

CENÁRIO TENDENCIAL DE COMPROMETIMENTO HÍDRICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MATEUS - ES

DOI: 10.19177/rgsa.v8e32019172-192

Lorena Gregório Puppini¹
Bruno Pertele Vaneli²
Luana Lavagnoli Moreira³
Rafael Rezende Novais⁴

RESUMO

Nesse estudo analisou-se o cenário tendencial do comprometimento hídrico na porção capixaba da bacia hidrográfica do rio São Mateus, norte do Espírito Santo. Para isso foi estimada a disponibilidade hídrica da bacia a partir de equações de regionalização e foram levantadas as demandas hídricas dos seus principais setores usuários de água. Para análise do comprometimento hídrico utilizou-se o índice Water Exploitation Index (WEI). Como resultado, verificou-se uma predominância do uso de água com fins de irrigação em toda a bacia, cujo percentual de uso alcançou valores da ordem de 98% nas porções média e alta da bacia. Quanto ao índice WEI, observou-se atualmente uma situação preocupante em determinadas porções da bacia, com 17,4% da disponibilidade hídrica já comprometida com as atuais demandas. A tendência para o horizonte de 20 anos será de agravamento do comprometimento hídrico, com essa relação chegando a 20,5%. Diante o cenário exposto, identificaram-se áreas prioritárias para investimento em medidas de gerenciamento da demanda dos recursos hídricos, principalmente para o setor de irrigação, indicando a necessidade de utilização de técnicas mais eficientes do uso da água e da adoção de outros instrumentos de gestão, como a outorga coletiva, de forma a alcançar a sustentabilidade hídrica da bacia.

Palavras-chave: Demanda hídrica. Disponibilidade hídrica. Gestão de recursos hídricos.

¹ Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Pesquisadora na Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH). E-mail: lorenapuppini@hotmail.com

² Doutorando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail: brunopvaneli@gmail.com

³ Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lavagnoliluana@gmail.com

⁴ Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) - Universidade de São Paulo (USP). Analista Ambiental em Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA). E-mail: rafael.rezende.novais@gmail.com

TENDENCY SCENARIO OF WATER STRESS IN THE SÃO MATEUS RIVER BASIN - ES

ABSTRACT

This study aimed to analyze the trend scenario of water compromise in the capixaba portion of the São Mateus river basin, north of Espírito Santo State. For this purpose, the basin water availability was estimated by regionalization equations and the basin water demands of its main water users sectors were raised. Water Exploitation Index (WEI) was used to analyze the water compromise. As results, there was a predominance of water use for irrigation purposes throughout the basin, whose percentage of use reached values of the order of 98% in the middle and upper portions of the basin. Regarding the WEI index, a worrying situation was observed in certain portions of the basin, with 17.4% of water availability already compromised with the current demands. The tendency for the 20-year horizon will be to aggravate the water deficit, with this ratio reaching 20.5%. Considering the scenario presented in the study, an immediately proposition of management and control measures of the water resources demand are recommended, mainly for the irrigation sector, indicating the need to use more efficient techniques of water use, in order to achieve the basin's water sustainability.

Key-words: Water demand. Water availability; Water resources management.

1 INTRODUÇÃO

A variabilidade temporal e espacial dos recursos hídricos somada ao crescimento populacional, ao desenvolvimento econômico, às alterações não planejadas do uso da terra e à degradação ambiental têm pressionado a disponibilidade hídrica quali-quantitativa em bacias hidrográficas (FU et al., 2017); (MATTOS et al., 2018). Além dessas questões, soma-se ao desafio da gestão integrada dos recursos hídricos, a complexidade e a consequência dos efeitos das mudanças climáticas (GRAFTON et al., 2013); (CHIARELLI et al., 2016).

Essa conjuntura tem atraído a atenção global, demandando ações para garantia da disponibilidade e gestão sustentável da água (GAIN; GIUPPONI, 2015); (ONU, 2015). Em função disso, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu entre as metas da Agenda 2030 a de aumentar consideravelmente a eficiência do uso

da água em todos os setores e a garantia de retiradas sustentáveis (ONU, 2015). Todavia, dados da Agência Nacional das Águas têm mostrado que a soma das retiradas de água no Brasil aumentará em 30%, até 2030, caso medidas não sejam tomadas (ANA, 2017).

À medida com que a disponibilidade hídrica regional diminui, há um acirramento da competição pelo uso dos recursos hídricos entre os setores usuários, demandando esforço em ações planejadas visando à alocação racional da água (PORTO; PORTO, 2008) e à minimização de potenciais conflitos. No Brasil, a Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433/1997) estabelece que essas ações sejam partes integrantes do Plano de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), mediante processos participativos.

Para a formulação de estratégias de planejamento dos recursos hídricos, é necessário que os planejadores e os gestores dos recursos hídricos conheçam a relação atual entre disponibilidade e demanda hídrica na bacia hidrográfica e seus cenários de variação no curto, médio e longo prazo (PORTO; PORTO, 2008); (ONU, 2015); (SHARVELLE et al., 2017).

O diagnóstico da relação entre a disponibilidade e a demanda hídrica requer: geração de informações hidrológicas consistentes e sua análise, levantamento de dados sobre as demandas hídricas consuntivas existentes e sua análise, para subsidiar estratégias de alocação racional de água para os diferentes usuários (SAFAEI et al., 2013); (ADGOLIGN; RAO, 2014). Por outro lado, para a construção de cenários e prognósticos há a necessidade da adoção de metodologias preditivas (ASHOORI et al., 2017), particularmente em regiões onde a variação da condição hidrológica pode aumentar as incertezas na gestão dos recursos hídricos (FU et al., 2017), como é o caso de bacias hidrográficas afetadas por estiagens recorrentes.

A construção e análise de cenários possíveis, além do diagnóstico, é uma forma de subsidiar os planejadores e gestores dos recursos hídricos, sem condições de prever o futuro, em seu processo decisório, qualificando-o (IPEA, 2017).

Contudo, sabe-se que há um desafio em analisar cenários atuais e futuros de comprometimento hídrico de forma precisa. Entre as razões, destacam-se as incertezas associadas às mudanças climáticas, condições econômicas, crescimento populacional e atividades de conservação; fatores que impactam a demanda; e qualidade e quantidade limitada de dados e informações (WANG; DAVIES, 2018).

Nesse contexto, esse estudo avaliou o cenário tendencial de comprometimento hídrico da bacia hidrográfica do rio São Mateus, no estado do Espírito Santo, visando oferecer subsídios aos tomadores de decisão regionais em processos de gerenciamento dos recursos hídricos. Foram estimados os valores tendenciais das vazões de retirada para os usos consuntivos mais relevantes, comparando-os com a disponibilidade hídrica na condição de vazão média de longo período. O cenário tendencial foi projetado para o horizonte de planejamento de 20 anos, tomando-se como referência o ano de 2017.

2 METODOLOGIA

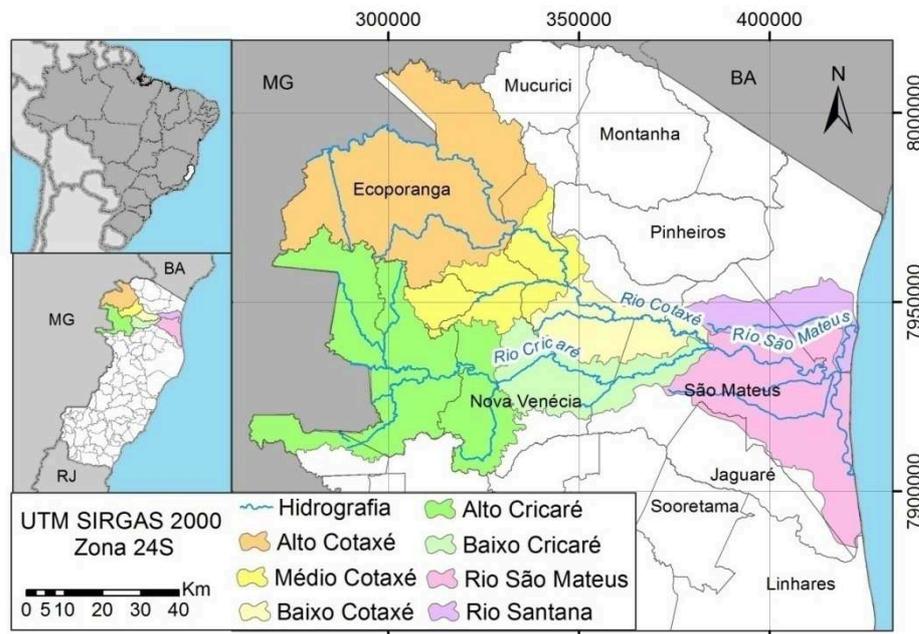
2.1 Área de estudo

O estudo se aplica à porção capixaba da bacia hidrográfica do rio São Mateus, localizada no norte do estado do Espírito Santo, com área de drenagem de 8.237 km². A bacia abrange completamente os municípios de Água Doce do Norte, Barra de São Francisco, Ecoporanga e Vila Pavão, e parcialmente os municípios de Boa Esperança, Conceição da Barra, Jaguaré, Mantenópolis, Nova Venécia, Ponto Belo e São Mateus.

A bacia do rio São Mateus apresenta alto percentual de usos antrópicos de cobertura do solo. Mais da metade da área da bacia (60%) está ocupada por pastagem e o percentual de remanescente florestal é de apenas 14% (AGERH, 2018). Um estudo conduzido pela CEDAGRO, em 2012, identificou que existia na bacia uma área agrícola degradada de 642,5 km² (7,8%), considerando cultivo de café, pastagem e silvicultura (CEDAGRO, 2012).

A área de estudo foi segmentada em sub-bacias, denominadas unidades de planejamento (UPs), as quais consistem em unidades territoriais com identidades homogêneas de aspectos físicos, socioculturais, econômicos e políticos. Essa divisão propicia uma melhor caracterização da área e gestão dos recursos hídricos. Foram definidas sete UPs, aprovadas pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus (CBH São Mateus) em oficina, sendo elas: Alto Cotaxé, Médio Cotaxé, Baixo Cotaxé, Alto Cricaré, Baixo Cricaré, Rio Santana e Rio São Mateus (Figura 1).

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio São Mateus e UPs



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

2.2 Estimativa da disponibilidade hídrica superficial

A disponibilidade hídrica superficial foi estimada para cada UP a partir de equações de regionalização de vazões e caracterizada em função da vazão média de longo termo (Q_{MLT}), conforme equação 1. Essa equação é proveniente da Nota Técnica SUORE/GRH/IEMA Nº 007/2013, utilizada em estudos hidrológicos para emissão de outorga de uso da água pela Agência Estadual de Recursos Hídricos do estado do Espírito Santo (AGERH).

$$Q_{MLT} = 8,6933 \cdot 10^{-6} \cdot AD^{0,7865} \cdot P^{1,2268} \quad (1)$$

Em que Q_{MLT} : vazão média de longo termo em m^3/s ; AD: área de drenagem em km^2 ; P: precipitação total média anual em mm. A precipitação total média anual para cada UP foi obtida por meio do *grid* meteorológico brasileiro elaborado por Xavier et al. (2015) de forma pontual.

2.3 Estimativa das demandas hídricas atuais

As demandas hídricas estimadas na bacia do rio São Mateus referem-se aos usos consuntivos caracterizados pelo abastecimento humano, irrigação de culturas agrícolas, criação de animais e abastecimento industrial.

Para a estimativa da demanda para abastecimento humano adotou-se a metodologia aplicada no trabalho "Estimativas das Vazões para as Atividades de Uso Consuntivo da Água em Bacias do Sistema Interligado Nacional - SIN" (ONS, 2005), considerando uma captação diária de 16 horas. O cálculo levou em conta as demandas rural e urbana, sendo a primeira baseada no valor de coeficiente de retirada rural, igual a 100 l/hab-dia, conforme ANA (2003), enquanto a demanda urbana variou de acordo com o número de habitantes de cada cidade inserida na bacia, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Coeficientes de retirada urbano per capita conforme a faixa populacional

| Faixa Populacional (habitantes) | Consumo <i>per capita</i> (l/hab-dia) |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| <10.000 | 200,0 |
| 10.000 - 100.000 | 230,0 |
| 100.000 - 500.000 | 265,0 |
| >500.000 | 310,0 |

Fonte: Adaptado de ANA (2003).

A partir dos valores de coeficientes de retirada urbano e rural de água e do quantitativo populacional de cada UP, aplicaram-se as equações 2 e 3 para o cálculo das demandas.

$$Q_U = 1,736.10^{-5} \times Popu \times CPu \quad (2)$$

$$Q_r = 1,736.10^{-5} \times Popr \times 100 \quad (3)$$

Em que Q_U : vazão de retirada para o abastecimento urbano em l/s; Q_r : vazão de retirada para o abastecimento rural em l/s; $Popu$: população urbana da UP em habitantes; $Popr$: população rural da UP em habitantes; CPu : coeficiente de retirada rural *per capita* da faixa na qual se enquadra a UP.

A estimativa da demanda de água destinada à criação animal também se baseou na metodologia da ONS (2005), na qual os rebanhos foram considerados uniformemente distribuídos no território municipal, logo, a demanda por UP refere-se à soma das demandas das parcelas dos municípios em seu território; e a captação de retirada nos mananciais superficiais, para este uso, foi de 12 horas diárias.

O cálculo levou em conta o coeficiente *per capita* de retirada de água para a criação de cada rebanho animal conforme Telles (2002): 50 l/dia para bovinos, bubalinos e equinos; 12,5 l/dia para suínos; 10 l/dia para ovinos e caprinos; e 0,36 l/dia para aves. Por sua vez, o número de cabeças de animais em cada UP levou em

conta o quantitativo de rebanho municipal disponível em IBGE Cidades (2016) e a porcentagem de área do município na UP. Dessa forma, empregou-se a equação 4 na estimativa da vazão de retirada para a criação animal.

$$Q_a = 2,315 \cdot 10^{-5} \times \Sigma[(\text{Rebanho}(\text{espécie}) \times q(\text{espécie}))] \quad (4)$$

Em que Q_a : vazão de retirada para criação animal por UP em l/s; $\text{rebanho}(\text{espécie})$: rebanho da UP para cada espécie animal; $q(\text{espécie})$: vazão *per capita* por rebanho animal em l/animal.dia.

A estimativa da demanda de água para irrigação considerou as seguintes situações: distribuição espacial da área plantada é proporcional à distribuição das áreas municipais por UP; área irrigada não varia ao longo do ano; culturas permanentes irrigadas utilizam irrigação localizada, e as culturas não permanentes irrigadas utilizam irrigação por aspersão convencional; captação de água superficial é de 8 horas diárias; vazão demandada por um dado cultivo, em cada UP, corresponde à média dos valores de vazão observados ao longo do ano para o referido cultivo; e vazão total demandada para irrigação em cada UP corresponde à soma das vazões médias estimadas para cada um dos cultivos identificados na UP.

O cálculo baseou-se na área irrigada de cada cultura referente ao ano de 2016, fornecida pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e na obtenção da lâmina bruta de irrigação (L_i), estimada por meio da equação 5, através das seguintes variáveis:

- Evapotranspiração real das culturas - obtida pelo produto entre evapotranspiração potencial da cultura e o coeficiente de umidade do solo. Sendo a primeira variável em função dos valores do coeficiente da cultura apresentado por Allen et al. (1998) e da evapotranspiração de referência estimada para o Brasil por Xavier et al. (2016), resultando em valores mensais por cultivo. Já os valores adotados para o coeficiente de umidade do solo foram iguais a 0,81 para a irrigação por aspersão convencional e 0,88 para a irrigação localizada (ONS, 2005);
- Precipitação efetiva mensal - obtida segundo metodologia de *United States Department of Agriculture* (USDA), descrita por Doorenbos e Pruitt (1992);
- Eficiência de aplicação dos sistemas de irrigação, iguais a 0,71 para irrigação por aspersão convencional e 0,79 para irrigação localizada (ONS, 2005).

$$L_i = \frac{ET_{rc} - P_{ef}}{E_a} \quad (5)$$

Em que L_i : lâmina bruta mensal de irrigação da cultura em mm/mês; ET_{rc} : evapotranspiração real mensal da cultura em mm/mês; P_{ef} : precipitação efetiva mensal da cultura em mm/mês; E_a : eficiência de aplicação.

De posse dos valores de lâmina bruta de água requerida por uma dada cultura e dos valores de área irrigada em cada UP foi possível estimar a vazão de retirada mensal (Q_{mi}) para fins de irrigação, por meio da equação 6.

$$Q_{mi} = 10 \cdot A_{mi} \cdot L_i \quad (6)$$

Em que Q_{mi} : vazão de retirada mensal para irrigação em m³/mês; A_{mi} : área irrigada mensal da cultura em ha; e "10" - fator de conversão de unidades (milímetro e hectare para metro). Em seguida, esse valor foi convertido para l/s, considerando uma captação de 8 horas diárias ao longo do ano. A estimativa da demanda de água para consumo industrial se baseou nos valores das vazões outorgadas AGERH e as vazões cadastradas como insignificantes no banco de dados de outorga.

2.4 Estimativa das demandas hídricas futuras

Para elaboração do cenário das demandas hídricas, considerou-se uma evolução tendencial a partir do observado no ano de 2017, com isso, assumiu-se que não haverá mudanças radicais e/ou abruptas em relação às demandas hídricas atuais. Dessa forma, foram realizadas projeções até o horizonte de planejamento de 20 anos, com cenários de curto (2021), médio (2029) e longo prazo (2037).

As projeções foram calculadas individualmente para as demandas de abastecimento humano, criação animal, irrigação e abastecimento industrial, através de taxas percentuais de crescimento anual, por município. As taxas foram obtidas por UP através da média ponderada das taxas de crescimento municipal considerando a porcentagem da área inserida de cada município na UP.

Para projetar a demanda de água para o abastecimento humano, foram utilizadas as taxas de crescimento populacional, obtidas pelo método AiBi, utilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para os municípios que apresentaram taxa negativa de crescimento populacional, adotou-se a menor taxa de crescimento municipal da bacia, e para município provavelmente atingido pelo desenvolvimento do setor do petróleo, acrescentou-se o percentual de 0,5% à taxa

estimada, como o caso do município de São Mateus.

A taxa de crescimento do uso da água para a criação animal foi obtida pelo método AiBi, com base nos dados de Produção Pecuária Municipal relativos aos anos de 2014, 2015 e 2016, obtidos no IBGE Cidades. Ressalta-se que foi necessário adotar percentuais de 0,5% ao ano para taxas negativas e de 5% ao ano quando as taxas geométricas de crescimento foram superiores a esse limite. Esse ajuste foi necessário devido ao longo horizonte de cenarização (20 anos), o que levaria a valores de demanda muito elevados e/ou irreais a longo prazo.

Para a aquisição da taxa de crescimento de cada cultivo irrigado, utilizou-se metodologia análoga à empregada para criação animal, com base nos dados do relatório de área colhida para os anos de 2014, 2015 e 2016, fornecido pelo Incaper. As taxas de crescimento para cultivos permanentes e temporários dos municípios da bacia variaram entre 0 a 5%.

Devido à carência de informações com relação ao crescimento do setor industrial na bacia hidrográfica do rio São Mateus, assumiu-se que esse crescimento é proporcional ao da demanda de energia. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, a taxa de crescimento da demanda de energia na região é de 3,6%. Uma vez que o crescimento industrial também acarreta o crescimento de demanda por água, a referida taxa foi empregada na estimativa das demandas futuras.

2.5 Avaliação do comprometimento hídrico

O comprometimento hídrico na bacia do rio São Mateus foi avaliado por meio do indicador *Water Exploitation Index* (WEI). O WEI avalia a razão entre a demanda total de retirada de água e a vazão média de longo período da bacia onde os usos consuntivos são realizados. Esse indicador é utilizado pela *European Environment Agency* e pelas Nações Unidas, e amplamente empregado como indicador de balanço hídrico em planos de recursos hídricos no Brasil. Para interpretação do balanço hídrico, o WEI apresenta as seguintes faixas de valores e classificações: <5% - situação excelente; 5% a 10% - situação confortável; 10% a 20% - situação preocupante; 20% a 40% - situação crítica; >40% - situação muito crítica.

Após calculado, o indicador foi espacializado por UP na bacia, assim foi possível avaliar os níveis de criticidade em relação ao comprometimento hídrico e a identificação de áreas prioritárias para promoção de ações visando garantia da

disponibilidade hídrica em cenários futuros.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Disponibilidade hídrica

Na Tabela 2 é apresentada a estimativa da Q_{MLT} , acumulada por unidade de planejamento, da bacia em estudo. Ressalta-se que no caso das UPs Alto Cotaxé e Alto Cricaré, a área de drenagem acumulada corresponde à soma entre a sua área de drenagem e área localizada no estado de Minas Gerais.

Tabela 2 - Disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus, por UP

| UP | Área de drenagem da UP (km ²) | Área acumulada (km ²) | Precipitação (mm/ano) | Q_{MLT} (m ³ /s) |
|----------------|---|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Alto Cotaxé | 2.246 | 6.042 | 1.133 | 45,7 |
| Médio Cotaxé | 811 | 6.854 | 1.111 | 49,3 |
| Baixo Cotaxé | 597 | 7.451 | 1.059 | 49,6 |
| Alto Cricaré | 1.964 | 3.812 | 1.115 | 31,2 |
| Baixo Cricaré | 735 | 4.548 | 1.059 | 33,7 |
| Rio São Mateus | 1355 | 13.355 | 1.135 | 85,5 |
| Rio Santana | 526 | 13.881 | 1.135 | 88,1 |

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Com relação à precipitação média anual, as UPs Baixo Cotaxé e Baixo Cricaré apresentam os menores valores observados na bacia, cerca de 1060 mm/ano. Em termos de disponibilidade hídrica, a UP Rio Santana é aquela que apresenta o maior valor de Q_{MLT} (88,1 m³/s). Por outro lado, a UP Alto Cricaré é a que possui a menor disponibilidade (31,2 m³/s), seguida da UP Baixo Cricaré (33,7 m³/s).

Porém, há de se destacar o caso particular da UP Rio Santana, onde a disponibilidade hídrica de 88,1 m³/s não está disponível em toda sua extensão, uma vez que o saldo hídrico total estimado na UP é oriundo da confluência do rio Santana com o rio São Mateus, próxima à foz da bacia. Dessa maneira, apenas a porção da UP Rio Santana localizada entre a referida confluência e a foz da bacia conta com esse saldo. Logo, na maior parte da UP Rio Santana (localizada à montante da confluência com o rio São Mateus, com área de 474,4 km²), a disponibilidade hídrica, em termos de Q_{MLT} , é de 6,2 m³/s.

3.2 Avaliação das demandas hídricas atuais e futuras

Na Tabela 3 são apresentados os valores das demandas hídricas de retiradas para o ano de 2017 e tendenciais (anos de 2021, 2029 e 2037) estimadas para cada uso consuntivo considerado.

Tabela 3 - Demandas hídricas (m³/s) de retiradas atuais e tendenciais, por tipo de uso e por UP, na bacia hidrográfica do rio São Mateus.

| Uso da água | Cena | Alto Cotaxé | Médio Cotaxé | Baixo Cotaxé | Alto Cricaré | Baixo Cricaré | Rio Santana | Rio São Mateus | Total (Bacia) |
|--------------------------|------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|----------------|---------------|
| Abastecimento humano | 2017 | 0,08 | 0,01 | 0,03 | 0,22 | 0,16 | 0,05 | 0,38 | 0,92 |
| | 2021 | 0,08 | 0,01 | 0,03 | 0,22 | 0,16 | 0,05 | 0,41 | 0,96 |
| | 2029 | 0,08 | 0,01 | 0,03 | 0,22 | 0,18 | 0,05 | 0,46 | 1,03 |
| | 2037 | 0,08 | 0,01 | 0,03 | 0,22 | 0,19 | 0,06 | 0,52 | 1,11 |
| Abastecimento industrial | 2017 | 0,02 | - | 0,01 | 0,03 | 0,02 | - | - | 0,08 |
| | 2021 | 0,03 | - | 0,01 | 0,04 | 0,02 | - | - | 0,09 |
| | 2029 | 0,03 | - | 0,01 | 0,05 | 0,03 | - | - | 0,11 |
| | 2037 | 0,04 | - | 0,01 | 0,05 | 0,03 | - | - | 0,13 |
| Criação animal | 2017 | 0,28 | 0,12 | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,06 | 0,10 | 0,80 |
| | 2021 | 0,28 | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,06 | 0,10 | 0,82 |
| | 2029 | 0,29 | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,10 | 0,06 | 0,10 | 0,85 |
| | 2037 | 0,30 | 0,13 | 0,10 | 0,08 | 0,10 | 0,06 | 0,11 | 0,89 |
| Irrigação | 2017 | 0,19 | 2,03 | 5,37 | 5,09 | 5,28 | 1,53 | 1,60 | 21,09 |
| | 2021 | 0,19 | 2,06 | 5,52 | 5,28 | 5,43 | 1,59 | 1,66 | 21,74 |
| | 2029 | 0,19 | 2,11 | 5,82 | 5,66 | 5,73 | 1,72 | 1,79 | 23,02 |
| | 2037 | 0,19 | 2,16 | 6,12 | 6,03 | 6,03 | 1,85 | 1,92 | 24,31 |

Nota: - sinal indicativo de ausência de outorga para uso industrial.

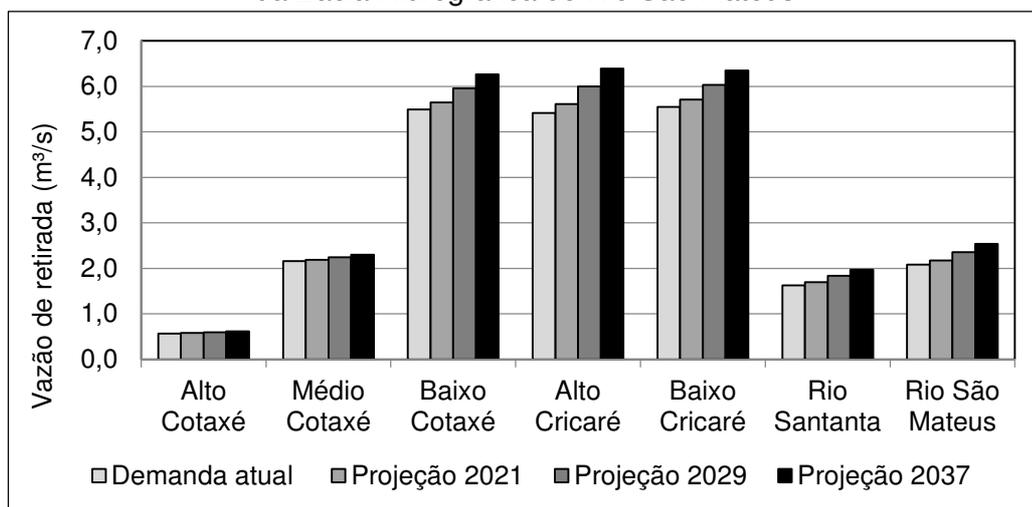
Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Observa-se que em relação às demandas hídricas de 2017 o setor de irrigação prepondera sobre as demais demandas, representando mais de 92% da demanda total de retirada (21,09 m³/s), seguido do setor industrial com 4%. Em termos percentuais e absolutos, as UPs Baixo Cotaxé (5,37 m³/s), Baixo Cricaré (5,28 m³/s) e Alto Cricaré (5,09 m³/s) são as que se destacam, com 97,7%, 95,2% e 94,1% da demanda total de água destinada para a irrigação, respectivamente. Em contrapartida, na UP Alto Cotaxé a demanda de água predominante provém da criação animal

(48,6%). Já na UP Rio São Mateus, além do elevado consumo de água para irrigação, destaca-se também a demanda para a setor de abastecimento humano (0,38 m³/s), representando 18,4% da demanda total da UP, devido, principalmente, à presença da sede urbana de São Mateus, município mais populoso da bacia.

Na Figura 2 é apresentando o panorama tendencial das demandas de retirada de água nas UPs da bacia hidrográfica do rio São Mateus. Nota-se que caso o cenário atual se mantiver, haverá o crescimento das demandas de água de todos os setores usuários. Verifica-se que maiores valores de vazão de retirada são identificados nas UPs Baixo Cotaxé, Alto Cricaré e Baixo Cricaré e os menores valores na UP Alto Cotaxé.

Figura 2 - Comparação da demanda hídrica atual e futura nas Unidades de Planejamento da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus

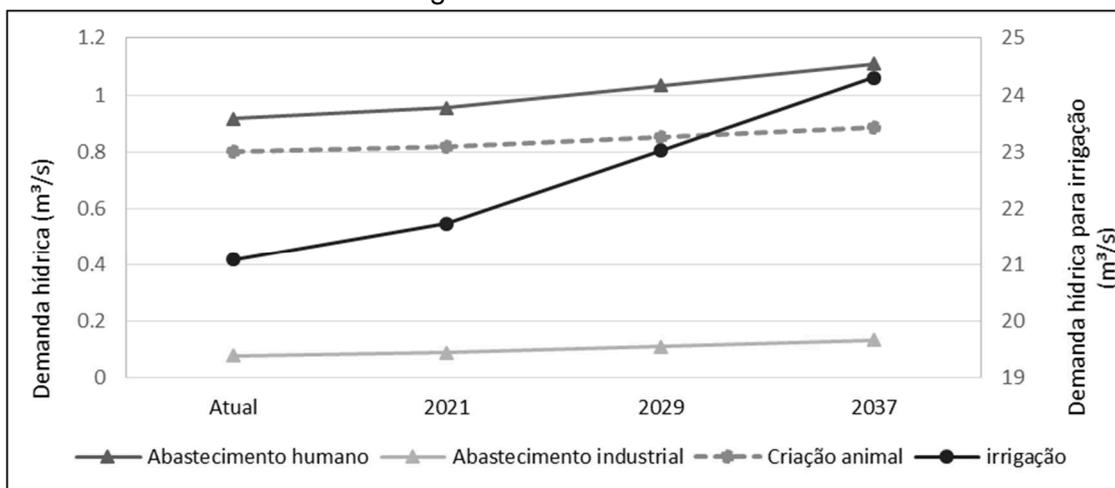


Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Dentre os setores usuários, o de irrigação é o que apresentou a maior taxa de crescimento, dando indicativos que é a demanda que mais tenderá a crescer, caso mantido o cenário atual. Além disso, os valores absolutos para o setor de irrigação são consideravelmente maiores que os das demais demandas existentes, passando de 21,09 m³/s na cena atual para 24,30 m³/s no horizonte de planejamento de 20 anos. Enquanto a demanda para irrigação apresenta um aumento mais pronunciado, as demandas para abastecimento humano, abastecimento industrial e criação de animais apresentam tênue aumento, conforme Figura 3.

É válido ressaltar a importância econômica do setor agropecuário na região norte do Espírito Santo, com grande destaque para o cultivo de café, sendo um importante agente na economia local. De forma complementar, a região é citada por ANA (2016) como um dos principais pólos nacionais de irrigação por pivô central, o que reforça o caráter de pressão do setor sobre os recursos hídricos regionais e a necessidade de maior investimento em sistemas de irrigação mais eficientes.

Figura 3 - Evolução tendencial das demandas hídricas por tipo de uso na bacia hidrográfica do rio São Mateus

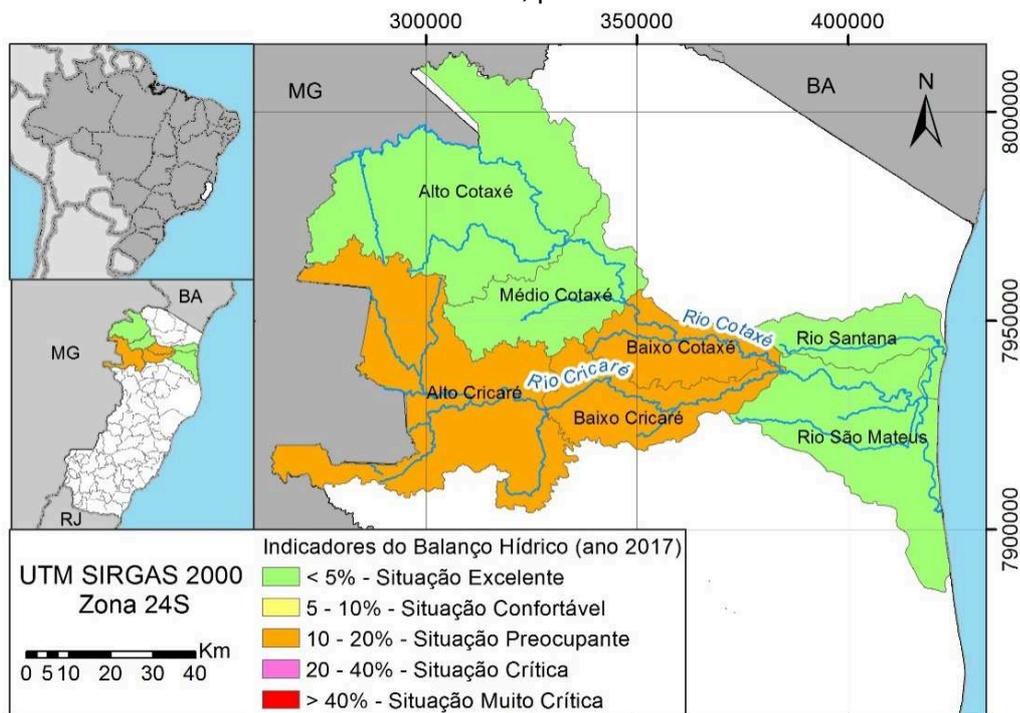


Revista Científica de Sustentabilidade e Ambiental
 Fonte: Dados da pesquisa (2018).

3.3 Avaliação do comprometimento hídrico tendencial

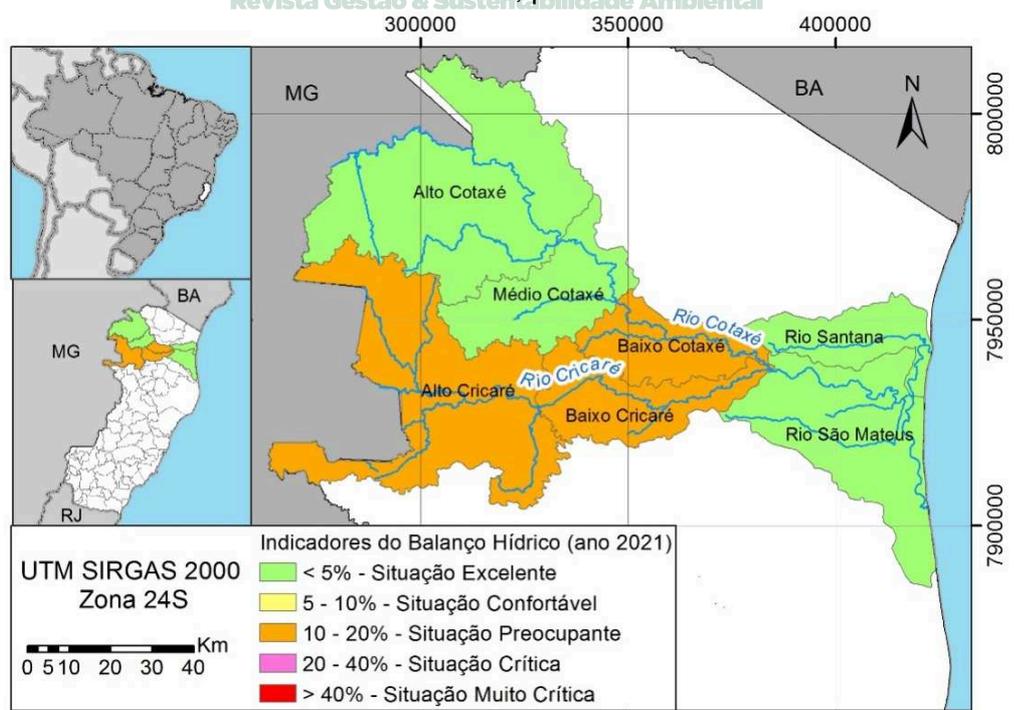
O resultado da aplicação do indicador WEI é apresentado nas figuras a seguir onde é possível verificar a distribuição do comprometimento hídrico em função da Q_{MLT} na bacia hidrográfica do rio São Mateus, para o cenário atual (Figura 4) e para os tendenciais de curto (Figura 5), médio (Figura 6) e longo prazo (Figura 7).

Figura 4 - Distribuição do balanço hídrico em função da Q_{MLT} na bacia hidrográfica do rio São Mateus, para 2017



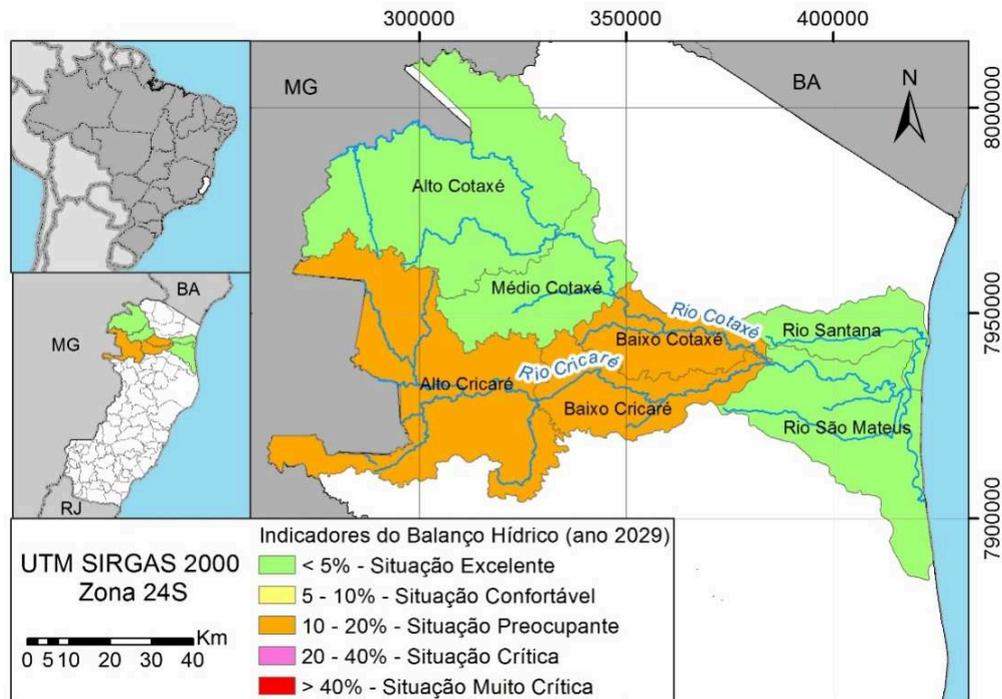
Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Figura 5 - Distribuição do balanço hídrico em função da Q_{MLT} na bacia hidrográfica do rio São Mateus, para 2021



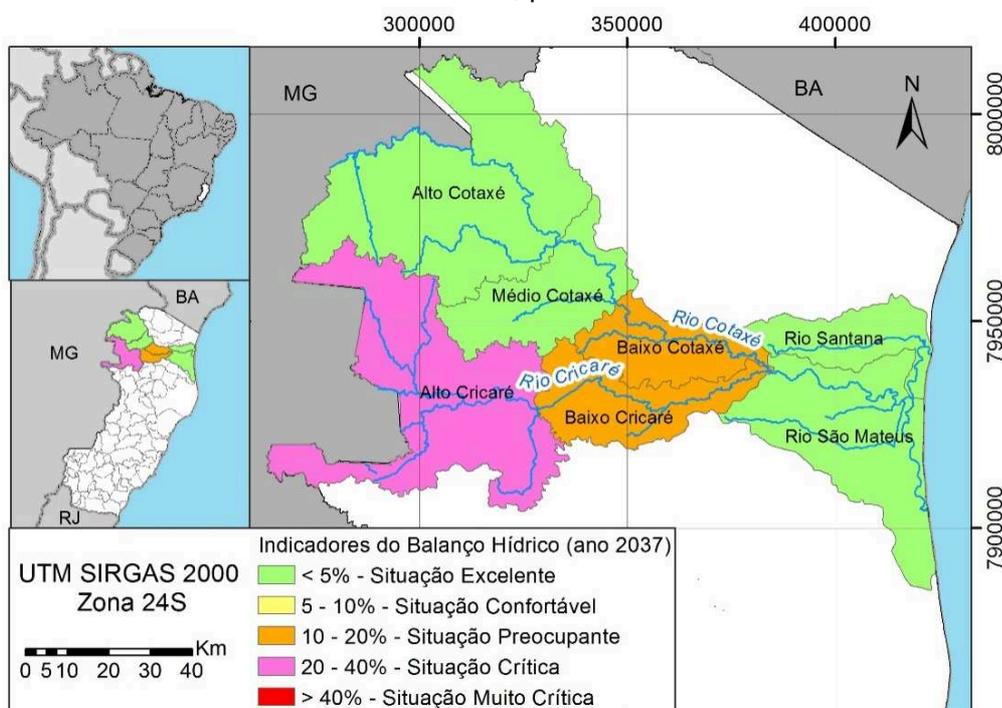
Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Figura 6- Distribuição do balanço hídrico em função da Q_{MLT} na bacia hidrográfica do rio São Mateus, para 2029



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Figura 7- Distribuição do balanço hídrico em função da Q_{MLT} na bacia hidrográfica do rio São Mateus, para 2037



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Observa-se que a situação em relação ao comprometimento hídrico na cena

atual é excelente nas UPs Alto Cotaxé ($WEI_{2017} = 1,2\%$), UP Médio Cotaxé ($WEI_{2017} = 4,4\%$), UP Rio Santana ($WEI_{2017} = 1,8\%$) e na UP Rio São Mateus ($WEI_{2017} = 2,4\%$). A situação excelente ocorre devido, entre outros, à soma dos efeitos dos valores relativamente baixos de demanda hídrica e dos saldos hídricos que essas UPs recebem de montante.

Já nas UPs Baixo Cotaxé ($WEI_{2017} = 11,1\%$), UP Alto Cricaré ($WEI_{2017} = 17,4\%$) e na UP Baixo Cricaré ($WEI_{2017} = 16,5\%$) a situação é classificada como preocupante. Ressalta-se que essa situação é decorrente da elevada demanda de água para fins de irrigação observada nessas UPs, frente à disponibilidade hídrica.

No entanto, ao analisar a particularidade da UP Rio Santana, relatada no item “Disponibilidade hídrica”, e assumindo por segurança que toda demanda hídrica desta UP ($1,63 \text{ m}^3/\text{s}$) está concentrada na área desta unidade até sua confluência com o Rio São Mateus ($Q_{MLT} = 6,2 \text{ m}^3/\text{s}$), observa-se que o comprometimento hídrico é da ordem de $26,3\%$ da Q_{MLT} , o que a enquadra em situação crítica. Esse cenário também foi evidenciado em inspeção de campo (abril/2017 e setembro/2017), onde verificou-se que um dos seus principais afluentes (Rio São Domingos) encontrava-se completamente seco.

Com relação ao cenário tendencial, nota-se que o indicador aponta para um agravamento do comprometimento hídrico a longo prazo (cenário de 20 anos) em todas as unidades de planejamento, especialmente naquelas que já se encontravam em situação preocupante. Sob essa perspectiva, a UP Alto Cricaré se destaca, pois, sua situação passará de preocupante para crítica ($WEI_{2037} = 20,5\%$), caso o tendencial se mantiver. Esse agravamento poderá potencializar o surgimento de conflitos pelo uso da água nessas regiões e/ou intensificar os conflitos hídricos já existentes.

Por outro lado, nas UPs Alto Cotaxé, Médio Cotaxé, Rio Santana e Rio São Mateus, embora apresentem um panorama de conforto hídrico ao longo de todo o horizonte de planejamento, é necessário ressaltar que o índice se refere apenas a aspectos quantitativos dos recursos hídricos, não sendo indicativo de sua qualidade nas referidas UPs. Dessa forma, ainda que em uma situação menos preocupante nessas UPs, é necessário reforçar a importância da gestão racional e eficiente dos recursos hídricos, não dissociando seus aspectos qualitativos e quantitativos.

No cenário tendencial de longo prazo, ao analisar a particularidade da UP Rio Santana e assumindo as mesmas condições estabelecidas no cenário atual, verificou-

se que a demanda atingirá o valor de 1,97 m³/s, correspondendo a um comprometimento hídrico de 31,8% da Q_{MLT}. Isto é, haverá uma intensificação da pressão pelo uso dos recursos hídricos nesta UP.

Portanto, na bacia hidrográfica do rio São Mateus as regiões delimitadas pelas UPs Alto Cricaré, Baixo Cricaré e Baixo Cotaxé são áreas estratégicas para receber investimentos com vista a contribuir para garantia dos usos múltiplos da água, atuais e futuros. Esses investimentos poderão ser realizados sob a ótica do aumento da oferta hídrica e/ou da diminuição da demanda hídrica.

Do lado da oferta, poderiam ser incentivadas ações voltadas à recuperação florestal de áreas estratégicas para os recursos hídricos, como áreas de recargas, áreas de preservação permanente, entre outras, visto o alto percentual do território ocupado por pastagens (60%) e investimento em infraestruturas de reservação.

Do lado das demandas, as ações devem prioritariamente subsidiar, nessas regiões, o melhor planejamento da agricultura irrigada, uma vez que é o setor mais relevante quanto ao uso da água disponível. Assim, é preciso investir em ações de incentivo à adoção de sistemas hidroeficientes e de boas práticas de manejo dos sistemas de irrigação.

Dado que essas regiões se mostraram com significativo potencial para intensificação dos conflitos hídricos existentes e/ou surgimento de novos conflitos, deve-se investir também no estabelecimento de outros instrumentos de gestão para além do comando e controle tradicional, que envolva a participação dos interessados na minimização desses potenciais conflitos, como a outorga coletiva.

4 CONCLUSÃO

Nesse estudo apresentou-se uma análise do cenário tendencial do comprometimento hídrico na bacia hidrográfica do rio São Mateus. Conclui-se que o setor de irrigação é o maior consumidor dos recursos hídricos na bacia, chegando a alcançar percentuais, nas UPs de maior demanda, da ordem de 94% a 98% da demanda de água. Constatou-se também que as regiões de maior estresse hídrico estão concentradas na porção média e superior da bacia, nas UPs Baixo Cotaxé, Baixo Cricaré e Alto Cricaré, além da UP Rio Santana. Nessas UPs citadas o indicador de balanço hídrico utilizado apontou uma situação preocupante, no que diz respeito à

razão entre a vazão retirada e a vazão média de longo termo.

Ao ser analisado o cenário tendencial futuro, é possível concluir que há agravamento no comprometimento hídrico devido ao aumento do consumo de água para todos os setores usuários. Contudo as taxas de crescimento da demanda para a irrigação são mais contundentes, indicando a necessidade de ações imediatas de gestão das demandas, por meio do estímulo à adoção de sistemas hidroeficientes, de medidas de boas práticas de uso e manejo dos sistemas de irrigação, de outorgas coletivas em áreas de potencial conflitos.

No que se refere, de forma mais ampla, ao gerenciamento dos recursos hídricos da bacia, esse estudo apresenta informações relevantes para auxiliar a implementação dos instrumentos de gestão previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos, em particular para o Plano de Recursos Hídricos uma vez que identifica potenciais áreas e ações prioritárias para investimento e outorga, haja vista que os valores de comprometimento hídricos estimados poderão oferecer subsídio para definição de diretrizes gerais, como percentuais máximos outorgáveis e remanescentes em cada UP.



AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Jones dos Santos Neves e à Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), pelo apoio técnico e de infraestrutura. À Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ADGOLIGN, T. B.; RAO, S. Environmental impact assessment in sustainable water resources development: major issues of consideration. **Science, Technology and Arts Research Journal**, v. 3, n. 2, p. 180-189, 2014.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH) E INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). **Diagnóstico e prognóstico das condições de uso da água na bacia hidrográfica do rio São Mateus**. Vitória, 2018. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/cbh-sao-mateus>. Acesso em: 21/10/2018.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no**

Brasil: Informe 2017. Brasília, 2017. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/usoagua>. Acesso em: 21/10/2018.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014**. Relatório Síntese, Brasília, 2016. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/ProjetoPivos.pdf>. Acesso em: 21/10/2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Nota técnica 010/2003/SPR**: Memorial descritivo do cálculo da demanda humana de água contidas no documento "Plano Nacional de Recursos Hídricos - Documento Base de Referência, Minuta". 30p.- Memorial descritivo do cálculo da demanda humana de água contidas no documento "Plano Nacional de Recursos Hídricos: Documento Base de Referência, Minuta". 2003. 30p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop **Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ASHOORI, N.; DZOMBAK, D. A.; SMALL, M. J. Identifying water price and population criteria for meeting future urban water demand targets. **Journal of Hydrology**, v. 555, p. 547-556, 2017.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . Brasília : MME: EPE, 2007.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO (CEDAGRO). **Levantamento das áreas agrícolas degradadas no estado do Espírito Santo**. Documento Completo. Vitória, 2012. Disponível em: http://www.cedagro.org.br/artigos/20121101104240_areas_Degradadas_Documento_Completo.pdf. Acesso em: 12 jul. 2017.

CHIARELLI, D. D.; DAVIS, K. F.; RULLI, M. C.; D'ODORICO, P. Climate change and large-scale land acquisitions in Africa: Quantifying the future impact on acquired water resources. **Advances in water resources**, v. 94, p. 231-237, 2016.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. FAO Irrigation and drainage paper 24, Rome, 1992. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/018/s8376e/s8376e.pdf>. Acesso em: 13 jul. de 2017.

FU, Z. H.; ZHAO, H. J.; WANG, H.; LU, W. T.; WANG, J.; GUO, H. C. Integrated planning for regional development planning and water resources management under uncertainty: A case study of Xining, China. **Journal of Hydrology**, v.554, p. 623-634, 2017.

GAIN, A. K.; GIUPPONI, C. A dynamic assessment of water scarcity risk in the Lower Brahmaputra River Basin: An integrated approach. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 120-131, 2015.

GRAFTON, R. Q.; PITTOCK, J.; DAVIS, R.; WILLIAMS, J.; FU, G.; WARBURTON, M.; CONNELL, D. Global insights into water resources, climate change and governance. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 4, p. 315, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa pecuária municipal 2016**. 2016a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2016>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Brasil 2035 cenários para o desenvolvimento**. Brasília, 2017. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/170606_brasil_2035_cenarios_para_desenvolvimento.PDF. Acesso em: 18/04/2018.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). Nota técnica SUORE/GRH/IEMA nº007/2013. **Metodologia para análise de outorga de direito de uso de recursos hídricos utilizando o sistema de controle de balanço hídrico das bacias hidrográficas do Estado do Espírito Santo (SCBH-ES)**. Cariacica. 2013.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). Projeto de Gerenciamento da Poluição Costeira e de Águas do Estado do Espírito Santo - Projeto "Águas Limpas". Relatório Final. Elaboração do Cadastro de Usuários de Água e Aperfeiçoamento da Sistemática de Outorga de Uso de Recursos Hídricos de Domínio do Estado do Espírito Santo. Volume Único. 2009.

MATTOS, J. B.; SANTOS, D. A.; FALCÃO FILHO, C. A. T.; SANTOS, T. J.; DOS SANTOS, M. G., & DE PAULA, F. C. F. Water production in a Brazilian montanerain forest: Implications for water resources management. **Environmental Science & Policy**, v. 84, p. 52-59, 2018.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Estimativas das Vazões para as Atividades de Uso Consuntivo da Água em Bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN**. Brasília: ONS; FAHMA-DZETA; ANA; ANEEL; MME, 2005. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/downloads/Relatorio%20final%20ONS.pdf>. Acesso em: 28 de Julho de 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development**. Resolution A/RES/70/1. 2015. Disponível em: <<http://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>>. Acesso 18/04/2018.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos avançados, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

SAFAEI, M. et al. Integrated river basin planning and management: a case study of

the Zayandehrud River basin, Iran. **Water international**, v. 38, n. 6, p. 724-743, 2013.

SHARVELLE, S.; DOZIER, A.; ARABI, M.; REICHEL, B. A geospatially-enabled web tool for urban water demand forecasting and assessment of alternative urban water management strategies. **Environmental Modelling & Software**, v. 97, p. 213-228, 2017.

TELLES, D. A. Água na Agricultura e Pecuária. In. REBOUÇAS, A. C.; BENEDITO, B.; GALIZIA, T. J. (orgs). Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação. 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 305-336.

WANG, K.; DAVIES, E. G. R. Municipal water planning and management with an end-use based simulation model. **Environmental Modelling & Software**, v. 101, p. 204-217, 2018.

XAVIER, A. C; KING, C. W; SCANLON, B. R. **Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013)**. Int. J. Climatol, 2015.

