das demandas pelo uso da água.

### 2.1.6 Vazão requerida pela irrigação

A vazão requerida pela irrigação é estimada a partir do equacionamento descrito na sequência e leva em consideração a vazão unitária requerida pelo hectare equivalente proposto no capítulo um desta tese, a área irrigada e o fator de bombeamento.

$$Q_i = \sum \left( \frac{q_{u_{he}} F_b}{1000} A \right) \quad (2)$$

em que:

$Q_i$  = vazão requerida pela irrigação acumulada a montante da confluência com o próximo trecho na direção do escoamento,  $m^3 s^{-1}$ ;

$q_{u_{he}}$  = vazão unitária requerida pelo hectare equivalente,  $L s^{-1} ha^{-1}$ ;

$A$  = área irrigada na área de drenagem de cada trecho da hidrografia, ha; e

$F_b$  = fator de bombeamento.

$$F_b = \frac{24}{NHFP} \quad (3)$$

em que:

NHFP = número de horas de bombeamento fora do horário de pico. O valor base considerado encontra-se descrito nas portarias das outorgas.

O hectare equivalente se fundamenta em uma média ponderada que leva em consideração as áreas ocupadas e as vazões unitárias das principais culturas irrigadas, nas quais estão embutidas informações de calendários de cultivo e clima local.

### **2.1.7 Análise da condição operacional de disponibilidade hídrica**

A análise da condição operacional de disponibilidade hídrica é realizada especialmente em situações em que somatório de vazões outorgadas considerando todos os setores usuários supera a disponibilidade hídrica anual em condições a fio d'água. Sua aplicação exige uma análise conjunta das demandas de todos os usuários envolvidos, ou seja, baseia-se em um uso compartilhado de toda a disponibilidade hídrica a montante do trecho de interesse.

O uso compartilhado baseia-se no fornecimento de uma outorga única para os usuários envolvidos em situação de conflito, propondo-se a manutenção das vazões destinadas aos usos prioritários preconizados pela legislação e a realização de um acordo entre os demais usuários.

## **2.3 Estudo de caso: bacia do rio Branco**

### **2.3.1 Caracterização da área de estudo**

A bacia do rio Branco está localizada no Oeste do Estado da Bahia, entre as coordenadas geográficas 11° 21' 28,54'' e 12° 8' 1,50'' S de latitude e 44° 54' 55,53'' e 46° 21' 13,34'' O de longitude (Figura 2). A região possui clima classificado como tropical, tipo Aw, segundo Köppen, com inverno seco e verão chuvoso (GASPAR, 2006). A bacia do rio Branco possui cerca de 10,6% da área de contribuição da bacia do rio Grande e aproximadamente 33,7% de sua área total irrigada por pivôs centrais.

A região Oeste do Estado da Bahia vem se destacando como uma das principais fronteiras agrícolas do País. A topografia favorável associada à adoção de práticas de produção agrícola baseada no uso intensivo de insumos e implantação de projetos de irrigação permitiram a expansão de grandes lavouras na região (PASSOS; ROCHA; HADLICH, 2010). A área total cultivada com grãos na região foi estimada em 2,4 milhões de hectares no ano de 2004 e indica o alcance de 4,4 milhões em 2024 (MENDONÇA, 2006).

Segundo Gaspar (2006), nos últimos anos tem se observado um número crescente de concessões de outorgas na região Oeste da Bahia. A autora mostra que de 2003

para 2006 houve aumento das outorgas superficiais e subterrâneas em 76% e 125%, respectivamente.

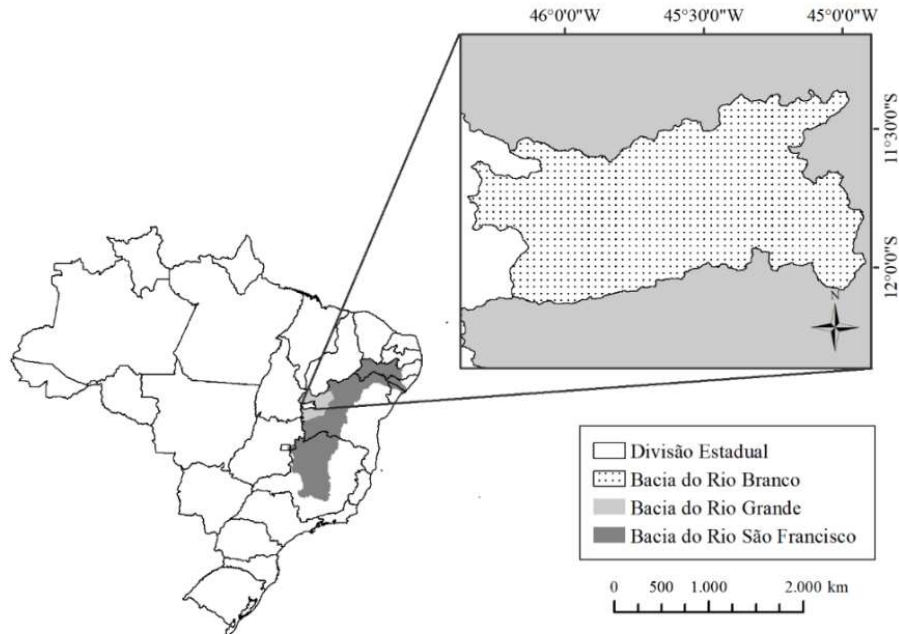


Figura 2 - Localização geográfica da bacia do rio Branco.

### 2.3.2 Disponibilidade hídrica

A disponibilidade hídrica anual a fio d'água na bacia do rio Branco foi caracterizada por 80% da vazão mínima associada à permanência de 90% no tempo ( $Q_{90}$ ), considerada por ser a vazão de referência utilizada para concessão de outorgas nessas condições pela legislação do Estado da Bahia, no qual a bacia encontra-se inserida. A disponibilidade hídrica potencial foi caracterizada por 80% da vazão média de longa duração ( $Q_{mld}$ ).

A  $Q_{90}$  e a  $Q_{mld}$  foram obtidas pelas equações de regionalização geradas no “Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas Bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha” disponível no software SIHBA-Oeste (SOUSA, 2018), e apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Equações utilizadas para a regionalização da  $Q_{90}$  e da  $Q_{mld}$  na área de estudo

	Equação
$Q_{90}$	$Q_{90} = 0,4674 Peq_{750}^{0,9284}$
$Q_{mld}$	$Q_{mld} = 0,6759 Peq_{750}^{0,9288}$

$Peq_{750}$  é a vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração da precipitação de 750 mm para a formação das vazões.

A disponibilidade hídrica mensal a fio d'água foi estimada por meio do produto da disponibilidade hídrica anual considerada pela relação de sazonalidade obtida por Ribeiro (2020) (Tabela 2). Essa relação corresponde ao intervalo de confiança inferior, com um nível de confiança de 95%, dos valores da razão entre as vazões mínimas mensais e anual das estações fluviométricas da região hidrologicamente homogênea considerada para o estudo de regionalização de vazões em base anual da bacia do rio Grande.

Tabela 2 - Relação de sazonalidade

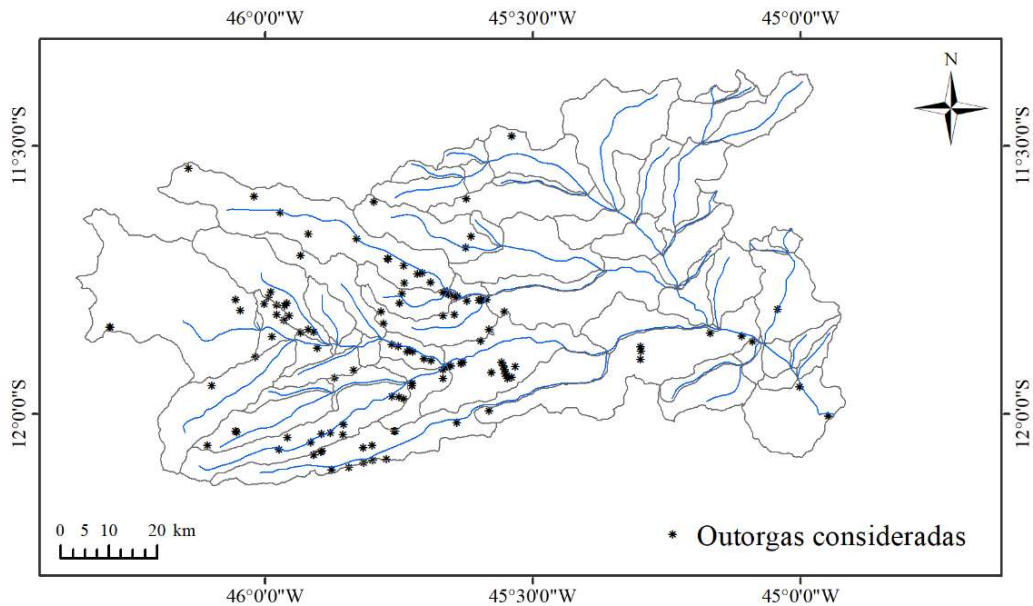
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,2

### 2.3.3 Levantamento das vazões outorgadas

Por se tratar de um rio de dominialidade estadual, o levantamento das outorgas foi realizado a partir de informações disponibilizadas pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema) e pelo Diário Oficial do Estado (DOE). Foram consideradas todas as outorgas válidas e recentemente vencidas, sendo a contabilização delas realizada até o mês de agosto de 2018. A distribuição espacial das outorgas foi feita de acordo com coordenadas geográficas e Datum fornecidos, sendo para aquelas que não apresentaram essa última informação considerado o sistema de referência geodésico oficial do País, SIRGAS 2000. Na condição de ausência de unidade para o dado de vazão, foi adotado o padrão das demais, correspondente a  $m^3 \text{ dia}^{-1}$ . Não foram consideradas outorgas concedidas em condição de regularização de vazões, nem tratamento diferenciado com relação à fonte de captação. De acordo com ANA (2005a), a retirada de água subterrânea em um determinado ponto implica

menor contribuição do aquífero para o rio e, por conseguinte, redução da água disponível neste último.

A associação das outorgas aos trechos da hidrografia foi feita considerando o somatório de todas as outorgas inseridas nas áreas de drenagem correspondente a cada trecho da hidrografia (Figura 3).



Figuras 3 - Espacialização das outorgas consideradas na bacia do rio Branco.

#### 2.3.4 Vazão requerida pela irrigação

A metodologia proposta no capítulo um desta tese teve como estudo de caso a bacia do rio Grande, na qual a bacia do rio Branco encontra-se inserida. Desse modo, as vazões unitárias requeridas pela irrigação no hectare equivalente foram obtidas diretamente deste estudo e multiplicadas pela área irrigada estimada no “Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil” (ANA, 2019a). A associação da área irrigada como pertencente a determinada área de drenagem é feita tendo como base a localização do centroide de cada pivô central. Esse critério é adotado como alternativa ao processo de identificação do efetivo ponto de captação de cada área irrigada, dada a sua complexidade de execução na escala de bacia hidrográfica. Além disso, não é considerada a diferenciação de área irrigada com relação ao manancial de captação, sendo o total contabilizado como proveniente da disponibilidade hídrica superficial.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.2 Análise da condição legal de disponibilidade hídrica

Na Figura 4 é apresentada a condição legal de disponibilidade hídrica, estimada com base no somatório de vazões outorgadas considerando todos os setores usuários e na disponibilidade hídrica anual em condições a fio d'água. Uma vez que a variação da vazão outorgada ao longo dos meses é pouco expressiva na região, visto a maior parte das outorgas informar uma demanda fixa, optou-se por apresentar os resultados apenas para o mês de maio, o qual é o mais crítico em termos de demandas. As linhas contínuas e tracejadas diferenciam as partes da hidrografia em que a  $\Delta DH$  é positiva e negativa, respectivamente, e os números ao longo da hidrografia representam códigos identificadores de cada trecho.

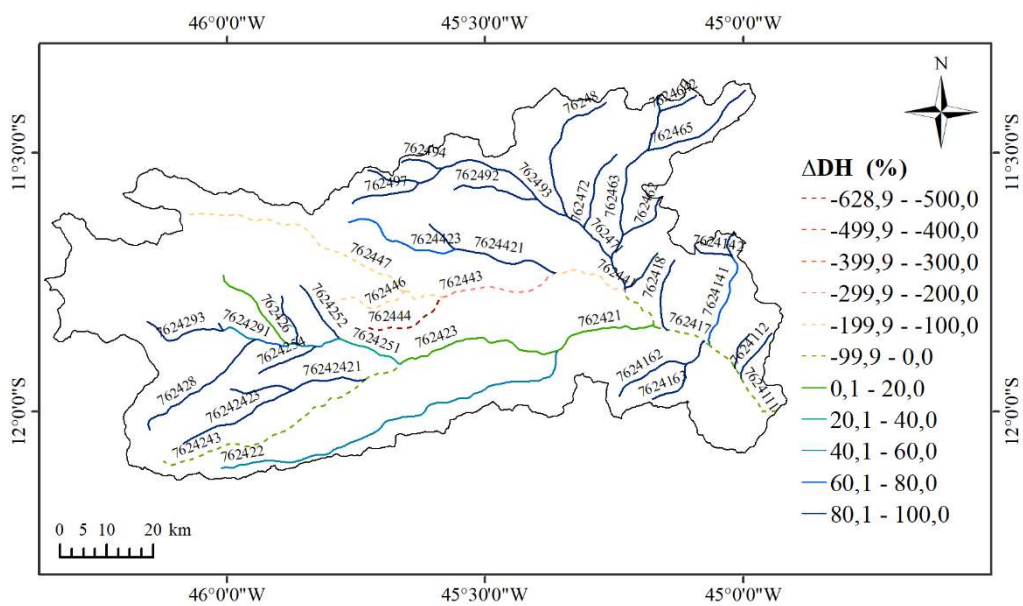


Figura 4 - Representação da condição legal de disponibilidade hídrica da bacia do rio Branco.

Observa-se que cerca de 77,6% dos trechos da hidrografia da bacia do rio Branco apresentam valores positivos para a  $\Delta DH$ , ou seja, a somatório de vazões outorgadas, considerando todos os setores usuários, é inferior à disponibilidade hídrica anual em condições a fio d'água. Estima-se que esta última se encontra inteiramente disponível em metade dos trechos positivos, e com disponibilidade acima de 90% em cerca de 73% deles.

Embora a avaliação individual dos trechos indique expressivo potencial de aumento do uso da água na bacia, uma análise global mostra que, mesmo com muitas áreas sem outorgas,

há trechos em posições a jusante em que o potencial de uso da água com base na disponibilidade hídrica anual em condições a fio d'água é excedida, o que implica que até a foz da bacia do rio Branco não seja observado equilíbrio entre ofertas e demandas. Esse fato evidencia a real necessidade de que a concessão de uso da água seja realizada de modo a considerar não apenas a vazão de referência passível de outorga no trecho de interesse, mas também as já concedidas nas posições a montante e a jusante.

Dos cerca de 22,4% dos trechos em que a  $\Delta DH$  é negativa, em 6,7% são observados valores de excedência da disponibilidade hídrica anual em condições a fio d'água maior que 271,6%, e em 46,7% menor que 18,8%.

As outorgas consideradas indicam que, nos trechos em que são observadas retiradas para irrigação, estas correspondem em média a mais de 92% da vazão outorgada, com variações de 65,9% a 100%, o que indica expressiva participação do setor nas demandas locais.

### **3.3 Análise da condição operacional de disponibilidade hídrica**

Neste estudo foram analisados três trechos conflituosos da bacia do rio Branco: 762444, 762447 e 7624111, que representam diferentes níveis de incompatibilidade entre ofertas e demandas. Ressalta-se que as linhas ligando os marcadores em todos os gráficos apresentados na sequência foram utilizadas apenas para facilitar a visualização da variação das vazões no tempo, não sendo uma indicação de continuidade dos valores.

Nas Figuras 5, 6 e 12 são apresentadas, para cada trecho em condição de conflito, a distribuição ao longo do ano das vazões na hidrografia (vazão mínima anual, vazão média de longa duração, disponibilidade hídrica anual a fio d'água, disponibilidade hídrica anual em condição de regularização, e disponibilidade hídrica mensal a fio d'água) e das demandas (vazões requeridas para irrigação e vazões outorgadas acumuladas até a confluência com o próximo trecho na direção do escoamento). Embora não tenha sido considerada diferenciação quanto à fonte de captação das outorgas (água superficial ou subterrânea), estas são apresentadas separadamente. Além disso, também é apresentada uma distinção entre os usos da água, a fim de permitir uma melhor comparação das vazões requeridas pela irrigação e as outorgadas para essa finalidade. As outorgas com informações incompletas quanto ao tipo de uso e/ou fonte de captação foram alocadas separadamente.

Na Figura 5 é representado o trecho 7624111, localizado na foz da bacia do rio Branco. De acordo com o resultado apresentado para a  $\Delta DH$ , considerando-se o plano legal, nessa posição há excedência da disponibilidade hídrica anual a fio d'água de 8,2%. Observa-se que

no mês de maio há grande aproximação entre a vazão requerida pela irrigação e o somatório das vazões outorgadas para o mesmo uso, o qual é superior em apenas 3,1%. Nos demais meses do ano, entretanto, a representatividade das vazões outorgadas, em relação ao que possivelmente são as reais captações, reduz expressivamente, sendo cerca de 931,1% maior. A demanda pela irrigação possui grande variabilidade sazonal devido às várias fases de crescimento de diferentes culturas (WADA et al., 2016) ou, ainda, em resposta às variações climáticas (RODRIGUEZ et al., 2006), que juntos evidenciam a importância da solicitação de outorgas sazonais, visto a indisponibilização de grande quantidade de recursos hídricos que poderiam ser aproveitados por outros usuários.

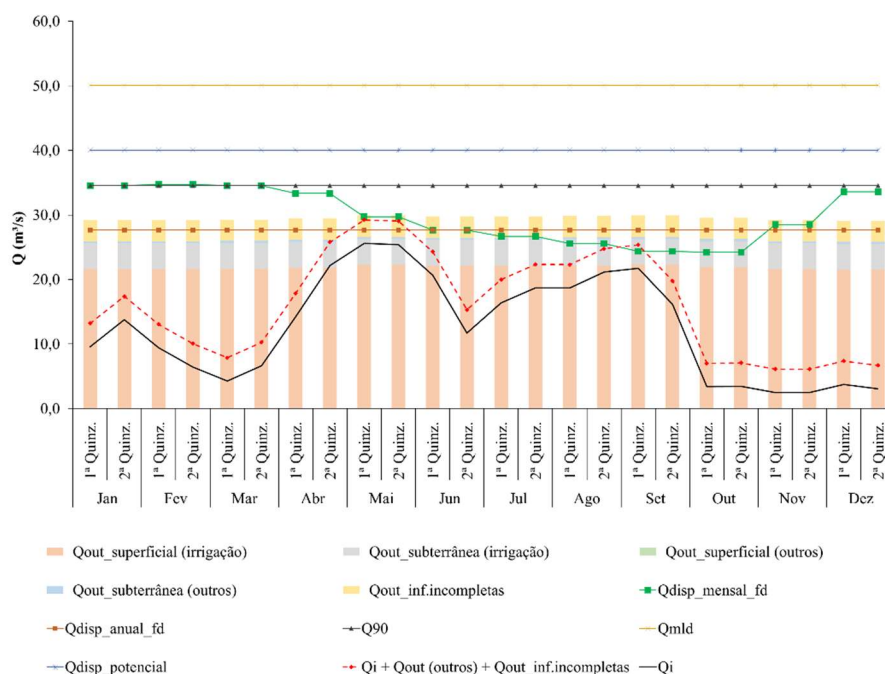


Figura 5 - Representação da distribuição das disponibilidades e demandas hídricas ao longo do ano no trecho 7624111.

No mês de máxima demanda existe uma aproximação entre as vazões outorgadas e as requeridas pela irrigação, entretanto, a análise das vazões unitárias outorgadas na bacia evidencia valores que superam as vazões unitárias requeridas estimadas para todas as rotações. Esse fato não se refletiu no somatório das vazões outorgadas em razão de as áreas irrigadas informadas nas outorgas corresponderem a cerca de 79,8% das consideradas para estimativa das vazões requeridas.

A solicitação da vazão outorgada até o valor da máxima demanda potencial é justificável sob a ótica de que a autorização é válida durante várias safras e de que, para o

irrigante, é importante considerar uma flexibilidade para possíveis mudanças de culturas. De acordo com Piau (2016), a estimativa da disponibilidade de água levando em conta as outorgas concedidas pode ser bastante diferente da realidade, podendo haver tanto usuários que não utilizem nada, quanto outros que retirem acima do que é autorizado. Diante disso, esse autor ressalta a necessidade de o órgão gestor ter controle não apenas das outorgas, mas também das reais captações.

A aplicação do plano operacional associado ao uso compartilhado vem ao encontro dessa ideia, visto que favorece um melhor aproveitamento da água a partir de uma participação mais ativa dos usuários no planejamento do uso da vazão disponível.

A consideração das vazões mínimas mensais no mês maio, de maior demanda hídrica, permite o atendimento da demanda correspondente ao somatório das vazões requeridas pela irrigação e as outorgadas para os demais usos a montante do trecho. Esse fato corrobora o observado por Silva (2014) para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros, na qual a maior demanda pela irrigação não necessariamente coincide com o período de menor disponibilidade.

Com a aproximação do período de estiagem, há decaimento da disponibilidade hídrica na hidrografia e uma pequena excedência das vazões requeridas pela irrigação no mês de setembro. Mesmo assim, considera-se, em uma análise global, que há recursos hídricos suficientes para o atendimento das demandas existentes na bacia do rio Branco. Salvas as restrições para os meses de maio, agosto e, sobretudo, setembro, é possível até mesmo o incremento de novas demandas. Ressalta-se, entretanto, que mudanças em qualquer posição da bacia tem impacto direto na foz, e, portanto, as restrições para o plano de agricultura atual quanto aos meses citados são válidas para todos os trechos a montante.

Apesar de o critério de disponibilidade hídrica mensal caracterizar o agravamento do conflito em relação às demandas em alguns meses, a consideração de uma vazão característica do período de estiagem para todo o ano não representa a real condição da hidrografia, uma vez que se apresenta como restritiva ao uso em alguns meses, não favorecendo o aproveitamento da água, e permissível demais em outros, criando uma falsa expectativa de oferta e, consequentemente, riscos de desabastecimento. Essa condição, segundo Ramos et al. (2017), Bof (2010) e Ribeiro et al. (2019), garante um melhor plano de uso da água.

Na Figura 6 é representada a condição do trecho 762447, localizado em uma posição de cabeceira, no noroeste da bacia do rio Branco. De acordo com o resultado apresentado para a  $\Delta DH$ , estimado com base no critério legal, nessa posição há excedência da disponibilidade hídrica anual a fio d'água de 167,5%.

Comparando as vazões outorgadas e as requeridas pela irrigação nesse trecho, observa-se que a primeira é no mínimo 1,9 vez maior, o que caracteriza uma incompatibilidade mais severa da demanda em relação à disponibilidade hídrica anual a fio d'água. As vazões outorgadas nessa posição superam até mesmo a vazão média anual de longa duração.



Figura 6 - Representação da distribuição das disponibilidades e demandas hídricas ao longo do ano no trecho 762447.

Embora a consideração da disponibilidade hídrica mensal a fio d'água também permita a expansão do uso da água para os meses de maior disponibilidade hídrica, trata-se de uma situação mais grave que a mostrada anteriormente, devido à maior incompatibilidade no mês de setembro, e, ainda, ao surgimento de outras associadas aos meses de maio, junho, julho e agosto.

Diante de uma situação de conflito pelo uso da água, a redução da área irrigada é uma opção quando se objetiva reduzir as vazões demandadas; entretanto, sua adoção implica uma redução da produção correspondente àquela área, podendo acarretar impactos socioeconômicos negativos. Diante desse contexto, algumas medidas podem ser avaliadas pelos irrigantes buscando a adequação das culturas em função das demandas, como o reescalonamento dos calendários de cultivo e a adoção de irrigação com déficit, e o incremento de disponibilidade hídrica, como a regularização de vazões.

Na Figura 7 encontram-se os calendários de cultivo considerados no cálculo das vazões requeridas pela irrigação no capítulo um, sendo apresentadas as fases de crescimento de cada cultura nas quatro rotações consideradas como características da bacia. Na Figura 8 é apresentado o percentual da área ocupada por cada rotação em relação à área irrigada total, o qual foi o peso considerado para obtenção das vazões unitárias requeridas pelo hectare equivalente (Figura 9).

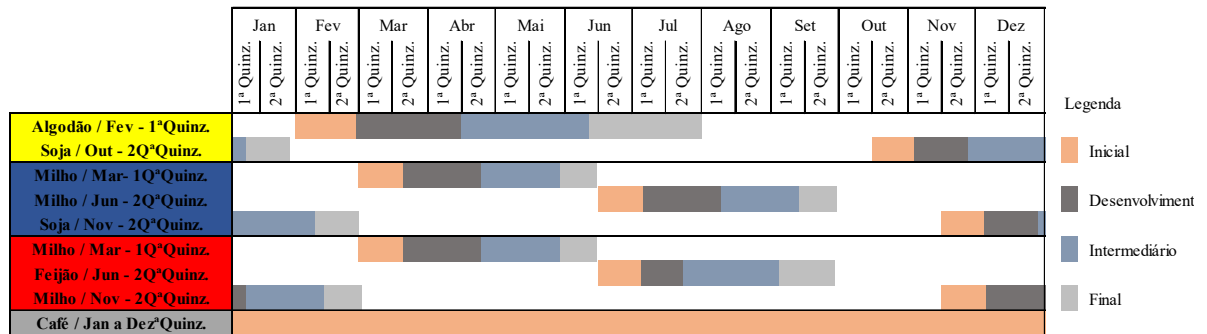


Figura 7 - Calendários de cultivo associados à fase de crescimento de cada cultura de interesse na região.

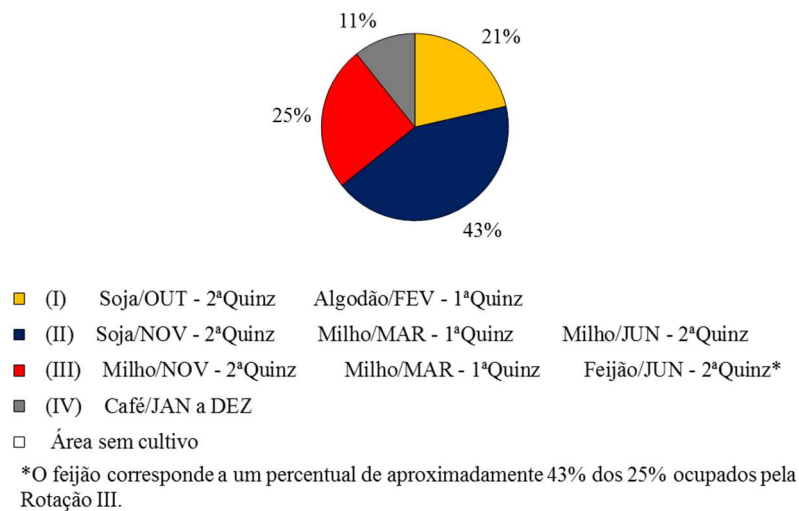


Figura 8 - Percentual de cada rotação em relação à área irrigada total característica da região.

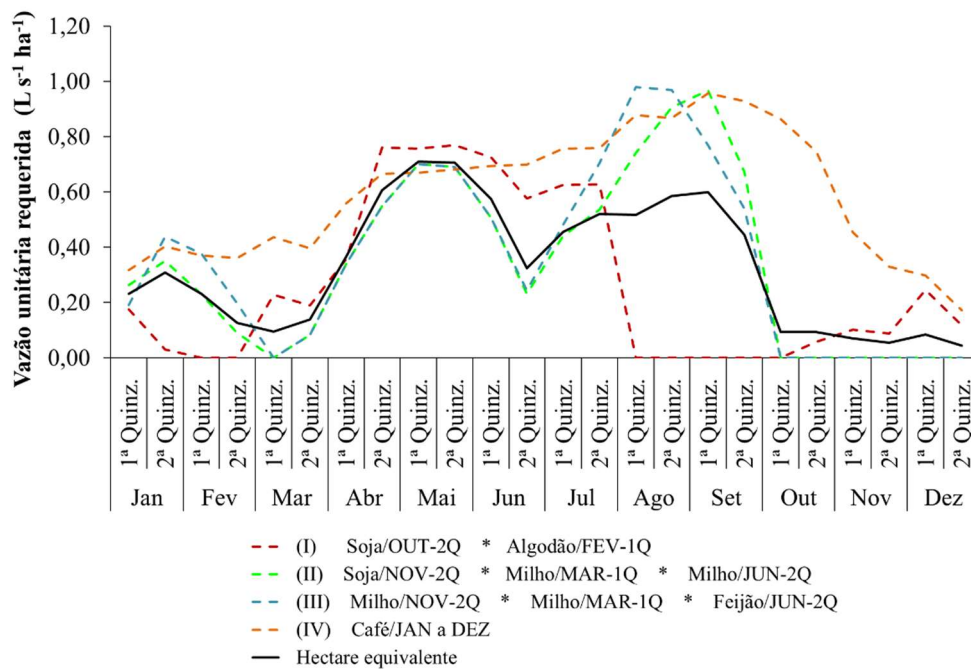


Figura 9 - Representação da distribuição das vazões unitárias requeridas pela irrigação das rotações e do hectare equivalente ao longo do ano no trecho 762447.

As rotações II e III são responsáveis pela ocupação dos maiores percentuais em relação à área irrigada total. Associado a isso, tem-se o fato de essas mesmas rotações serem caracterizadas por elevadas vazões unitárias requeridas em meses nos quais as demandas superam as disponibilidades. A rotação I, embora caracterizada por menor percentual de área ocupada que a II e a III, apresenta as maiores vazões unitárias para o mês de maio.

Buscou-se, a partir dessas informações, avaliar o impacto de duas modificações nas datas de semeadura, a fim de reduzir as demandas nos meses de conflito. Para essa avaliação, no presente estudo não foram considerados os aspectos referentes a medidas fitossanitárias.

- Modificação 1: antecipação em um mês na semeadura de todas as culturas referentes às rotações II e III.
- Modificação 2: atraso em um mês na semeadura do algodão na rotação I.

Na Figura 10 é apresentado o comparativo das vazões requeridas pela irrigação no trecho 762447 para o calendário original e com as modificações.

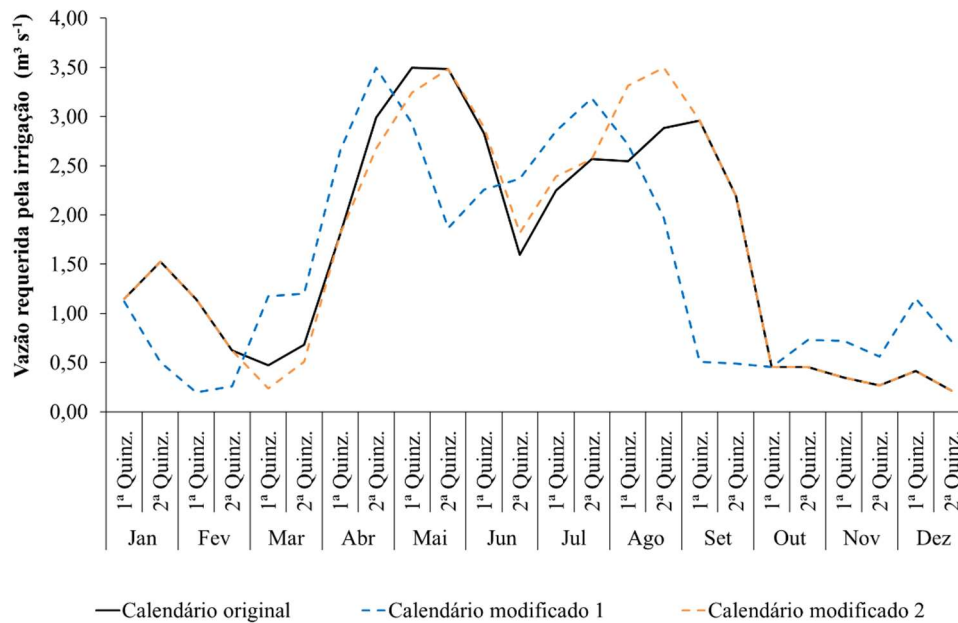


Figura 10 - Vazões requeridas pela irrigação no trecho 762447, considerando o calendário de cultivo original e com modificações nas datas de semeadura.

Observa-se, na análise das modificações avaliadas, que o calendário considerado como original é o mais eficiente com relação ao uso da água, uma vez que as alterações nas datas de semeadura promoveram não apenas o deslocamento dos picos de demanda, mas também sua elevação em meses conflituosos. Na modificação 1 isso ocorreu devido às demandas associadas ao milho e ao feijão na fase de crescimento intermediária, de máximo coeficiente de cultivo no ciclo, ter sido transferida de agosto para o mês de julho. Embora este último não possua maior taxa evapotranspirométrica que os meses seguintes, a presença do algodão na área irrigada faz com que a vazão unitária do hectare equivalente seja maior que a do mês de setembro. Na modificação 2 a demanda do algodão na fase de crescimento final foi transferida de julho para agosto, de maior taxa evapotranspirométrica. Silva (2014) avaliou diferentes datas de semeadura para as rotações predominantes na bacia do ribeirão Entre Ribeiros e também concluiu que o calendário atualmente praticado é o mais adequado para o uso eficiente da água.

Uma outra alternativa que pode contribuir como uma técnica a ser adotada em condições em que a oferta de água apresenta restrições é a aplicação de irrigação com déficit, a qual consiste na aplicação de uma quantidade de água inferior à evapotranspiração do solo e da cultura (FERERES; SORIANO, 2007).

Na Figura 11 é apresentado o déficit percentual da vazão requerida pela irrigação em relação à vazão mínima mensal no trecho 762447. Evidenciam-se, para os meses de menor e

maior conflito, variações de cerca de 5% a 25%, respectivamente. Esses valores indicam a ordem de magnitude das reduções de demanda hídrica necessárias para a compatibilização das demandas à disponibilidade hídrica mensal em condições a fio d'água.

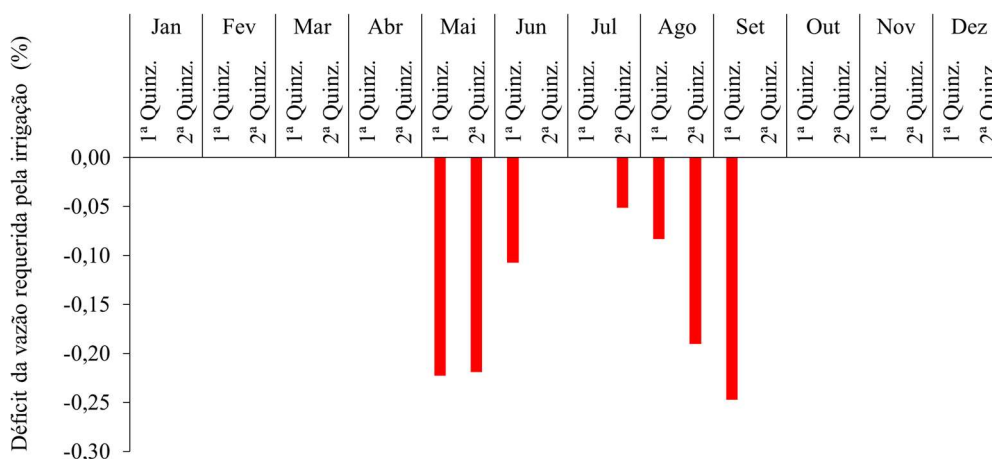


Figura 11 - Déficit percentual da vazão requerida pela irrigação em relação à vazão mínima mensal no trecho 762447.

No primeiro semestre do ano, a necessidade de aplicação de irrigação com déficit para a área de estudo estaria afeta à reduções nas lâminas de água durante a fase de crescimento intermediária do algodão e do milho, e, no segundo, as fases de desenvolvimento e intermediária do milho e intermediária e final do feijão. Em ambos os períodos é também necessário reduzir a lâmina na cultura do café.

É importante salientar que a aplicação do déficit para redução do consumo de água deve respeitar os aspectos relacionados à fisiologia vegetal, a qual define para cada cultura diferentes respostas com a redução das lâminas de irrigação, tendo impacto direto na produção. Ressalta-se também a necessidade de se levar em conta a salinidade do solo para aplicação do déficit (DU et al., 2015).

Diversos estudos na literatura comprovam as vantagens associadas à aplicação de irrigação com déficit. English (1990) e Fereres e Soriano (2007) descrevem o comportamento genérico da produtividade das culturas em função da quantidade de água aplicada, que se trata de uma relação inicialmente linear e posteriormente curvilínea, mostrando que o uso da água é menos eficiente com a aproximação da lâmina de irrigação total. Capurro et al. (2017), em estudo sobre aplicação de irrigação com déficit na cultura da soja no Uruguai, concluíram ser possível, sem prejuízos no rendimento final, a redução de 22% de água em relação à demanda

hídrica total durante o ciclo de cultivo. Chuanjie et al. (2015) avaliaram a aplicação de déficits na cultura do algodão em uma região árida no noroeste da China e encontraram perdas inferiores a 10% para a redução de 15% e 30% da evapotranspiração, tendo considerado o resultado aceitável diante do benefício de economia de água na região. Zang et al. (2016), após realização de experimento também na China, defendem que o aumento da densidade das plantas pode ser uma medida a ser tomada para aplicação da irrigação com déficit sem redução de rendimento em áreas áridas. Seid e Narayanan (2015) observaram, em experimento realizado na Etiópia, que a aplicação de 100% e 85% da evapotranspiração da cultura não mostrou diferença significativa na produtividade da cultura do milho.

De acordo com Silva (2014), há situações em que mesmo a consideração das variações da disponibilidade hídrica mensal a fio d'água não é suficiente para o atendimento das demandas, sendo necessário o armazenamento de água em reservatórios. A variação da disponibilidade e das demandas ao longo do ano permite o acúmulo de considerável excedente nos períodos de baixo consumo para utilização nos curtos períodos em que existe déficit. Assim, o padrão da disponibilidade da água ao longo do tempo pode ser alterado de forma a ser adequado ao das demandas (SETTI et al., 2000). A captação de água em reservatórios é uma das principais alternativas para lidar com a variabilidade existente nas ofertas e demandas hídricas (DENG et al., 2020).

Em estudo realizado para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros, Oliveira (2011) observou que, mesmo usando o critério de 50% da  $Q_{7,10}$  mensal para atendimento das vazões outorgadas, seria necessária a construção de estruturas de regularização em diversos trechos da hidrografia. Pruski et al. (2007) evidenciaram, para determinada seção também da bacia citada, que a vazão demandada pela irrigação foi correspondente a 85,1% da  $Q_{7,10}$  no mês de agosto, enquanto para o mesmo período o consumo da vazão média considerando diversos setores usuários, incluindo irrigação, foi de apenas 2,1% da vazão média de longa duração.

Assim, uma terceira alternativa à adequação das demandas no trecho 762447 seria o armazenamento de água. Nesse caso, observa-se, na Figura 5, que o volume correspondente à vazão excedente de poucos meses que antecedem ao déficit seria suficiente.

Na Figura 12 é representado o trecho 762444, localizado em posição de cabeceira, no centro-oeste da bacia do rio Branco. De acordo com resultado apresentado para a  $\Delta DH$ , nessa posição há excedência da disponibilidade hídrica anual a fio d'água de 628,9%, a máxima observada no estudo.

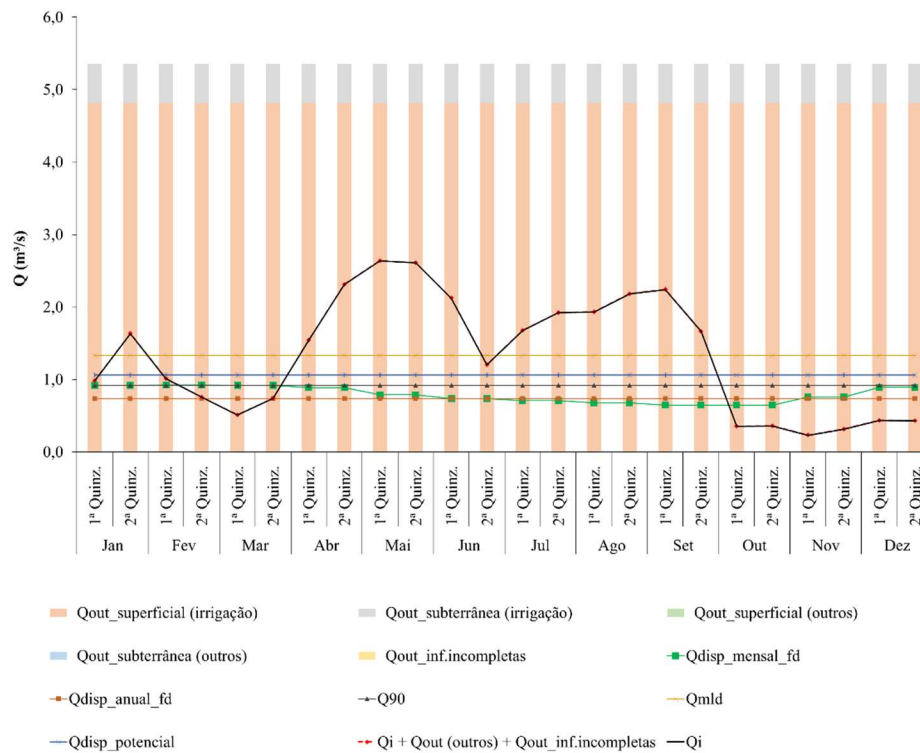


Figura 12 - Representação da distribuição das disponibilidades e demandas hídricas ao longo do ano no trecho 762444.

A avaliação da representatividade das vazões outorgadas para irrigação evidencia valores no mínimo cerca de duas vezes maior que a as vazões requeridas estimadas. Embora a substituição da consideração das vazões outorgadas pela estimada com base na área irrigada e nas vazões unitárias requeridas pelo hectare equivalente atenua expressivamente o conflito existente no trecho, ainda é observado um grande desequilíbrio entre as demandas e a oferta hídrica em condições a fio d'água, tanto anual quanto mensal. Em alguns meses para essa situação, a vazão requerida pela irrigação supera até mesmo a vazão média anual de longa duração.

Esse contexto implica que a adoção de práticas de irrigação com déficit, mudanças nos calendários de cultivo e armazenamento do excesso de água dos meses anteriores ao déficit sejam pouco efetivos. A alternativa a ser avaliada diante dessa situação é a exploração da disponibilidade hídrica potencial da bacia, por meio de estruturas de regularização de vazões.

De acordo Lehner et al. (2011), estruturas de regularização de vazões permitem a mitigação de inundações, o fornecimento de água e energia hidrelétrica, que favorecem melhores condições de saúde, aumento da produção de alimentos e crescimento econômico. Metade dos grandes reservatórios do mundo foram construídos exclusiva ou principalmente

para irrigação, e cerca de 30 a 40% dos 268 milhões de hectares de terras irrigadas em todo o mundo dependem de barramentos (HAMADA, 2017).

Estima-se que o volume necessário para o atendimento dos déficits existentes no trecho 762444 corresponda a cerca de 93,8% do total do potencial disponível, o qual foi considerado desprezando o efeito de evaporação, os custos inerentes à implantação das estruturas e as dificuldades pertinentes à regularização de vazões na região em função das formações hidrogeológica.

A implantação de estruturas de regularização deve ser devidamente acompanhada de um estudo de viabilidade, considerando o tipo e fim da barragem, o impacto socioeconômico, os fatores relacionados à meteorologia, à hidrologia e à geologia, o impacto ambiental e as respectivas medidas de mitigação (ANA, 2014).

Ressalta-se que o estudo não entra no mérito do quão permissível é o critério de outorga considerado. A  $Q_{95}$  e a  $Q_{7,10}$  são vazões mais conservadoras, com maior garantia que a  $Q_{90}$ , de modo que Estados do semiárido autorizam a emissão de outorgas até limites de percentuais superiores em comparação aos situados em áreas de maiores disponibilidades hídricas, como Minas Gerais, Paraná e São Paulo (ANA, 2011).

Por fim, o plano de gestão para adequação desse trecho exige uma combinação de medidas, visto a inexistência de uma solução única passível de ser aplicada.

#### **4 CONCLUSÃO**

A metodologia permitiu uma caracterização mais realística das condições de demanda e disponibilidade hídrica da bacia, bem como a avaliação de potenciais medidas a serem avaliadas em condições de conflitos.

A aplicação dos planos legal e operacional evidenciou a necessidade de aproximação entre a condição em que o sistema gestor opera e a que de fato caracteriza as bacias hidrográficas. O plano operacional permite a análise conjunta dos diversos cenários de uso da água, com potencial de evitar situações em que a vazão outorgada seja muitas vezes superior, uma vez que é baseado em um conhecimento muito mais criterioso tanto das demandas quanto da disponibilidade.

O plano operacional associado ao uso compartilhado exige uma mudança de postura por parte dos setores usuários, visto que o planejamento do uso da água envolve a participação e acordo de todos os envolvidos em condição de conflito.

O estudo evidencia a necessidade de que a gestão de recursos hídricos seja realizada trecho a trecho da hidrografia, a fim de não diluir problemas que possam no futuro gerar riscos de desabastecimento, o qual não é vantajoso ao meio ambiente, aos gestores e aos usuários de água de modo geral.

## CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação das metodologias desenvolvidas permitiu a obtenção de informações essenciais ao planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da irrigação, permitindo a caracterização de áreas e períodos com potencialidades de expansão do uso da água e, quando essa não é mais possível, a avaliação de medidas que possam promover um maior aproveitamento do uso da água nos sistemas já implantados.

O hectare equivalente proposto se apresentou como uma ótima alternativa a estimativa de vazões requeridas pela irrigação de determinada região, podendo ser mais representativo quanto mais informações tiverem disponíveis sobre as culturas irrigadas.

As variações das vazões requeridas pela irrigação do hectare equivalente ao longo do ano possibilitam a identificação dos períodos e culturas que caracterizam a situação mais crítica da bacia, podendo servir como base para avaliação de cenários com alterações nos planos de rotação, datas de semeadura, aplicação de déficits hídricos, visando posterior avaliação do efeito dessa ação na hidrografia.

Evidencia-se uma grande necessidade de aproximação do conhecimento das condições de disponibilidades e demandas pelo órgão gestor a que de fato caracteriza as bacias hidrográficas. Nesse sentido, o plano operacional se apresenta como uma importante ferramenta, permitindo a análise da real condição de uso da água, bem como de cenários possíveis, a fim de evitar situações em que a vazão outorgada seja muitas vezes superior, uma vez que é baseado em um conhecimento muito mais criterioso da bacia.

Os resultados de ambas as metodologias evidenciam a necessidade de que a gestão de recursos hídricos seja realizada trecho a trecho da hidrografia.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Caderno de recursos hídricos: disponibilidades e demandas de recursos hídricos no Brasil*. Brasília: ANA, 2005a. 134 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Caderno de recursos hídricos: diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país – Diretrizes e prioridades*. Brasília: ANA, 2005b. 153 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Cadernos de capacitação em recursos hídricos: outorga de direito de uso dos recursos hídricos*. Brasília: SAG, 2011. versão.1, v.6, 50 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012*. Brasília: ANA, 2012. 215 p. Edição especial.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos*. Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília: 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Produto 10: Manual de segurança de pequenas barragens. Parte I - Revisão das boas práticas de segurança de barragens de pequena dimensão*, 2014. 66 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas*. Brasília: ANA, 2017a. 86 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno*. Brasília: ANA, 2017b. 169 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual*. Brasília: ANA, 2018. 72 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil / Agência Nacional de Águas, Embrapa Milho e Sorgo*. 2. ed. Brasília: ANA, 2019a. 47 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual*. Brasília: ANA, 2019b. 100 p.
- ALLEN, R. G. *Ref-ET- Reference evapotranspiration calculator, 3.1.15*. Idaho: University of Idaho Research and Extension Center Kimberly, 2013.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage – 56).
- ALMEIDA, W. A.; MOREIRA, M. C. Índices de conflito pelo uso da água na bacia do rio Grande. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23, 2019, Bento Gonçalves. *Anais...* Bento Gonçalves -RS, 2013.
- ASSIS, F. D.; ARRUDA, H. D.; PEREIRA, A. D. *Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática*. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 1996. 161 p.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. *Manual de irrigação*. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019. 545 p.

BOF, L. H. N. *Análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos*. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010.

BRUINSMA, J. *The Resource Outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050?* Rome, 2009. P. 24-26. (Prepared for the FAO Expert Meeting on ‘How to Feed the World in 2050’).

BUREK, P.; SATOH, Y.; FISCHER, G.; KAHIL, M. T.; SCHERZER, A.; TRAMBEREND, S.; NAVA, L. F.; WADA, Y.; EISNER, S.; FLÖRKE, M.; HANASAKI, N.; MAGNUSZEWSKI, P.; COSGROVE, B.; WIBERG, D. *Water futures and solution: fast track initiative (final report)*. Laxenburg, Austria: IIASA Working Paper, 2016.

CAPURRO, M. C.; BERETTA, A.; GARCÍA, C.; SAWCHIK, J.; PUPPO, L. Rendimiento de la soja en respuesta a distintas dosis y momentos de riego. *Agrociencia Uruguay*, v. 21, n. 2, p. 65-76, 2017.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. *Revista de Política Agrícola*, v. 22, n. 1, p. 115-127, 2013.

CHUANJIE, Y. A. N. G.; YI, L. U. O.; LIN, S. U. N.; NA, W. U. Effect of deficit irrigation on the growth, water use characteristics and yield of cotton in arid Northwest China. *Pedosphere*, v. 25, n. 6, p. 910-924, 2015.

COSTA, J. V. M.; TYBUSCH, J. S. Uma abordagem crítica sobre a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos no Brasil. In: SEMANA ACADÊMICA FADISMA ENTREMENTES, 12., 2015. *Anais...* [S.l. : s.n.], 2015.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. *Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Sistema Aquífero Urucua. Bacia sedimentar Sanfranciscana* /Paulo Cesar Carvalho M. Villar, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012. il. v.10, 43 p.

DENG, X.; SONG, C.; LIU, K.; KE, L.; ZHANG, W.; MA, R.; ZHU, J. WU, Q. Remote sensing estimation of catchment-scale reservoir water impoundment in the upper Yellow River and implications for river discharge alteration. *Journal of Hydrology*, 124791, 2020.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Roma: FAO, 1994. (Irrigação e Drenagem – 33).

DU, T.; KANG, S.; ZHANG, J.; DAVIES, W. J. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China’s food security. *Journal of Experimental Botany*, v. 66, n. 8, p. 2253-2269, 2015.

ENGLISH, M. Deficit irrigation. I: analytical framework. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 116, n. 3, p. 399-412, 1990.

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. *Revista Item - Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília, v. 71/72, 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA – FAO. *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*. Rome, 2011a.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA – FAO. *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. Rome and Earthscan, London: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011b.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA – FAO. *Agricultura irrigada sustentável no Brasil: identificação de áreas prioritárias* / Editores: José Roberto Borghetti, Washington L. C. Silva, Helder Rafael Nocko, Luís Nicolas Loyola, Gustavo Kauark Chianca. Brasília, 2017. 243 p.

FAURÈS, J. M.; SANTINI, S. (ed.). *Water and the rural poor: interventions for improving livelihoods in Sub-Saharan Africa*. Rome: FAO, 2008.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL – FEPAM. *Relatório de atividades: inventário dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da bacia hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo*. Capítulo 3: Avaliação Quantitativa da Disponibilidade Hídrica Superficial. 2003. 76 p.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, v. 58, n. 2, p. 147-159, 2007.

GASPAR, M. T. P. *Sistema Aquífero Urucuia: caracterização regional e propostas de gestão*. 2006. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

GONÇALVES, R. D.; CHANG, H. K. Modelo hidrogeológico do sistema aquífero Urucuia na bacia do rio Grande (BA). *Geociências*, v.36, n. 2, p. 205-220, 2017.

HAMADA, Y. M. *The Grand Ethiopian Renaissance Dam, Its Impact on Egyptian Agriculture and the Potential for Alleviating Water Scarcity*. Springer. 2017. 187 p.

HLPE. *Water for food security and nutrition*. Rome, 2015. (A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security).

INSTITUTO BIOATLÂNTICA - IBIO / FUNDAÇÃO DE APOIO A UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - FUNARBE. Relatório técnico: *Estudos de aprimoramento dos mecanismos de cobrança da bacia hidrográfica do Rio Doce*, Viçosa, 2013.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: IGAM, 2010.

LAURANCE, W.F.; SAYER, J.; CASSMAN, K.G. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 29, n. 2, p. 107-116, 2014.

LEHNER, B.; LIERMANN, C. R.; REVENGA, C.; VÖRÖSMARTY, C.; FEKETE, B.; CROUZET, P.; DÖLL, P.; ENDEJAN, M.; FRENKEN, K.; MAGOME, J.; NILSSON, C.; ROBERTSON, J. C.; RÖDEL, R.; SINDORF, N.; WISSER, D. High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 9, n. 9, p. 494-502, 2011.

MAMUN, A. A.; HASHIM, A.; DAOUD, J. I. Regionalisation of low flow frequency curves for the Peninsular Malaysia. *Journal of Hydrology*, v. 381, n. 1, p. 174 -180, 2010.

MARQUES, P. E.; COSTA TEIXEIRA, E. Sistema de apoio à decisão para alocação de água na agricultura irrigada em nível de microbacia hidrográfica. *Ribagua*, v. 6, n. 1, p. 63-77, 2019.

MONTE, B. R.; PEREIRA, J. R.; BARRANCO, J. F. A. A agricultura irrigada na região do semiárido legal mineiro: um estudo sobre os avanços e impactos ambientais. *Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo*, v. 4, n. 6, p. 222-248, 2019.

MENDONÇA, J. O. O potencial de crescimento da produção de grãos no Oeste da Bahia. *Bahia Agrícola*, v. 7, n. 2, p. 38-46, 2006.

NARAYANAN, K.; SEID, M. M. Effect of deficit irrigation on maize under conventional, fixed and alternate furrow irrigation systems at Melkassa, Ethiopia. *International Journal of Engineering Research & Technology*, v. 4, n. 11, p. 119-126, 2015.

NUNES, A. A. *Reservatórios de acumulação de água: novas propostas para o dimensionamento e representação dos seus efeitos*. 2013. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2013.

OLIVEIRA, J. R. S. *Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do ribeirão Entre Ribeiros*. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2011.

OLIVEIRA, J. R.; PRUSKI, F. F.; NUNES, A. D. A. Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do Ribeirão entre Ribeiros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 4, p. 157-172, 2013.

OLIVEIRA, L. T.; LUZ, J. A. G. D.; CAMPOS, J. C. V.; LIMA, O. A. L. D.; LEAL, L. R. B. *Comportamento hidrogeológico do Grupo Urucuia: sub-bacias dos rios Formoso e Arrojado*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. *Anais...* Natal-RN, 2008.

OLIVEIRA, L.; TALAMINI, E. Water resources management in the Brazilian agricultural irrigation. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, v. 2, n. 7, p. 123-133, 2010.

PASSOS, A. L.; ROCHA, S. S.; HADLICH, G. M. Evolução do uso do solo e agronegócio na região oeste do Estado da Bahia. *Cadernos de Geociências*, v. 7, n. 1, 2010.

PAULA, C. O. *Conflitos pelo uso da água na bacia do rio Claro e seus impactos na atividade agrícola*. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2014.

PIAU, L. P. A. *Controle de vazões outorgadas: estudo de caso da bacia do São Francisco*. 2014. 197 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília – Distrito Federal, 2014.

PRUSKI, F. F. Sustentabilidade hídrica no Oeste da Bahia. *AIBA Rural: A Revista do Agronegócio da Bahia*, v. IV, n 9, p. 10-11, 2018.

PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; SILVA, L. M. C.; 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.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. D. G.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M.; TEIXEIRA, A. F. Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na bacia do Paracatu. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 2, p. 199-210, 2007.

PRUSKI, F. F.; PRUSKI, P. L. Tecnologia e inovação frente a gestão de recurso hídricos. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. (ed.). *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p. 27- 58.

RAMOS, D. D.; PEREIRA, S. B.; ARAI, F. K.; SANTOS, F. A. D.; CARNEVALI, T. D. O. Water seasonality in granting permits and impact of irrigation in the Dourados River basin, MS, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 7, p. 499-504, 2017.

RAPSOMANIKIS, G. *The economic lives of smallholder farmers: an analysis based on household data from nine countries*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2015.

RIBEIRO, R. B. R. *Otimização do processo de estimativa da disponibilidade hídrica*. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2020.

RIBEIRO, R. B.; PRUSKI, F. F.; RAMOS, M. C. A. Disponibilidade hídrica em condições de regularização de vazão. *Sustentare*, v. 2, n. 2, p. 210-217, 2018.

RIBEIRO, R. B.; SERRANO, L. O.; OLIVEIRA, J. R. S.; GENEROSO, T. N.; RAMOS, M. C. A.; PRUSKI, F. F. *Variabilidade sazonal das vazões mínimas em três bacias hidrográficas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu-PR, 2019.

RODRIGUES, L. N.; DOMINGUES, A. F. *Agricultura irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável*. Brasília, DF: Embrapa Cerrados - Livro técnico (INFOTECA-E), 2017.

RODRIGUEZ, R. D. G. *Proposta conceitual para a regionalização de vazões*. 2008. 181 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2008.

RODRIGUEZ, R. D. G.; PRUSKI, F. F.; NOVAES, L. D.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M.; TEIXEIRA, A. F. Vazões consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano

(urbano e rural) na bacia do Paracatu no período de 1970 a 1996. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 223-234, 2006.

SAAD, J. C. C.; FRIZZONE, J. A. Estudo da distribuição de frequência da precipitação pluvial visando o dimensionamento de sistemas de irrigação. *Irriga*, v. 3, n. 1, p. 13-19, 1998.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. D. M.; PEREIRA, I. D. C. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p.

SILVA, B. M. B. D.; SILVA, D. 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.

SILVA, M. G.; PAIVA, R. F. Potencialidades do Oeste. *AIBA Rural: A Revista do Agronegócio da Bahia*, v. IV, n. 11, p. 26-27, 2018.

SILVA, M. V. *Adequação da disponibilidade hídrica com a demanda de água na agricultura*. 2014. 104 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2014.

SMAKHTIN, V. U. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, v. 240, n. 3-4, p. 147-186, 2001.

SOUSA, J. R. C. Sistema de Informações Hidrológicas para o Oeste da Bahia (SIHBA-Oeste). Disponível em: <http://aiba.org.br/modulo-de-visualizacao/>, 2018.

NAÇÕES UNIDAS, DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS, DIVISÃO DE POPULAÇÃO – UNDESA. *Perspectivas da população mundial: a revisão de 2017, as principais conclusões e as tabelas de avanço*. ESA / P / WP / 248, 2017.

UNITED NATION. *Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation*. New York: United Nations, 2018.

WADA, Y.; FLÖRKE, M.; HANASAKI, N.; EISNER, S.; FISCHER, G.; TRAMBEREND, S.; WIBERG, D.. Modeling global water use for the 21st century: Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, v. 9, p. 175-222, 2016.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. *Manual on low flow estimation and prediction*. Koblenz, Germany, 2008. (Operational Hydrology Report No. 50/WMO Publication No. 1029).

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME – WWAP. *The United Nations World Water Development Report 3: water in a changing world*. Paris: Unesco; London: Earthscan, 2009.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME – WWAP. *The United Nations World Water Development Report 2019: leaving no one behind*. Paris: Unesco, 2019.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME – WWAP. *The United Nations World Water Development Report 2018: nature-based solutions for water*. Paris: Unesco, 2018.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME – WWAP. *The United Nations World Water Development Report 4: managing water under uncertainty and risk*. Paris: Unesco, 2012. vol. 1.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME – WWAP. *World Water Development Report 2015: water for a sustainable world*. Paris: Unesco, 2015.

ZHANG, D.; LUO, Z.; LIU, S.; LI, W.; DONG, H. Effects of deficit irrigation and plant density on the growth, yield and fiber quality of irrigated cotton. *Field Crops Research*, v. 197, p. 1-9, 2016.