



Universidade Federal de Goiás  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais



**Michelle da Silva Honório**

**Avaliação da disponibilidade hídrica superficial no estado de Goiás**

**Goiânia  
2020**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

## **TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES**

### **E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### **1. Identificação do material bibliográfico**

Dissertação       Tese

#### **2. Nome completo do autor**

Michelle da Silva Honório

#### **3. Título do trabalho**

**Avaliação da disponibilidade hídrica superficial no estado de Goiás**

#### **4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)**

Concorda com a liberação total do documento  SIM       NÃO<sup>1</sup>

**[1]** Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Sérgio Scalize, Professor do Magistério Superior**, em 05/05/2020, às 20:59, conforme horário oficial



de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **MICHELLE DA SILVA HONORIO, Discente**, em 06/05/2020, às 14:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1311325** e o código CRC **8A4C1D6D**.

---

**Referência:** Processo nº 23070.012382/2020-48

SEI nº 1311325



Universidade Federal de Goiás  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais



**Michelle da Silva Honório**

### **Avaliação da disponibilidade hídrica superficial no estado de Goiás**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

**Orientador:** Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize

**Coorientador:** Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Forimga

**Goiânia  
2020**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Honório, Michelle da Silva

Avaliação da disponibilidade hídrica superficial no estado de Goiás  
[manuscrito] / Michelle da Silva Honório. - 2020.  
LXXXVI, 86 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize; co-orientador Dr.  
Klebber Teodomiro Martins Formiga.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Pró  
reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais, Goiânia, 2020.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, gráfico, tabelas.

1. Recurso Hídrico. 2. Q95. 3. Regionalização de Vazão. 4. Bacia de  
Captação. I. Scalize, Paulo Sérgio, orient. II. Título.

CDU 502/504



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº **01** da sessão de Defesa de Dissertação de Michelle da Silva Honório, que confere o título de Mestre(a) em **Ciências Ambientais**, na área de concentração em Estrutura e Dinâmica Ambiental.

Ao/s **doze dias do mês de março de 2020**, a partir da(s) **16 horas**, no(a) **Escola de Engenharia Civil e Ambiental**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**Avaliação da disponibilidade hídrica superficial no estado de Goiás**”. Os trabalhos foram instalados pelo(a) Orientador(a), Professor(a) Doutor(a) Paulo Sérgio Scalize [EECA/CIAMB] com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor(a) Doutor(a) Nilson Clementino Ferreira [EECA/CIAMB], membro titular interno; Nolan Ribeiro Bezerra [IEFG], membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Paulo Sérgio Scalize, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao(s) **doze dias do mês de março de 2020**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Sérgio Scalize, Professor do Magistério Superior**, em 13/03/2020, às 17:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **NOLAN RIBEIRO BEZERRA, Usuário Externo**, em 16/03/2020, às 06:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nilson Clementino Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 19/03/2020, às 09:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1224208** e o código CRC **EA23CBF0**.

**Referência:** Processo nº 23070.012382/2020-48

SEI nº 1224208



## AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo.

À minha família pelo amor, incentivo e paciência.

Ao professor Dr. Paulo Sérgio Scalize pela orientação, pelo conhecimento compartilhado, pelas inúmeras ideias e por sempre instigar novas possibilidades dentro da pesquisa.

Ao professor Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga por todas as vezes que me atendeu, que sanou minhas dúvidas, que me deu dicas valiosas e por compartilhar dados importantes para a realização desta pesquisa.

À professora Dr<sup>a</sup>. Nolan Ribeiro Bezerra por ter me mostrado o caminho, por ter me apresentado ao professor Paulo e por ter ajudado na elaboração do pré-projeto de mestrado.

Aos professores Nilson Clementino Ferreira e Eduardo Queija de Siqueira por todas as contribuições significativas que fizeram no momento da qualificação.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB) e do Laboratório de Análises de Água (LAnA), em especial à Isabella Almeida Costa por ter me acompanhado durante os trabalhos de campo, por compartilhar comigo aflições e conquistas, pelas diversas conversas e troca de conhecimento.

Ao CIAMB e aos professores que contribuíram para minha formação nestes dois anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos a mim concedida durante todo o processo de mestrado.

Ao projeto SanRural pelo subsídio no momento das idas ao campo.

Ao Tomás, técnico do Laboratório de Hidráulica, por ensinar como operar o equipamento de medição de vazão e pela disposição em me atender diversas vezes.

A todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para realização desta pesquisa.

À Universidade Federal de Goiás por me acolher e permitir que eu realizasse o sonho de estudar nesta instituição.



## RESUMO

Partindo do princípio que os recursos hídricos são limitados e vulneráveis, associados ao uso por uma população crescente, expansão industrial e agropecuária, torna-se necessário se gerenciar de forma integrada, com a finalidade de evitar conflitos e garantir o abastecimento de água em qualidade e quantidade para a sociedade presente e futura. A concessão de outorgas no estado de Goiás para uso de águas de domínio estadual, está a cargo da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável a qual estabelece na Resolução nº 09, de 04 de maio de 2005 as condições e critérios para efetivação das autorizações. Neste processo, o conhecimento da disponibilidade hídrica é primordial, porém a obtenção de informações hidrológicas de maneira direta nem sempre é possível e, em muitas situações, são necessárias ferramentas que auxiliem na obtenção dessas informações, como por exemplo a regionalização de vazão. Desta forma este estudo teve como principal objetivo avaliar a disponibilidade hídrica nas bacias de captação de água em manancial superficial para abastecimento público do estado de Goiás, por meio da comparação entre o método tradicional de regionalização de vazão e o método utilizado pelo órgão gestor de recursos hídricos de Goiás. Das 195 bacias de captação superficial analisadas, constatou-se que 27,7% possuem vazões outorgadas que superam a vazão passível de outorga e/ou superam a vazão de referência presente em 95% do tempo. Concluiu-se que estas bacias de captação para abastecimento público, estão em situações críticas e que as outorgas, concedidas nesses locais, exercem uma pressão excessiva sobre os mananciais, uma vez que a retirada de água é superior à permitida. Por mais que as estimativas de disponibilidade hídrica tenham sido realizadas utilizando regionalização de vazão, essas áreas podem ser consideradas como prioritárias para o planejamento e gestão dos recursos hídricos e para implementação de ações baseadas, por exemplo, no pagamento por serviços ambientais.

**Palavras-Chave:** Recurso Hídrico;  $Q_{95}$ ; Regionalização de Vazão; Bacia de Captação.



## ABSTRACT

Based on the principle that water resources are limited and vulnerable, associated with the use by a growing population, industrial and agricultural expansion, management in an integrated manner is necessary, with the use of preventing damage and ensuring the use of quality water and quantity for the present and future society. The issuance of grants in the state of Goiás for the use of state-owned waters is under the responsibility of the Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, which describes in the Resolução nº 09, de 04 de maio de 2005 the conditions and criteria for effecting the authorizations. In this process, knowledge of water availability is paramount, but obtaining hydrological information directly is not always possible and, in many situations, tools are needed to assist in obtaining this information, such as flow regionalization. So, this study had as main objective to evaluate water availability in surface catchment basins for public supply in the state of Goiás, through the comparison between the traditional method of flow regionalization and the method used by the water resources management agency in Goiás. Of the 195 surface catchment basins analyzed, it was found that 27.7% have flows granted that exceed the flow that can be granted and/or exceed the reference flow present in 95% of the time. It was concluded that these catchment basins for public supply are in critical situations and that the grants, granted in these places, exert an excessive pressure on the springs, since the withdrawal of water is greater than allowed. As much as water availability estimates have been carried out using flow regionalization, these areas can be considered as priorities for the planning and management of water resources and for implementing actions based, for example, on payment for environmental services.

**Key-Words:** Water Resource;  $Q_{95}$ ; Flow Regionalization; Catchment Basin.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADV- *Acoustic Doppler Velocimeter*

ANA- Agência Nacional das Águas

BCS- Bacia de Captação Superficial

BH- Bacia Hidrográfica

ER- Erro Relativo Percentual

ERM- Erro Relativo Percentual Médio

HIDROWEB- Sistema de Informações Hidrológicas

Icg - Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos

IN- Instrução Normativa

MT- Método Tradicional

MODIS- *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

PSA- Pagamentos por Serviços Ambientais

PNRH- Política Nacional dos Recursos Hídricos

$Q_{ref}$ - Vazão de referência

$Q_d$ - Vazão disponível

$Q_{pout}$ - Vazão passível de outorga

$Q_{out}$ - Vazão outorgada

$Q_{50}$ - Vazão de permanência presente em 50% do tempo

$Q_{95}$ - Vazão de permanência presente em 95% do tempo

$Q_{96}$ - Vazão de permanência presente em 96% do tempo

$Q_{98}$ - Vazão de permanência presente em 98% do tempo

$Q_{7,10}$ - Vazão mínima com sete dias de duração num período de retorno de dez anos

SANEAGO- Companhia de Saneamento de Goiás S.A.

SEMAD- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIG- Sistema de Informação Geográfica

SR- Sensoriamento Remoto

SWAM- *Stream Water Availability Model*

SWAT- *Soil and Water Assessment Tool*

WaterGAP 2- *Water Global Assessment and Prognosis*

WRAP -- *Water Rights Analysis Package*



## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>12</b>
<b>1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>12</b>
<b>3. PROBLEMA DA PESQUISA .....</b>	<b>14</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
4.1. GERAIS .....	15
4.2. ESPECÍFICOS.....	15
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>16</b>
<b>DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL E NO MUNDO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DAS PUBLICAÇÕES OCORRIDAS ENTRE 1997 E 2019. ....</b>	<b>16</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2. METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
3.1. METODOLOGIAS UTILIZADAS .....	23
3.1.1. <i>Utilização de Modelos</i> .....	24
3.1.2. <i>Regionalização de vazão</i> .....	28
3.1.3. <i>Estimativa da vazão mínima estatística e de permanência</i> .....	29
3.1.4. <i>Balanço hídrico, SIG e Monitoramento de vazão</i> .....	30
3.2. TENDÊNCIAS E LACUNAS .....	32
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>41</b>
<b>DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL NAS ÁREAS DE CAPTAÇÃO DO ESTADO DE GOIÁS: UMA COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÃO PARA ESTIMATIVA DA Q<sub>95</sub>. ....</b>	<b>41</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>2. METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>
2.1. ÁREA DE ESTUDO.....	44
2.2. DELIMITAÇÃO DAS BACIAS DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL .....	45
2.3. DADOS FLUVIOMÉTRICOS .....	46



2.4.	ESTIMATIVA DA $Q_{95}$ .....	46
2.4.1.	<i>Método Tradicional</i> .....	46
2.4.2.	<i>Método da vazão específica</i> .....	47
2.5.	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	48
2.6.	MEDIÇÃO DE VAZÃO .....	48
2.7.	DADOS DE OUTORGA .....	50
2.8.	DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NAS BACIA DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL	50
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
3.1.	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO OBTIDAS PELO MÉTODO TRADICIONAL .....	52
3.2.	ESTIMATIVA DA $Q_{95}$ .....	53
3.3.	COMPARAÇÃO ENTRE A $Q_{95}$ ESTIMADA PELA REGIONALIZAÇÃO E A $Q_{OBS}$ .....	58
3.4.	DISPONIBILIDADE HÍDRICA .....	59
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
	<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>67</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>67</b>
<b>6.</b>	<b>APÊNDICE A – RELAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES ANALISADAS.....</b>	<b>70</b>
<b>7.</b>	<b>APÊNDICE B – DISPONIBILIDADE HÍDRICA POR BACIA DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL.....</b>	<b>77</b>



## APRESENTAÇÃO

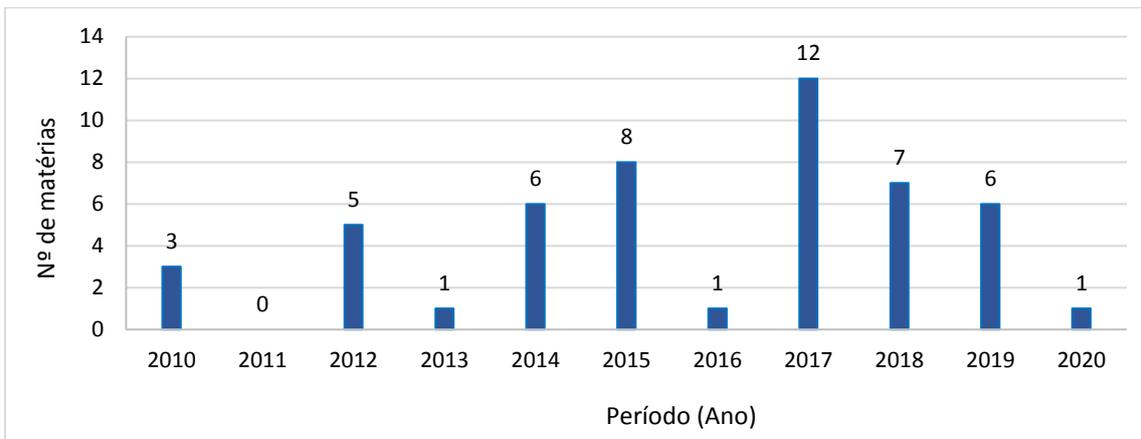
O Cerrado, em muitas situações, é referido como o “berço das águas” por contribuir para a vazão de oito das 12 regiões hidrográficas do país (LIMA, 2011). Com isso, o estado de Goiás, situado no Bioma Cerrado, se torna fundamental para manutenção das águas brasileiras e sua importância extrapola os limites geográficos, uma vez que o Estado abriga as nascentes de grandes rios brasileiros, tais como: rio Araguaia e rio Tocantins, além das nascentes de diversos afluentes do rio Paranaíba.

A ocupação do Cerrado, especificamente em sua porção pertencente ao estado Goiás, ocorreu de forma rápida gerando modificações bruscas nos âmbitos sociais, econômicos e ambientais, tornando o território numa potência agrícola e, conseqüentemente, gerando diversos impactos negativos, como perda da vegetação nativa, degradação do solo, diminuição da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, perda da biodiversidade (ROCHA, 2012).

Destaca-se as alterações nas áreas das bacias de captação de água para abastecimento, objeto de estudo deste trabalho, que de acordo com *Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás* (GOIÁS, 2014) são áreas prioritárias. No entanto, os diversos impactos negativos que atingiram o território goiano durante este processo de ocupação, ocasionados pelo avanço da agropecuária sobre essas áreas prioritárias, como por exemplo, aumento da degradação de matas ciliares, degradação de nascentes, poluição por substâncias químicas, aliados a falta de planejamento, podem afetar a quantidade e a qualidade da água disponível para o abastecimento da população.

As conseqüências já são sentidas há anos pela sociedade goiana, pois num breve levantamento realizado acerca das matérias jornalísticas sobre a falta de água no Estado, verificou-se que este é um problema recorrente há pelo menos 10 anos. Neste período, 50 matérias sobre a falta de água ou sobre a crise hídrica enfrentada pelo Estado, foram publicadas em apenas um veículo de comunicação, dentre os diversos existentes em Goiás, conforme pode ser observado na Figura 1.

**Figura 1:** Quantidade de matérias publicadas em Goiás nos últimos anos sobre a crise hídrica ou sobre a falta de água nos diversos municípios goianos.



Fonte: Levantamento realizado pelos autores no site do O Popular, 2020.

Observa-se que o pico das matérias ocorreu no ano de 2017, mesmo ano em que Goiás enfrentou uma crise hídrica, afetando Goiânia e municípios do interior. A crise foi agravada por diversos motivos, como por exemplo, aumento no consumo, captações irregulares, problemas ambientais relacionados degradação de nascentes, impermeabilização do solo, falta de planejamento contra a crise por parte dos órgãos gestores, além da falta de infraestrutura na companhia de saneamento do Estado. De acordo com Honório *et al.* (2018), tomando como base o *Atlas de Abastecimento Urbano de Água* realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), no estado de Goiás serão necessários investir 2,5 bilhões de reais até o ano de 2025 para alcançar um nível de operação satisfatório em 100% dos municípios goianos, incluindo todas as classes de prestação de serviço.

O fato é que, Goiás já apresentou algumas ações visando a solução desses problemas que afetam as pessoas, principalmente as mais humildes, com a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos, o início da elaboração de planos de recursos hídricos para cada bacia hidrográfica, informatização do processo de outorga, aumento das fiscalizações nas captações de água. No entanto, ainda há muito o que fazer, os planos precisam ser executados, a qualidade técnica dos pedidos de outorga precisa ser melhor, além de que os próprios métodos de estimativa de vazão, usados atualmente pelo órgão gestor de recursos hídricos, precisam ser revistos e as áreas de



captação de água superficial para abastecimento, precisam ser tratadas como áreas especiais.

Uma das ações que podem ser implementada nas áreas das bacias de captação de água para abastecimento é o Pagamento por Serviço Ambiental (PSA), que é um dos programas de apoio e incentivo à preservação e recuperação do meio ambiente proposto pela Lei Federal nº 12.651/2012. Em seu artigo 42, inciso I está previsto que umas das linhas do pagamento ou incentivo a serviços ambientais como retribuição, monetárias ou não, às atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas e que gerem serviços ambientais, é a conservação das águas e dos serviços hídricos.

Para Jardim e Bursztyn (2015) os serviços ambientais relacionados à água no Brasil vêm demonstrando um potencial favorável aos pequenos proprietários rurais, primeiro, porque o recurso água é indispensável para a sobrevivência e desenvolvimento da sociedade e segundo, porque o mercado ambiental se torna local, já que a unidade de conservação é a própria bacia hidrográfica.

Com o intuito de promover uma política voltada para à proteção hídrica no Brasil com base no PSA, a ANA criou o Programa Produtor de Água que tem como objetivo estimular os produtores a investirem no cuidado do trato com as águas, recebendo apoio técnico e financeiro para implementação de práticas conservacionistas. A ANA faz o papel de intermediador entre o produtor rural que quer adotar o manejo adequado dentro da sua propriedade e um grupo de pessoas que está interessado no produto água, dispostas a contribuir para sua conservação. Desta forma, estabelecendo os princípios ambientais do “provedor receptor e “beneficiário pagador” relacionados aos recursos hídricos (BRASIL, 2018).

Em Goiás existe um projeto do Programa Produtor de Água em andamento, firmado por meio do acordo de cooperação técnica 004/2013 entre a ANA, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal de Goiás, Ministério Público Estadual, municípios da bacia hidrográficas do João Leite (Anápolis, Nerópolis, Terezópolis de Goiás, Ouro Verde de Goiás, Campo Limpo de Goiás e Goianápolis), Federação da Agricultura do Estado, entre outros. O acordo prevê recursos da ordem de R\$



1,631 milhão para custear ações de conservação nos municípios que compõe a bacia hidrográfica do ribeirão João Leite.

A sugestão é que as bacias de captação superficial para abastecimento, também, sejam incluídas no Programa Produtor de Águas, ou em outros que sejam da mesma natureza. Olhar com atenção à essas áreas, implantar projetos que envolvam as partes interessadas, produtores, sociedade, academia e órgãos gestores, pode-se apresentar como uma das ações para solucionar esse problema, mesmo que a longo prazo.

Desta forma, esta dissertação se apresenta como uma contribuição para os avanços nas discussões sobre a disponibilidade de água em Goiás, em específico nas regiões de captação para abastecimento público, com o intuito de apontar as regiões mais problemáticas e que, inclusive, podem se tornar prioridade na execução de ações de conservação por parte dos órgãos gestores.



## CAPÍTULO I

### 1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação será composta por quatro capítulos que apresentarão os seguintes tópicos:

**Capítulo I:** Introdução geral, problema de pesquisa e objetivos;

**Capítulo II:** Artigo I – Disponibilidade hídrica no Brasil e no mundo: uma revisão sistemática das publicações ocorridas entre 1997 e 2019.

**Capítulo III:** Artigo II Disponibilidade Hídrica nas áreas de captação superficial do estado de Goiás: uma comparação de métodos de regionalização de vazão para estimativa da  $Q_{95}$ .

**Capítulo V:** Conclusões, referências e apêndices.

### 2. INTRODUÇÃO GERAL

Partindo do princípio que os recursos hídricos são limitados e vulneráveis, associados ao uso por uma população crescente, expansão industrial e agropecuária, torna-se necessário se gerenciar de forma integrada, com a finalidade de evitar conflitos e garantir o abastecimento de água em qualidade e quantidade para a sociedade presente e futura. Sem gestão os recursos hídricos se transformam em alvos de interesses e disputas distintas, mesmo em locais onde existe abundância do recurso, como é o caso em algumas regiões do Brasil (LEMOS; JUNIOR, 2015).

Sendo a Bacia Hidrográfica o principal objeto de planejamento dos recursos hídricos, é imprescindível que toda a atenção do gerenciamento seja voltada para os usos múltiplos do recurso, no que tange a oferta e a demanda de água avaliando a quantidade de recurso disponível para exploração para os múltiplos usos, como, por exemplo, abastecimento público, irrigação, indústria, entre outros.

De acordo com Garcia *et al.* (2007) o Brasil concentra cerca de 15% de toda água doce disponível para abastecimento, sendo o país com maior disponibilidade hídrica do planeta. Um estudo realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) afirma que em média 260.000 m<sup>3</sup>/s de água escoam pelo país, porém em torno de 80% desta vazão encontra-se disponível na região



Amazônica (BRASIL, 2017). Esse resultado reflete um desequilíbrio no país, uma vez que a região Norte abriga a menor parte da população e conseqüentemente a demanda de água é menor. Esse fator reforça a necessidade do planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, com a finalidade de garantir o recurso mesmo em locais com maior densidade populacional.

A fim de estabelecer diretrizes para o gerenciamento das águas no Brasil, em 1997, por meio da Lei Federal nº 9.433, foi instituída a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), a qual tem quatro objetivos, iv) assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; ii) a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; iii) a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais e iv) incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

Para tanto, a política estabelece seis instrumentos que asseguraram o alcance dos objetivos, i) os Planos de Recursos Hídricos; ii) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; iii) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; iv) a cobrança pelo uso de recursos hídricos; v) a compensação a municípios; e vi) o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos tem como função determinar a quantidade de água, bem como o prazo para sua retirada, assegurando, assim, o acesso igualitário à todos (DUARTE; MIOLA, 2016). Este instrumento é importante, pois conforme Moreira *et al.* (2010) o órgão gestor tem a responsabilidade de conceder o direito de uso de água, condicionado à sua disponibilidade, de forma à assegurar o controle quantitativo e qualitativo do seu uso, ao mesmo tempo à garantir ao usuário o direito de uso da água de forma pessoal e intransferível.

A concessão de outorgas no estado de Goiás para uso de águas de domínio estadual, está a cargo da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) a qual descreve na Resolução nº 09, de 04 de maio de 2005 as condições e critérios para efetivação das autorizações. Neste processo, o conhecimento da disponibilidade hídrica é primordial, porém a obtenção de informações hidrológicas de maneira direta nem sempre é



possível e, em muitas situações, são necessárias ferramentas que auxiliem na obtenção dessas informações, como por exemplo a regionalização de vazão.

O estado de Goiás, especificamente na região da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, sofreu crises hídricas nos anos últimos anos, afetando diretamente o abastecimento público em Goiânia e nos municípios que constituem a bacia de captação superficial do rio Meia Ponte: Santo Antônio de Goiás, Goianira, Brazabrantes, Nova Veneza, Nerópolis, Ouro Verde de Goiás, Damolândia, Inhumas e Ituaçu. Essa ocorrência levou o estado de Goiás a decretar situação de emergência na bacia do rio Meia Ponte, definindo ações para garantir os usos prioritários por meio do Decreto nº 9.041, de 06 de setembro de 2017. Este cenário contribuiu para a SEMAD instituir a Portaria nº 205, de 11 de setembro de 2017 (GOIÁS, 2017), que estabelece diretrizes para contornar a crise, tais como a suspensão de renovação de outorgas, redução das porcentagens das captações vigentes, além do monitoramento das vazões retiradas pela Companhia de Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO).

Nesse contexto, existe em Goiás a necessidade de planejar e gerenciar não só os recursos hídricos, mas também as outorgas concedidas, o uso e ocupação do solo que reflete diretamente na qualidade da água, o controle da poluição e lançamento de esgotos, além da conservação de nascentes e matas ciliares, especificamente dentro dos limites das bacias de captação superficial para abastecimento público, pois há de se considerar que essas regiões são fundamentais para garantir a qualidade e quantidade da água.

Desta forma, o conhecimento da disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, a identificação de conflitos pelo uso da água, são relevantes como um material técnico para contribuir com o gerenciamento dos recursos, garantindo um equilíbrio entre meio ambiente, sociedade e setor econômico.

### **3. PROBLEMA DA PESQUISA**

A avaliação da disponibilidade hídrica e o gerenciamento dos recursos hídricos, visto que estes são i) limitados e vulneráveis, ii) a população está em constante crescimento, iii) além da expansão agrícola e industrial, iv) bem como a existência de possíveis conflitos pelo uso múltiplo da água, v) a complexidade em trabalhar com informações hidrológicas e vi) a crise que a cidade de Goiânia,



região metropolitana e cidades do interior do Estado enfrentou nos últimos anos, fez com que se levantasse a seguinte indagação: qual é a disponibilidade hídrica nas bacias de captação superficial do Estado?

Assim, a hipótese que norteia a pesquisa foi a de que as bacias de captação superficial enfrentam conflitos pelo uso múltiplos das águas, sendo a demanda pelo recurso maior que sua oferta, ou seja, a disponibilidade hídrica presente nas bacias de captação superficial não é o suficiente para atender às retiradas.

Desta forma, a relevância da pesquisa consiste na elaboração de um cenário da demanda e oferta de água superficial, a fim de servir como aporte para a gestão dos recursos hídricos e de seus potenciais conflitos pelo uso múltiplo da água. Este estudo tem a pretensão de subsidiar o poder público na tomada de decisões e contribuir para o entendimento sobre a situação da disponibilidade de água no estado de Goiás.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Gerais**

- Avaliar a disponibilidade hídrica nas bacias de captação de água em manancial superficial para abastecimento público do estado de Goiás.

### **4.2. Específicos**

- comparar métodos de regionalização de vazão para determinação da vazão de permanência presente em 95% do tempo ( $Q_{95}$ );
- determinar a disponibilidade hídrica nas bacias de captação superficial;
- aplicar o índice de conflito pelo uso da água, na gestão dos recursos hídricos, para identificar as bacias de captação superficial que possuem vazões outorgadas acima do permitido;
- avaliar se as outorgas concedidas exercem uma pressão excessiva sobre os mananciais em estudo.



## CAPÍTULO II

### DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL E NO MUNDO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DAS PUBLICAÇÕES OCORRIDAS ENTRE 1997 E 2019.

Honório, M. S.; Scalize, P. S.; Formiga, K. T. M.

#### Resumo

*A estimativa da disponibilidade hídrica é um desafio, uma vez que as bacias hidrográficas são sistemas dinâmicos e complexos, afetada por diversos aspectos como a topografia da área, mudanças climáticas, cobertura vegetal etc. Esse estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da produção científica acerca dos métodos utilizados para estimar a disponibilidade hídrica, delineando lacunas e tendências acerca desta temática. A pesquisa foi realizada em uma primeira etapa na base de dados Web of Sciences, utilizando as seguintes palavras-chave: water availability, ungauged basins, water budget, water rights authorization, minimum flow, low flow index e environmental flow. Para elegibilidade dos artigos foram adotados critérios, tais como: existência das palavras-chave no título e/ou no resumo, adequação ao tema abordado e se os objetivos da publicação incluíam a estimativa da disponibilidade hídrica de seu local de estudo. Em uma segunda etapa, visando encontrar mais publicações de interesse para a pesquisa, foram analisadas as listas de referências de cada artigo encontrado na primeira etapa. Ao todo foram encontrados 109 artigos publicados entre 1997 e 2019, sendo 89 e 20 na primeira e segunda etapa, respectivamente. Concluiu-se que nas 109 publicações encontradas, predominou a utilização de modelos, sendo eles hidrológicos ou não, representando 63,30% do total. As metodologias de regionalização de vazão e balanço hídrico foram adotadas em 10,09% dos trabalhos cada, a metodologia de estimativa de vazão mínima foi adotada em 9,17% das publicações, as geotecnologias e o monitoramento foram aplicados em 5,50 e 1,83% das publicações, respectivamente. Constatou-se que na ausência ou insuficiência de dados para aplicação de metodologias como regionalização de vazão ou a estimativa das vazões mínimas, o monitoramento de vazão se apresenta como uma alternativa para obtenção de dados. Além disso, foi possível elencar as principais problemáticas acerca da disponibilidade hídrica e a ênfase que as publicações deram em assuntos como disponibilidade de água no futuro, mudanças climáticas, produção de alimentos, crescimento populacional, derretimento da neve e alocação de água. Em relação às lacunas, observou-se que o termo “water availability”, pesquisado em inglês, não está definido entre as publicações analisadas, podendo ser interpretado de diversas maneiras. Outra questão é sobre o fato de muitas pesquisas não considerarem nem os requisitos ambientais, nem a água subterrânea nas estimativas de disponibilidade hídrica. Por fim, os métodos de regionalização podem resultar em vazões diferentes das reais, por isso recomenda-se a realização de testes de viabilidade para cada situação.*

**Palavras-chave:** Recurso hídrico, vazão mínima,  $Q_{95}$ , regionalização de vazão.



## 1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos recursos hídricos é um desafio, uma vez que as bacias hidrográficas são sistemas dinâmicos e complexos, que sofrem impactos por diversos aspectos como a topografia da área, mudanças climáticas, cobertura vegetal, que podem alterar consideravelmente a quantidade de água disponível nos mananciais. Projetos de sistemas de abastecimento de água, irrigação e hidroelétricas, entre outros, estão sujeitos à estudos de disponibilidade hídrica, ou seja, a vazão que entra em num sistema é fator determinante para o desenvolvimento de projetos dessa natureza.

Segundo Cruz (2001) a disponibilidade hídrica é a vazão da bacia hidrográfica que varia em função do tempo e a área de captação da mesma, à medida que parte é retirada para diferentes usos e parte é mantida na bacia para conservação do sistema ambiental. A necessidade de se manter uma vazão mínima presente nos cursos d'água, após os usos e derivações importantes, constitui-se um desafio para os gestores dos órgãos ambientais, uma vez que a quantidade de água disponível está relacionada ao regime hidrológico da bacia hidrográfica e variáveis tais como precipitação e vazão.

Dessa forma, para determinação da disponibilidade hídrica faz-se necessário conhecer os métodos utilizados para determinação da quantidade mínima de água necessária para manutenção do sistema ambiental. Segundo Bezerra (2001) várias são as denominações citadas em textos técnicos e regulamentares no que se refere às vazões a permanecer no rio. Entre elas podem ser citadas as denominações de vazão ecológica (CRUZ, 2005; MEDEIROS *et al.*, 2011, VESTENA *et al.*, 2012), vazões mínimas e vazões ambientais (SARMENTO, 2007), vazões de referência (OLIVEIRA *et al.*, 2011) e índice de baixo fluxo (CASTIGLIONI *et al.*, 2009).

No estado de Goiás, por meio do *Plano Estadual de Recursos Hídricos* (GOIÁS, 2016), considera-se que a disponibilidade hídrica numa bacia hidrográfica é igual a vazão de permanência presente em 95% do tempo. Para a Agência Nacional de Águas (ANA), também, considera-se que a disponibilidade hídrica seja igual a vazão de permanência presente em 95% do tempo (BRASIL, 2017). Em suma, só é possível conhecer a disponibilidade de água se antes forem determinadas as vazões mínimas vinculadas aos períodos de estiagem.



Há inúmeras formas para determinação das vazões mínimas, conforme Tharme (2003) existem cerca de 207 métodos, classificados em: hidrológicos, hidráulicos, habitat e holísticos, o estudo relata, ainda, que num cenário mundial, cerca de 29,5% dos países usam métodos hidrológicos (largamente utilizados no Brasil), às quais incluem o método da curva de permanência ( $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$ ) e o método da vazão mínima estatística  $Q_{7,10}$ ), seguida pelas metodologias habitat com 28,0%.

Para estimar a disponibilidade hídrica, tanto para retirada como para manutenção no manancial, existe um fator limitante que é a inexistência de dados ou grandes falhas nas séries históricas fluviométricas e pluviométricas, dificultando a utilização das metodologias para determinação da vazão ecológica, as quais necessitam de dados em quantidade e qualidade o que nem sempre é possível. A partir desse cenário, desenvolveu-se um método para transferir informações entre regiões dentro de uma área homogênea, chamado de regionalização de vazão empregado para obter informações hidrológicas em locais com ausência ou falha nos dados (TUCCI, 2002; PRUSKI, 2012).

Numa outra perspectiva, a complexidade está, também, no gerenciamento das retiradas de água para atender os requisitos humanos, como abastecimento público, irrigação, agricultura, indústria, etc. Embora a Agência Nacional de Águas (ANA) recomende a adoção da vazão mínima de permanência em 95% do tempo ( $Q_{95}$ ) como critério de outorga, os estados brasileiros podem definir os critérios e a porcentagem permitida para concessão do direito de uso da água com base na determinação das vazões ecológicas. Em Goiás, por exemplo, é permitido outorgar até 50% da  $Q_{95}$  (GOIÁS, 2012), no entanto em outras Unidades Federativas a  $Q_{7,10}$ , a  $Q_{90}$ ,  $Q_{96}$  e a  $Q_{98}$  também são utilizadas como vazão de referência. No Quadro 1 estão dispostos os critérios de outorga utilizados nas Unidades Federativas brasileiras, com exceção de Pernambuco, Amapá e Rio Grande do Sul, pois não foram encontradas informações sobre esses estados.

A estratégia de mapear as pesquisas sobre disponibilidade hídrica, constatando as metodologias mais utilizadas, as lacunas e tendências encontradas e, assim, realizar o delineamento sobre o tema, faz desse estudo uma ferramenta para subsidiar a tomada de decisão em pesquisas futuras. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da produção científica publicada no Brasil e no mundo, para identificar as principais metodologias utilizadas na estimativa

de disponibilidade hídrica, bem como elencar as principais discussões acerca desse tema.

**Quadro 1:** Critérios de outorga adotados pelas Unidades Federativas brasileiras.

Unidade Federativa	Vazão de referência	% passível de outorga	Fonte
Rio de Janeiro	Q <sub>95</sub>	40	Resolução INEA nº 162 de 16/12/2018
Goiás		50	Instrução Normativa nº 004/2015
Espírito Santo		50	Instrução Normativa nº 013/2009
Paraná		50	Manual Técnico de Outorgas - Águas Paraná
Rondônia		60, 70 e 80	Plano Estadual de Recursos Hídricos - RO
Mato Grosso		70	Resolução CEHIDRO nº 27 de 09/07/2009
Mato Grosso do Sul		70	Instituto de Meio Ambiente - MS
Acre		70	Plano Estadual de Recursos Hídricos - AC
Amazonas		75	Resolução CERH Nº 01 de 19/07/2016
Pará	Q <sub>96</sub>	70	Resolução CERH nº 10 de 03/09/2010
Santa Catarina	Q <sub>98</sub>	50	Portaria nº 043 de 13/08/2010
Distrito Federal	Q <sub>7,10</sub> e/ou	80	Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos -DF
Roraima	Q <sub>90</sub>	80	Decreto nº 8.123-E de 12/07/2007
Minas Gerais	Q <sub>7,10</sub>	30	Portarias do IGAM nº 010/1998 e 007/1999
São Paulo		50	Departamento de Água e Esgoto - SP
Tocantins	Q <sub>90</sub>	75	Decreto nº 2432 de 06/06/2005
Maranhão		80	Decreto nº 34.847 de 14/05/2019
Bahia		80	Decreto Estadual nº 6.296/1997
Alagoas		90	Decreto nº 6 de 23/01/ 2001
Sergipe		90	Resolução CONERH nº 01 de 19/04/2001
Rio Grande do Norte	Q <sub>90</sub> regularizada	90	Decreto Estadual nº 13.283/1997
Ceará		90	Decreto Estadual nº 23.067/1994
Paraíba		90	Decreto Estadual nº 19.260/1997
Piauí	Q <sub>95</sub> (rios) e Q <sub>90</sub> regularizada (açudes)	80	Resolução CERH nº 004 de 26/04/2005

Fonte: Autores.

## 2. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido empregando a metodologia de revisão sistemática da literatura, a qual é uma forma utilizada para analisar e avaliar, pesquisas científicas disponíveis acerca do tema de interesse (KITCHENHAM, 2004).

Para isso, foi adotada a base de dados *Web of Science* para a realização da pesquisa de publicações técnico-científicas, considerando o recorte temporal até o ano de 2019. A busca pelas publicações foi realizada utilizando palavras-chaves previamente definidas, sendo na língua portuguesa e inglesa conforme Tabela 1. O critério de busca utilizado foi o de “pesquisa avançada” e o separador AND foi utilizado para o termo “*water availability*” de forma a limitar a pesquisa a artigos que correlacionassem a disponibilidade hídrica com os termos *ungauged basins*, *water budget*, *water rights authorization*, *minimum flow*, *low flow index* e *environmental flow*.

**Tabela 1:** Combinação de palavras-chave definidas para busca na base periódicos Web of Science.

Grupo de palavras-chave em Português	Grupo de palavras-chave em Inglês
Disponibilidade hídrica AND bacias não monitoradas	Water availability AND ungauged basins
Disponibilidade hídrica <b>AND</b> balanço hídrico	Water availability AND water budget
Disponibilidade hídrica <b>AND</b> outorga de água	Water availability AND water rights authorization
Disponibilidade hídrica <b>AND</b> vazão mínima	Water availability AND minimum flow/ low flow/ low flow index
Disponibilidade hídrica <b>AND</b> vazão ecológica	Water availability AND environmental flow

Fonte: Autores.

A busca pelos artigos foi realizada em dezembro de 2019. Os critérios de elegibilidade adotados foram: existência das palavras-chave no título e/ou no resumo, adequação ao tema abordado e se os objetivos (principal ou secundário) da publicação incluíam a estimativa da disponibilidade hídrica de seu local de estudo. Os critérios de exclusão foram: a publicação que não estivesse em formato de artigo científico, artigo de revisão e artigo que, mesmo possuindo as palavras-chave em seu assunto, não corresponder ao tema abordado.

Após finalizada a busca na base *Web of Science*, iniciou-se a segunda etapa que consistiu em verificar as listas de referências de cada artigo levantado na primeira etapa, em busca de novas publicações correlacionadas ao tema, considerando também os mesmos critérios de elegibilidade e exclusão. Essa fase foi importante para encontrar novos trabalhos que por algum motivo não foram relacionados na busca inicial, agregando conteúdo à pesquisa.

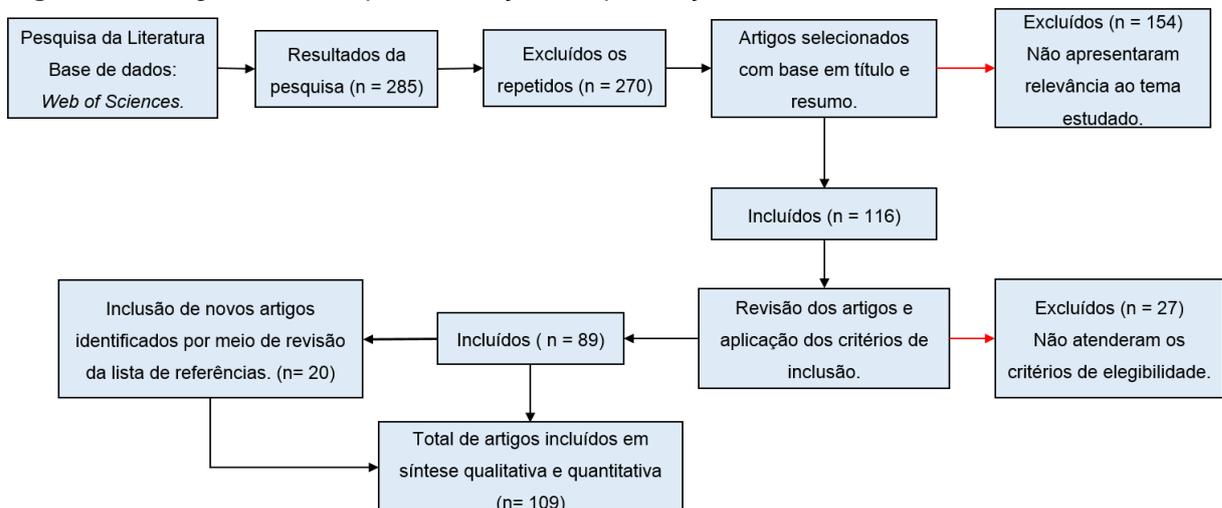
A partir dos artigos selecionados foram coletadas e quantificadas informações quanto ao ano e idioma de publicação, país de origem, universo da pesquisa, variáveis

utilizadas, bem como o agrupamento dos artigos por metodologia adotada para estimativa da disponibilidade hídrica. Além disso, atentou-se para elencar as principais discussões acerca da disponibilidade hídrica, maneiras que as pesquisas vêm abordando temas importantes como mudanças climáticas, água para agricultura, geração de energia, gestão integrada de recursos hídricos, entre outros.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira etapa da pesquisa foi possível identificar 285 artigos, ao excluir os repetidos resultaram num total de 270 publicações. Destes, 116 foram previamente selecionados com base na análise do título e resumo, aos quais 89 foram elegíveis e os outros 27 descartados, por não atenderem aos critérios preestabelecidos. Ainda nesta etapa, foram incluídas outras 20 publicações identificadas nas listas de referências dos artigos já selecionados anteriormente. Desta forma, 109 publicações foram consideradas aptas para realização de síntese qualitativa e quantitativa (Figura 1).

**Figura 1:** Fluxograma das etapas de seleção das publicações.

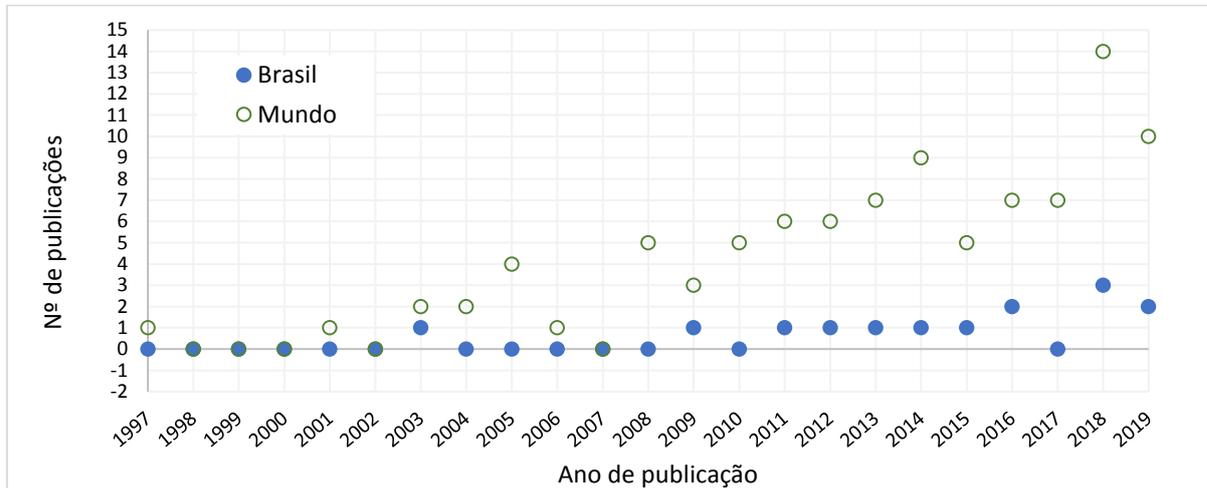


Fonte: Autores.

Dentre os artigos relevantes ao tema, foi observada a sua existência no período de 1997 a 2019, sendo este o recorte temporal apresentado na Figura 2 em função da quantidade de publicações anual, no Brasil e no Mundo. Por mais que a Figura 2 induza à afirmação da tendência de crescimento no número de publicações ao longo do tempo, isso não pode ser precisado, uma vez que para obter essa informação, seria necessário obter uma relação com o número total de artigos publicado pelas revistas, levando em consideração o ano de início de publicação. Porém,

compreende-se que o aumento das publicações se deve ao fato de um aumento do número de revistas, bem como maior quantidade de artigos publicados por edição.

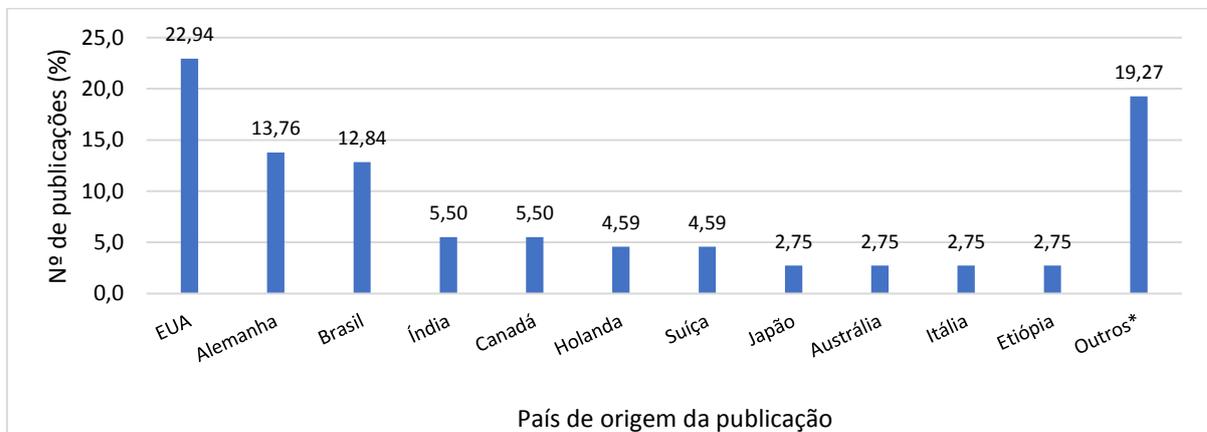
**Figura 2:** Quantidade de artigos referentes ao tema abordado, disponível na base Web of Science, distribuídos ao longo da série adotada que compreende os anos de 1997 a 2019, separados por publicações originárias do Brasil e do mundo.



Fonte: Autores.

Analisando o idioma de produção original, observou-se que 95,41% dos artigos foram publicados em Inglês e 4,59% dos artigos foram publicados em Português. Na Figura 3 pode ser observado que dentre os trabalhos analisados 22,94% das publicações é de origem norte americana, seguido pela Alemanha com 13,76% das publicações, Brasil com 12,84%, Índia e Canadá com 5,50% das publicações cada um, a Suíça e Holanda com 4,59% das publicações cada um e o Japão, Austrália, Itália e Etiópia com 2,75 % cada um, os 19,27% restantes das publicações são de 18 outras nacionalidades.

**Figura 3:** Quantidade de artigos referentes ao tema abordado, disponível na base CAPES, distribuídos por países de origem.



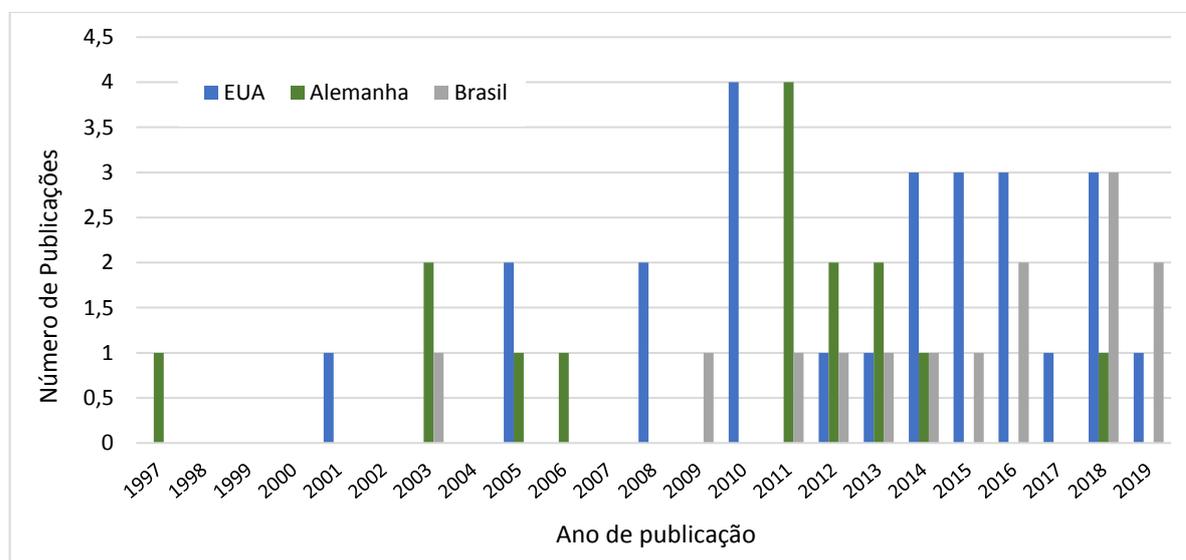
Fonte: Autores.

\*Países que possuem uma ou duas publicações.

Em relação à área estudada 66,97% artigos utilizam a bacia hidrográfica como objeto de estudo, 28,44% trabalham com limites geográficos, estados e países e os outros 4,59% utilizam seção de rio, lagos ou reservatórios. É importante ressaltar que dos 28,44% que adotaram limites geográficos, 11 publicações utilizaram o mundo como área de estudo com a finalidade de modelar a disponibilidade de água no presente e/ou no futuro.

Ao analisar os três países que apresentaram o maior número de publicações (Figura 4), percebeu-se que nos últimos cinco anos o Brasil teve oito publicações, enquanto a Alemanha teve duas publicações no ano de 2018. O fato de oito das 14 publicações de origem brasileira estarem concentradas nos últimos cinco anos, pode estar atrelado à crise hídrica que o país enfrentou no ano de 2014, principalmente na região sudeste do país. Observa-se que na última década, o número de pesquisas, nos três países, foi superior à primeira década demonstrando o aumento no interesse e na preocupação em relação à disponibilidade de água. Os outros 26 países possuem publicações dispersas ao longo do período analisado, não apresentando nenhum comportamento ao longo do tempo.

**Figura 4:** Número de publicações ao longo do período analisado nos EUA, Alemanha e Brasil.



Fonte: Autores.

### 3.1. Metodologias utilizadas

Com a análise de todas as produções científicas, foi possível separá-las por grupos comuns quanto a metodologia utilizada (Figura 5), sendo elas: i) Modelos: trabalhos que utilizaram algum modelo hidrológico para simular os fluxos de vazão,

ou outros tipos de modelos que podem ser matemático, de gestão e publicações que combinaram mais de um tipo de modelo; ii) Estimativa de vazão mínima: trabalhos que determinaram as vazões mínimas estatísticas e de permanência ( $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ , e/ou  $Q_{7,10}$ ); iii) Regionalização de vazão: trabalhos que utilizaram algum método de regionalização para obter as  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{média}$ ,  $Q_{7,10}$ ,  $P_{eq}$ ; iv) Balanço hídrico: trabalhos que utilizaram a equação do balanço hídrico para determinar os fluxos e v) Geotecnologias: trabalhos que utilizaram ferramentas do sistema de informação geográfica (SIG) e/ou Sensoriamento Remoto (SR) para estimativa das vazões e vi) Monitoramento: trabalhos que mediram a vazão do manancial.

### 3.1.1. Utilização de Modelos

Conforme pode ser observado na Figura 5, a utilização de modelos ocorreu em 63,30% das publicações, destes 43,12% são modelos hidrológicos. Encontrou-se trabalhos que utilizaram modelos integrados de gestão de recursos hídricos (8,26%), trabalhos que combinaram mais de um tipo de modelo (8,26%, podendo ser hidrológico, climático, de gestão, trabalhos que utilizaram modelos matemáticos (3,67%) e houve, ainda, a utilização de modelo geológico em 0,92% das publicações.

#### 3.1.1.1. Modelos Hidrológicos

A metodologia mais empregada para estimativa da disponibilidade hídrica dentre as publicações analisadas, foi a aplicação de modelos hidrológicos. Os mesmos são utilizados com recorrência para estudos que têm como finalidade análises para construção de reservatórios de água, demanda de água para irrigação, impactos sobre as mudanças climáticas. Os modelos permitem representar os processos físicos da transformação de chuva em vazão, equacionando, simulando e prevendo os comportamentos hidrológicos da bacia hidrográfica (LUCAS, 2009).

O *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) foi o modelo hidrológico mais utilizado, ocorrendo em 31,91% do total de publicações que utilizaram algum tipo de modelo hidrológico. Elaborado por Arnold *et al.* (1998), o SWAT é um dos modelos mais difundidos e utilizados na atualidade, tem como foco avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos (MOHAMMED *et al.* 2017). Um

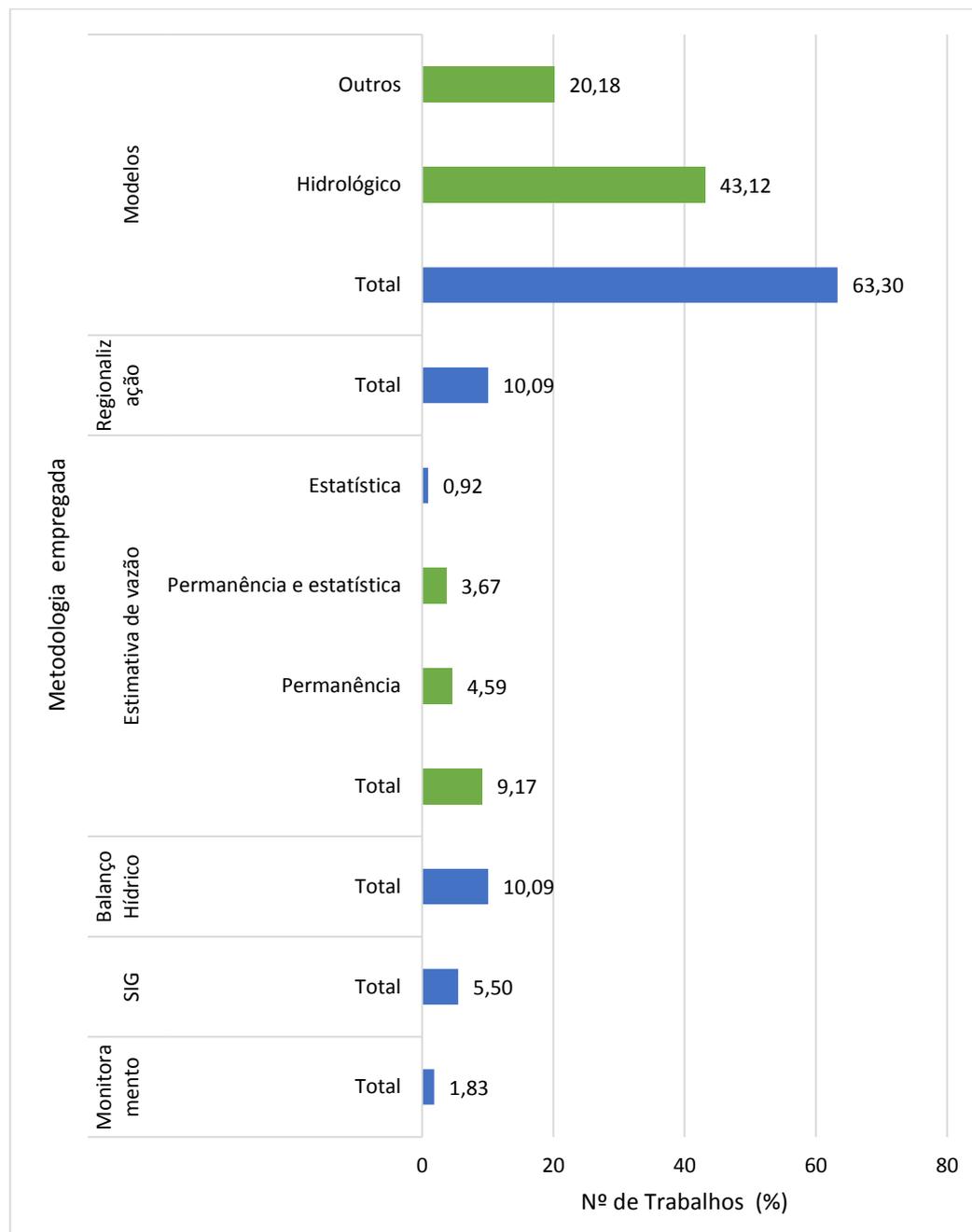


estudo realizado por Gao *et al.* (2019) avaliou a disponibilidade de recursos hídricos superficiais na bacia hidrográfica do rio *Big Sunflower* para mitigar o uso de águas subterrâneas para irrigação, aplicando o modelo SWAT. A pesquisa concluiu que os recursos hídricos superficiais podem ser fontes de irrigação suplementares para mitigar a escassez de recursos hídricos nessa região.

Bekele e Knapp (2010) realizaram a modelagem de bacias hidrográficas no rio Fox em Illinois, para avaliar impactos de mudanças climáticas na disponibilidade de água para abastecimento utilizando o modelo hidrológico SWAT. A pesquisa concluiu que a variação dos fluxos de água, induzidas pelas mudanças climáticas pode ter grandes impactos na disponibilidade de água, principalmente nos períodos de seca. Importante ressaltar que essa avaliação não levou em consideração o crescimento populacional e o uso da água, na avaliação dos impactos sobre a disponibilidade de água.

Além de modelos hidrológicos regionais, como o SWAT, apropriados para simulações em bacias hidrográficas, existem modelos globais que são capazes de estimar a disponibilidade de água em escalas muito maiores. Esses modelos também foram utilizados com recorrência nas publicações analisadas, como por exemplo o modelo global WaterGAP 2 (*Water Global Assessment and Prognosis*) que foi empregado por Acalmo *et al.* (2003), que levaram em consideração a necessidade de se realizar uma avaliação regional e global dos recursos hídricos. A pesquisa constatou que cerca de 24% das áreas das bacias hidrográficas mundiais tem o indicador de estresse hídrico superior a 0,4, esse coeficiente se trata da razão de retirada em relação a disponibilidade de água, alguns especialistas consideram uma indicação aproximada de estresse hídrico severo. Porém o trabalho reitera que modelos globais, como o WaterGAP 2, são apropriados para fornecer uma visão geral sobre os recursos hídricos e não são recomendados para situações específicas, como por exemplo a elaboração de um plano de gestão de recursos hídricos.

**Figura 5:** Quantidade dos trabalhos por tipo de metodologia empregada para análise da disponibilidade hídrica.



Fonte: Autores.

#### 3.1.1.1.1. Modelos de gestão, combinação, matemáticos e geológicos

Em 8,26% dos trabalhos, os autores utilizaram mais de um tipo de modelo, como por exemplo o estudo realizado por Mukhopadhyay e Dutta (2010), onde demonstraram que as estimativas de disponibilidade de água de um rio, para bacias hidrográficas regionais com dados escassos ou inexistentes, podem ser obtidas



combinando modelos de continuidade de processos hidrológicos, roteamento de fluxo e topologia da bacia hidrográfica, por meio da aplicação do *Stream Water Availability model* (SWAM).

É importante ressaltar que a combinação de modelos, com características distintas, pode ser aproveitada para obter resultados além estimativa da vazão e da disponibilidade hídrica, como é o caso do estudo realizado por Chimtengo *et al.* (2014) que objetivou investigar as causas das mudanças no regime hidrológico, incluindo o aumento de vazões igual a zero no rio Rivirivi, situado no Malawi. Os resultados indicaram que os principais motivos são intervenções antrópicas, como por exemplo a redução da cobertura vegetal da bacia, mas que a situação é reversível com ações de gerenciamento dos fluxos de vazão do rio.

Encontrou-se em 8,26% das publicações a utilização de modelos de gestão de recursos hídricos, um exemplo é o estudo desenvolvido por Wurbs (2005) que implementou o *Water Rights Analysis Package* (WRAP), que é um sistema de modelagem de disponibilidade hídrica usado entre os anos de 1997 a 2004, no Texas. A disponibilidade foi avaliada com base na simulação de práticas de gerenciamento de sistemas de rios/reservatórios e alocação de água. Este é um modelo de gestão aplicável a bacias hidrográficas situadas em qualquer parte do mundo.

Almazán-Gómez *et al.* (2018) desenvolveram um modelo de gestão da água para simular cenários de escassez e medir o fluxo ambiental associado taxas de inadimplência assumindo os usos produtivos atuais. Modelos de gerenciamento são interessantes, pois há a possibilidade de entregarem outras informações além da disponibilidade hídrica, como por exemplo, Tidwell *et al.* (2014), que estimaram a disponibilidade de água, a mudança no uso de consumo (a água que é retirada de uma bacia hidrográfica, mas não devolvida) e o custo para informar as decisões de planejamento da alocação de água, controle sobre a oferta e demanda do recurso.

Foram encontradas, ainda, publicações que utilizaram modelos matemáticos (3,67%) e modelos geológicos (0,92%). Finger *et al.* (2013) utilizaram o modelo geológico Karstic 3D para identificar o escoamento da água de derretimento glacial, em uma geleira localizada na Suíça e após discutiram suas implicações na disponibilidade de água presente e futura daquela região.

Observou-se que existem possibilidades para se realizar as estimativas de disponibilidade hídrica com diferentes modelos. A escolha de uso dependerá de fatores tais como acesso aos dados, facilidade de aplicação, pessoal capacitado, mas



principalmente das necessidades do estudo e de seus objetivos, bem como prazo necessário para se obter os resultados.

### 3.1.2. Regionalização de vazão

Na Figura 5 observa-se que a utilização da regionalização de vazão ocorreu em 10,09% dos 109 trabalhos analisados. Essa metodologia deve ser empregada com muito cuidado e apenas quando há a ausência de dados na região, a mesma não deixa de ser uma ferramenta útil, porém quando se trata de bacias hidrográficas de menor porte existem várias limitações que geram incertezas nos resultados (JÚNIOR, 2003). Segundo Silveira e Tucci (1998) isso acontece devido ao fato de que quando a área da bacia diminui, observa-se a variação com mais clareza, dificultando a caracterização de regiões homogêneas.

Na análise dos artigos não foi possível identificar um consenso sobre qual o tamanho mínimo a bacia deve ter para aplicação do método de regionalização. De acordo com Silveira e Tucci (1998) a técnica não deve ser aplicada fora dos limites estabelecidos pelas equações regionais e principalmente para as bacias com áreas menores que 100 km<sup>2</sup>, isso se dá porque o mecanismo de transformação de chuva em vazão acontece de modo diferente em pequenas e grandes bacias devido às dificuldades de caracterização das regiões homogêneas, uma vez que as mesmas possuem características do meio-físico bastante específicas.

Dentre os artigos analisados, nenhum deles monitoraram a vazão e compararam com os resultados estimados pela regionalização. Geralmente os estudos analisam a vazão estimada com a observada pelas estações fluviométricas, restringindo a comparação apenas para o local onde se situa o fluviômetro. A exemplo, Pruski *et al.* (2016) utilizaram dados de estações fluviométricas com áreas de contribuição entre 3.648 a 29.700 km<sup>2</sup> para determinar a equação de regressão para ser utilizada na bacia do rio Corrente, com 34.253 km<sup>2</sup>, foram encontrados erros relativos variando de -19,1 a 62,9 %. Já Araújo *et al.* (2018) utilizaram dados de 18 estações fluviométricas com áreas de contribuição entre 274,3 a 20.943 km<sup>2</sup>, para determinação de equações de regressão a serem utilizadas na bacia hidrográfica do rio Piquiri, os erros relativos variaram de 0,2 a 83,8%. Os erros relativos são calculados com base na vazão observada e na vazão estimada pelo método de regionalização adotado, um dos



fatores para definir o melhor método de regionalização é a análise desse erro, quanto mais próximo a zero, melhor é o desempenho do método.

Segundo Tucci (1997 *apud* SANTOS *et al.*, 2005) resultados de transferências de dados hidrológicos podem ser alcançados com boa aproximação, quando a área de drenagem da estação fluviométrica e a área de drenagem total da bacia não se diferem em mais que 15%. Já em um estudo realizado por Junior *et al.* (2003), com o objetivo de verificar a eficiência de transferência de dados, a partir de áreas de drenagem dos fluviômetros instalados para monitoramento de áreas entre 600 km<sup>2</sup> e 11.000 km<sup>2</sup>, aplicaram equações de regionalização para determinação de vazão mínima em bacias com áreas maiores que 100.000 km<sup>2</sup>, bem como em áreas menores, entre 0,125 km<sup>2</sup> e 22 km<sup>2</sup>, concluindo que para ambas as situações, a curva de permanência (Q<sub>50</sub> e Q<sub>95</sub>) apresentou uma boa extrapolação para áreas de até 10 km<sup>2</sup>. Nas demais bacias, menores que 10 km<sup>2</sup>, foram observadas que as vazões ficaram superestimadas, tornando o método não recomendado nesses casos.

Na tentativa de diminuir os erros nas estimativas Chaves *et al.* (2002) propuseram um método de regionalização partindo do método e área de drenagem descrito por Stedinger *et al.* (1992). Nesta proposição, além de considerar as áreas dos postos fluviométricos, as vazões de referência e a área do local a qual se deseja obter a informação, é considerada também a distância entre o posto fluviométrico e a área de interesse, o resultado apresentou erro médio significativamente menor e o índice de eficiência de ajuste de Nash e Sutcliffe (1970) 15% superior, em comparação ao método tradicional de regionalização.

### **3.1.3. Estimativa da vazão mínima estatística e de permanência**

Ao analisar os estudos pode-se destacar que quando existem dados de séries históricas, e em quantidade suficiente, é possível determinar as vazões mínimas sem precisar recorrer aos métodos de regionalização e modelos de chuva-vazão. Observou-se que em 9,17% dos estudos foram determinadas as vazões mínimas, sendo que 0,92% utilizaram a vazão mínima estatística representada pela Q<sub>7,10</sub>, outros 4,59% utilizaram as vazões mínimas de permanência Q<sub>50</sub>, Q<sub>90</sub> e/ou Q<sub>95</sub> e 3,67% optaram por utilizar tanto a vazão mínima estatística, quanto a vazão mínima de permanência.



A vazão mínima estatística representada pela  $Q_{7,10}$  é estimada por meio de distribuição de probabilidades, existem vários modelos os quais estão descritos em Naghettini e Pinto (2007), como por exemplo, a Normal, Log-Normal a dois Weibull, Gumbel e Log-Gumbel, Pearson III, Log-Pearson III. O que geralmente é apresentado nas pesquisas, é a comparação do desempenho dessas distribuições de probabilidades, permitindo chegar na opção mais representativa possível da situação em estudo.

A vazão mínima representada pela  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  é determinada pela curva de permanência, também chamada de curva de duração, com base em dados diários de uma série histórica de vazão. A curva representa o intervalo de tempo em que determinada vazão é igualada ou excedida durante o período analisado, para isso as séries são organizadas em ordem decrescente e a frequência é associada a cada valor da vazão correspondente (RAMOS *et al.*, 2017).

Um estudo realizado por Vestena *et al.* (2012) determinaram a vazão ecológica e avaliaram preliminarmente a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica no rio das Pedras, situada no Brasil, utilizando de diferentes métodos e critérios de referência para a vazão ecológica: a média mínima de sete dias com período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ), a curva de permanência de vazões ( $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ), a vazão aquática de base e as vazões mínimas anuais de sete dias. Quanto maior é a permanência da vazão, mais restrita é a quantidade de água presente no manancial, como por exemplo Padowski e Jawitz (2012), que avaliaram a disponibilidade e vulnerabilidade da água urbana em 225 cidades dos Estados Unidos com população superior a 100.000 habitantes. Para isso foram estimadas as vazões de permanência  $Q_{75}$ , adotada para avaliar a disponibilidade hídrica, e a  $Q_{90}$  para avaliar a vulnerabilidade das bacias em relação a fluxos baixos de vazão, indicando uma situação mais crítica.

#### **3.1.4. Balanço hídrico, SIG e Monitoramento de vazão**

Por fim, 10,09% do total dos trabalhos optaram por realizar o balanço hídrico, método que consiste em fazer o balanço entre o fluxo que entra e o que sai de uma bacia hidrográfica, considerando, por exemplo, variáveis de precipitação e evapotranspiração potencial.



Aulenbach e Peters (2018) avaliaram o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica de 0,41 km<sup>2</sup>, situada nos Estados Unidos, a fim de determinar variações sazonais e climáticas nos componentes do ciclo da água, concentrando-se particularmente no armazenamento de água e evapotranspiração. Corroborando com esse estudo Santhanam e Abraham (2018) utilizaram uma modelagem do balanço hídrico para determinar a disponibilidade de água de superfície e investigar o potencial de melhoria da recarga de água subterrânea, para apoiar a demanda de água na bacia hidrográfica de Ponnaiyar, na Índia. O estudo concluiu que há água suficiente disponível na bacia hidrográfica para as demandas atuais e futuras, além disso demonstrou que modelos de regressão simples podem ser usados como uma ferramenta eficaz para calcular a recarga de águas subterrâneas para bacias não monitoradas.

Ao utilizar o balanço hídrico, os estudos de Aulenbach e Peters (2018) Santhanam e Abraham (2018) e Mitra *et al.* (2015) levaram em consideração as águas subterrâneas, aspecto importante, uma vez que em períodos de estiagem a vazão de base é responsável por uma parcela do escoamento superficial.

Em relação ao emprego de ferramentas para auxiliar na estimativa de disponibilidade hídrica, observou-se que 5,50% das publicações utilizaram ferramentas ligadas às geotecnologias, Sistema de Informação Geográfica (SIG) e/ou Sensoriamento Remoto (SR). Atualmente existem satélites que fornecem informações sobre precipitação, *plug-ins* e *softwares* que automatizam o processo de regionalização de vazão e cálculo da disponibilidade hídrica e podem ser considerados com uma alternativa. A exemplo, Bahadur KC (2011) avaliou a disponibilidade de água e o uso em diferentes vias de desenvolvimento, numa bacia hidrográfica na Tailândia, usando SIG e SR além de um modelo espacial de balanço hídrico. Este foi executado utilizando o *software* ArcView (GIS) V3.2 com a extensão *Spatial Analyst*, um *software* bastante difundido e utilizado no âmbito de pesquisas científicas.

Um exemplo de utilização de imagens de satélite é o estudo elaborado por Zhang *et al.* (2012) utilizaram dados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) para avaliar a dinâmica da cobertura de neve no Platô Tibetano e sua influência no nível dos rios, concluíram que a neve é um componente importante para o balanço hídrico na região. O derretimento da neve, onde existem formações montanhosas cobertas por neve, é um fator importantíssimo que influencia



a disponibilidade de água dos rios em países europeus e asiáticos, por exemplo, e que vem sendo pauta de constantes discussões e elaboração de pesquisas científicas, principalmente em relação às mudanças climáticas.

Observa-se que, 1,83% realizaram o monitoramento da vazão no manancial. Aeschbacher *et al.* (2005) utilizaram dados de vazão de uma bacia de 173 km<sup>2</sup> pré-monitorada, situada no Quênia, para determinar os impactos e conflitos causados pela captação de água no rio Moru. Salienta-se que medições *in loco* podem ser realizadas num curto espaço de tempo, como por exemplo Elisa *et al.* (2016), que monitoraram 30 pontos durante três meses no Parque Nacional Arusha, com 552 km<sup>2</sup>, situado na Tanzânia. Para isso, utilizaram um medidor de vazão, denominado como GEOPACK, para obter dados sobre a velocidade do fluxo, de posse dos valores das áreas das seções transversais foi possível chegar no valor da descarga. Estes exemplos refletem um dos maiores desafios de se trabalhar com bacias de médio e pequeno porte, pois a ausência de dados implica na impossibilidade de aplicar métodos usuais para estimativa dos fluxos de vazão.

O monitoramento se apresenta como uma solução para obtenção de dados em pequenas bacias hidrográficas, porém sugere-se a realização de uma avaliação antes de adotar essa metodologia, como por exemplo, a finalidade da pesquisa, que vai influenciar na quantidade de medições que deverão ser realizadas, localização das bacias, recursos para implantação de estruturas hidráulicas, ou utilização de equipamentos móveis e tempo de duração da execução de todo o processo, pois todos esses aspectos são essenciais para determinação da viabilidade de adoção dessa metodologia. A relação das publicações analisadas está disposta no Apêndice A.

### **3.2. Tendências e lacunas**

Ao analisar as 109 publicações foi possível eleger as principais temáticas que foram discutidas, atreladas à disponibilidade hídrica. A primeira discussão em destaque foi sobre os efeitos das mudanças climáticas na disponibilidade de água. Diversos autores, tais como Goh *et al.* (2016), Mohammed *et al.* (2017), Hussen *et al.* (2018) e Bekele *et al.* (2019), abordaram esse tema em estudos a nível mundial com a auxílio de modelos hidrológicos, em linhas gerais as pesquisas se mostram mais



preocupadas com a disponibilidade de água em cenários futuros do que em situações atuais.

Além das mudanças climáticas, outros assuntos que podem impactar na quantidade de água foram abordados nos estudos, como por exemplo, mudanças no uso e ocupação do solo (Souza *et al.*, 2019), desenvolvimento socioeconômico Wijngaard *et al.* (2018), crescimento populacional (Tekken *et al.*, 2012), produção de alimentos (Karandish *et al.*, 2017) e (Heinke *et al.*, 2011) e as dificuldades do gerenciamento da alocação de água nas bacias hidrográficas (Aeschbacher *et al.*, 2005), (Wimmer *et al.*, 2015) e (Ortiz-Gómez *et al.*, 2015).

O termo *water availability* foi utilizado em todos os estudos, uma vez que este foi um dos critérios de elegibilidade adotado, porém os termos *water scarcity* e *water stress* também apareceram em algumas publicações. A questão aqui levantada é em relação à definição destes termos, que em muitas vezes não são apresentados de forma clara, podendo induzir erros e confusões quanto as suas utilizações. Um estudo de revisão da literatura sobre índices de disponibilidade de água, elaborado por Xu e Wu (2017) questiona a utilização desses termos e propõe, com base na revisão, que o termo *water scarcity* descreve relação entre atividades humanas e abastecimento natural de água. Já o termo *water stress* refere-se a situações em que o uso da água é limitado devido a problemas de acessibilidade ou tem sido frequentemente definido como a proporção de água retirada para disponibilidade de água. Já o termo *water availability* se apresenta de uma forma mais branda, uma vez que nome não indica uma situação de alerta. Com isso, recomenda-se uma nova revisão voltada, exclusivamente, para compreender a definição desses termos e como eles vem sendo abordados nas pesquisas que estudam a problemática da água disponível e conseqüentemente a falta dela.

Em relação às lacunas, observou-se que, primeiro não há um conceito de disponibilidade hídrica definido dentre as publicações. Em geral, a água disponível é aquela presente no manancial em determinado tempo, estimada ou medida. Em muitas vezes a água outorgada não é levada em consideração, gerando valores de disponibilidade hídrica generalizados.

Num segundo momento, percebeu-se que o sistema ambiental não é sempre levado em consideração, questionamentos tais como: “a vazão mínima usada como referência é suficiente para atender todos os requisitos ambientais do sistema? ”, não aparecem em todos os estudos. Outro aspecto é a falta da análise integrada entre as



águas subterrâneas e superficiais, sendo poucas as discussões que consideram as águas subterrâneas como parte constituinte das águas superficiais em períodos de estiagem, por exemplo.

Outro fator questionável é em relação as estimativas de vazões em relação à sua confiabilidade. Como exemplo são os métodos de regionalização de vazão, amplamente empregados tanto em trabalhos científicos, como utilizados por órgãos gestores no Brasil e no mundo, porém são métodos criteriosos, que podem gerar erros nas estimativas de vazão. Além disso, não foi encontrado um padrão de aplicabilidade dos métodos em relação ao tamanho das bacias hidrográficas. Sabe-se que não é recomendada aplicação das equações de regionalização fora dos limites das áreas dos postos fluviométricos e para bacias pequenas, “mas qual seria o tamanho ideal?” Em suma, percebeu-se que o tamanho ideal e o método a ser aplicado dependem de cada local, o ideal é testar, verificar e conferir sua viabilidade.

#### **4. CONCLUSÃO**

Pode-se concluir que o Brasil acompanhou a tendência de aumento de publicações, sobre o tema estudado, quando comparado ao restante do mundo, porém com o um número de publicações inferior em relação a países como os Estados Unidos e Alemanha. Nas 109 publicações encontradas no recorte temporal (1997-2019), predominou a utilização de modelo hidrológicos, seguida pelas metodologias de regionalização de vazão, utilização de balanço hídrico e estimativa de vazão mínima.

Constatou-se que na ausência ou insuficiência de dados para aplicação de metodologias, como regionalização de vazão ou a própria estimativa das vazões mínimas, o monitoramento de vazão se apresenta como uma alternativa para obtenção de dados, mesmo que num curto espaço de tempo, uma vez que os dados são coletados, eles podem ser utilizados para simular séries históricas de vazão.

Além disso, foi possível elencar as principais problemáticas acerca da disponibilidade hídrica e a ênfase que as publicações deram em assuntos como disponibilidade de água no futuro, mudanças climáticas, produção de alimentos, crescimento populacional, derretimento da neve e alocação de água. Em relação às lacunas, observou-se que o termo “disponibilidade hídrica” não está definido entre as



publicações analisadas, podendo ser interpretado de diversas maneiras. Outra questão é sobre o fato de que muitas pesquisas não considerarem nem os requisitos ambientais, nem a água subterrânea nas estimativas de disponibilidade hídrica. Por fim, os métodos de regionalização podem resultar em vazões diferentes das reais, por isso recomenda-se a realização de testes de viabilidade para cada situação.

## REFERÊNCIAS

AESCHBACHER, J.; LINIGER, H.; WEINGARTNER, R. River Water Shortage in a Highland–Lowland System: A Case Study of the Impacts of Water Abstraction in the Mount Kenya Region. **Research and Development**, v. 25, n. 2, p. 155–162, 2005.

ALCAMO, J.; DÖLL, P.; HENRICHS, T.; KASPAR, F.; LEHNER, B.; RÖSCH, T.; SIEBERT, S. Global estimates of water withdrawals and availability under current and future “business-as-usual” conditions. **Hydrological Sciences Journal**, v. 48:3, p. 339-348, 2003.

ALMAZÁN-GÓMEZ, M. A.; SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J.; SARASA, C. Environmental flow management: An analysis applied to the Ebro River Basin. **Journal of Cleaner Production**, v.182, p.838-851, 2018.

AULENBACH, B. T.; PETERS, N. E. Quantifying Climate-Related Interactions in Shallow and Deep Storage and Evapotranspiration in a Forested, Seasonally Water-Limited Watershed in the Southeastern United States. **Water Resources Research**, v. 54, p. 3037–3061, 2018.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment Part I: Model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34 n. 1, p. 73–89, 1998.

BAHADUR KC, K. Assessing strategic water availability using remote sensing, GIS and a spatial water budget model: case study of the Upper Ing Basin, Thailand. **Hydrological Sciences Journal**, v.56, n.6, p.994-1014, 2011.

BEKELE, E. G.; KNAPP, H. V. Watershed Modeling to Assessing Impacts of Potential Climate Change on Water Supply Availability. **Water Resources Management**, v. 24, p. 3299–3320, 2010.



BEKELE, A. A.; PINGALE, S. M.; HATIYE, S. D.; TILAHUN, A. K. Impact of climate change on surface water availability and crop water demand for the sub-watershed of Abbay Basin, Ethiopia. **Sustainable Water Resources Management**, v. 5, n. 4, p. 1859–1875, 2019.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L. D.; DA SILVA, A. M. Performance of a distributed semi-conceptual hydrological model under tropical watershed conditions. **Catena**, p. 160–171, 2011.

BEZERRA, N. R. Metodologias para Definição de Vazões Mínimas Garantidas em Cursos D'água. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, **Universidade de Brasília**, Brasília, DF, 131 p., 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos Recursos Hídricos, 2017.

CASTIGLIONI, S.; CASTELLARIN, A.; MONTANARI, A. Prediction of low-flow indices in ungauged basins through physiographical space-based interpolation. **Journal of Hydrology** n. 378, p. 272–280, 2009.

CHAVES, H. M. L et al. Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informações Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n. 3, p. 43-51, 2002.

CHIMTENGO, M.; NGONGONDO, C.; TUMBARE, M.; MONJEREZI, M. Analysing changes in water availability to assess environmental water requirements in the Rivirivi River basin, Southern Malawi. **Physics and Chemistry of the Earth**, p 202-2013, 2014.

CRUZ, J. C. Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos Conceituais (tese de doutorado) **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, R. C. Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados. (Tese de Doutorado) - Instituto de Biociências, **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2005.

ELISA, M.; SHULTZ, S.; WHITE, K. Impact of surface water extraction on water quality and ecological integrity in Arusha National Park, Tanzania. **African Journal Ecology**, v. 54, p. 174–182, 2016.

EL-JABI, N.; CAISSIE, D. Characterization of natural and environmental flows in New Brunswick, Canada. **River Research and Applications**, p. 1–11, 2018.



FINGER, D.; HUGENTOBLE, A.; HUSS, M.; VOINESCO, A. WERNLI, H. *et al.* Identification of glacial meltwater runoff in a karstic environment and its implication for present and future water availability. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, p. 3261–3277, 2013.

GAO, F.; FENG, G.; HAN, M.; DASH, P.; JENKINS, J.; LIU, C. Assessment of Surface Water Resources in the Big Sunflower River Watershed Using Coupled SWAT–MODFLOW Model. **Water**, v. 11, p. 528, 2019.

GERTEN, D.; HEINKE, J. HOFF, H.; BIEMANS, H.; FADER, M.; K. WAHA. Global Water Availability and Requirements for Future Food Production. **Journal of Hydrometeorology**, v. 12, 2011.

GOIÁS (Estado). SECIMA. Manual Técnico de Outorga, 2012. Disponível em: <[http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/201507/manual\\_tecnico\\_de\\_outorga\\_ve rsao\\_01.pdf](http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/201507/manual_tecnico_de_outorga_ve rsao_01.pdf)>

GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Goiás, **Inypsa**, 2016.

GOH, Y. C.; ZAINOL, Z.; AMIN, M. Z. M. Assessment of future water availability under the changing climate: case study of Klang River Basin, Malaysia. **International Journal of River Basin Management**, v.14, n.1, p. 65-73, 2016.

HUSSEN, B.; MEKONNEN, A.; PINGALE, S. M. Integrated water resources management under climate change scenarios in the sub-basin of Abaya-Chamo, Ethiopia. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 4, p. 221–240, 2018.

JÚNIOR, O. B. D. S.; BUENO, E. D. O.; TUCCI, C. E. M.; CASTRO, N. M. R. Extrapolação Espacial na Regionalização da Vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8 n.1 p. 21–37, Jan-Mar 2003.

KARANDISH, F.; HOEKSTRA, A. Y. Informing National Food and Water Security Policy through Water Footprint Assessment: the Case of Iran. **Water**, v.9, 2017.

KITCHENHAM, B.A. Procedures for Undertaking Systematic Reviews, Joint Technical Report, Computer Science Department, Keele University and National ICT Australia Ltd. 2004.

LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. D. A. S. D., SILVA, F. D. dos S.; LUCIO, P. S. Modelagem Hidrológica Determinística e Estocástica Aplicada à Região Hidrográfica Do Xingu – Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.3, p. 308-322, 2009



MITRA, S. S.; WRIGHT, J.; SANTRA, A.; GHOSH, A. R. An integrated water balance model for assessing water scarcity in a data-sparse interfluvium in eastern India. **Hydrological Sciences Journal**, v. 60, n.10, p. 1813-1827, 2015.

MEDEIROS, P. C.; SOUZA, F. A. S.; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011.

MUKHOPADHYAY, B.; DUTTA, A. A Stream Water Availability Model of Upper Indus Basin Based on a Topologic Model and Global Climatic Datasets. **Water Resources Management**, v. 24, p. 4403–4443, 2010.

MOHAMMED, K.; ISLAM, A. S.; ISLAM, G. T.; ALFIERI, L.; BALA, S. K.; KHAN, M. J. U. Extreme flows and water availability of the Brahmaputra River under 1.5 and 2 °C global warming scenarios. **Climatic Change**, n. 145, p.159–175, 2017.

NAGHETTINI, M; PINTO, E. J. A Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NASH, J. E. & SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, vol. 10, p.282-290, 1970.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.1, p.9–15, 2011.

ORTIZ-GÓMEZ, R.; GONZÁLEZ-CAMACHO, J. M.; CHÁVEZ-MORALES, J. Water allocation model considering a minimum environmental flow in the metztitlán river basin in Hidalgo, México. **Agrociencia**, v. 49, p. 703-721, 2015.

PADOWSKI, J. C.; JAWITZ, J. W. Water availability and vulnerability of 225 large cities in the United States. **Water Resources Research**, v. 48, 2012.

PRUSKI, F.F.; RODRIGUEZ, R. D. G.; PRUSKI, P. L.; NUNES, A. A.; REGO, F. S. Extrapolation of regionalization equations for long-term average flow. **Eng. Agrícola Jaboticabal**, v.36, n.5, p.830-838, set. /out. 2016.

PRUSKI, F.F.; NUNES, A. DE A.; FERNANDO SILVA REGO, F. S.; SOUZA, M. F. DE. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos. **Water Resources and Irrigation Management**. v.1, p. 51-59, 2012.

RAMOS D. D.; PEREIRA, S. B.; ARAI, F. K.; SANTOS, F. A.; CARNEVALI, T. O. Water seasonality in granting permits and impact of irrigation in the Dourados River



basin, MS, Brazil. **Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental**, v.21, n.7, p.499-504, 2017.

SANTHANAM, K.; ABRAHAM, M. Assessment of surface water potential and groundwater recharge in ungauged watersheds: a case study in Tamil Nadu, India. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, 2018.

SARMENTO, R. Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo. **UNESCO/ANA/CBHSF**, 2007.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v. 3, n.3, p. 97-110, Jul-Set 1998.

SOUZA, K. B.; SILVA, J. B. L. RATKE, R. F.; Gerson Santos LISBOA, S. G.; ALMEIDA, K. N. S. Influência do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Uruçuí-Preto, Piauí. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 567-573, set./out. 2019.

STEDINGER, J. R.; VOGEL, R. M. & FOULAGEORGIOU, E. Chap. 18.5 - Regionalization, in Maidment, D. R. (ed.): Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, N. York, p.18.33-18.66, 1992.

TEKKEN, V.; KROPP, J. P. Climate-Driven or Human-Induced: Indicating Severe Water Scarcity in the Moulouya River Basin (Morocco). **Water**, v. 4, p. 959-982, 2012.

TIDWELL, V. C.; MORELAND, B. D.; ZEMLICK, K. M.; *et al.* Mapping water availability, projected use and cost in the western United States. **Environmental Research Letters**, v. 9, 2014.

THARME, R.E. A Global Perspective on Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers. River Research and Applications. Published online in **Wiley Interscience**, v.19, p. 397-441. 2003.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia – Ciência e Aplicação. Porto Alegre: **Ed. da Universidade**, UFRGS, 1997, 943 p.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de Vazões. Porto Alegre: **Ed. Universidade**. UFRGS, 2002.



VESTENA, L. R.; OLIVEIRA, E. D.; CUNHA, M. C.; THOMAZ, E. L. Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 212-227, 2012.

WIMMER, F.; AUDSLEY, E. M.; MALSY, M.; SAVIN, C.; DUNFORD, R.; HARRISON, P. A.; SCHALDACH, R.; FLÖRKE, M. Modelling the effects of cross-sectoral water allocation schemes in Europe. **Climatic Change** v. 128, p. 229–244, 2015.

WIJNGAARD, R. R.; BIEMANS, H.; LUTZ, A. F.; SHRESTHA, A. B.; WESTER, P.; IMMENZEEL, W. W. Climate change vs. socio-economic development: understanding the future South Asian water gap. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 22, p. 6297–6321, 2018.

WURBS, R. A. Institutional and Hydrologic Water Availability in Texas. **Water Resources Management**, v. 29, p. 217–231, 2015.

XU, H.; WU, M. Water Availability Indices: A Literature Review. Argonne National Lab.: Argonne, IL, USA, 2017.

ZHANG, G.; XIE, H.; YAO, T.; LIANG, T.; KANG, S. Snow cover dynamics of four lake basins over Tibetan Plateau using time series MODIS data (2001–2010). **Water Resources Research**, v 48, 2012.

### CAPÍTULO III

## DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL NAS ÁREAS DE CAPTAÇÃO DO ESTADO DE GOIÁS: UMA COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÃO PARA ESTIMATIVA DA $Q_{95}$ .

Honório, M. S.; Scalize, P. S.; Formiga, K. T. M.

#### Resumo

*Este trabalho tem como objetivo comparar dois métodos de regionalização de vazão para estimativa da  $Q_{95}$ , por meio do método Tradicional (MT) e método da Vazão Específica (VE) utilizado pelo órgão gestor de recursos hídricos de Goiás e posteriormente determinar a disponibilidade hídrica nas bacias de captação superficial no estado de Goiás. O estudo foi realizado nas 16 bacias hidrográficas do estado de Goiás. A metodologia consistiu na utilização de dados de 70 estações fluviométricas para estimar a  $Q_{95}$  pelos dois métodos. Avaliou-se a precisão dos resultados por meio do Erro Relativo (ER) e pelo Erro Relativo Médio (ERM) entre as vazões observadas e as vazões estimadas em cada estação. Percebeu-se que 19,72% das estações fluviométricas apresentaram ER superiores aos limites pelo MT, enquanto que pelo MS, 45,07% das estações apresentaram ER superiores aos limites adotados, desta forma a utilização do MT é indicado visto que apresentou maior precisão nas estimativas. No entanto foi necessário levar em consideração o fato de que não é recomendado a aplicação das equações de regionalização em áreas que estejam fora do intervalo das estações fluviométricas ou em áreas que sejam pequenas. Como, aproximadamente, 60% das bacias de captação superficial (BCS) estudadas são de pequeno porte (<50 km<sup>2</sup>), optou-se por adotar o MT e comparar as estimativas de vazão com medições pontuais em determinadas BCS, a fim de verificar os ER em bacias de pequeno porte e a viabilidade da aplicação desse método. Observa-se que 4,10% das BCS possuem 100% da vazão disponível para outorga. Enquanto que 58,97%, tem a vazão passível de outorga superior a 30%. Em 6,67% das bacias analisadas foi encontrada uma vazão passível de ser outorgada superior a 10% e inferior a 30% do total. Numa situação preocupante estão 2,56% das BCS que tem a vazão passível de outorga inferior a 10%. Os outros 27,7% das BCS analisadas possuem vazões outorgadas além que o permitido e se encontram em situação crítica, indicando uma pressão sobre os mananciais por conta das outorgas concedidas além da vazão passível de outorga.*

**Palavras-chave:** Recurso hídrico, outorga, captação superficial.

## 1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento público a importância do recurso água e o quanto o desenvolvimento social e econômico é dependente dele. Um estudo elaborado por Bakker (2012) aponta que mais de 400 pesquisas sobre segurança hídrica foram publicadas entre 1992 e 2012, sendo que mais de 50% do total foram publicadas entre 2008 e 2012. Além disso, a aproximação de decisores políticos e organizações não governamentais, para debater o tema em importantes eventos mundiais, reflete a preocupação crescente frente a vulnerabilidade humana e ecossistêmica em função da falta de água, não só no Brasil, mas também ao redor do mundo.

Segundo Fioreze *et al.* (2010) a demanda crescente e a limitação da disponibilidade, agravada, muitas vezes, pela contaminação dos recursos hídricos, tem sido tema de debates. Frequentemente, de acordo com Gain *et al.* (2016) os sistemas de água para consumo humano são vistos somente por meio de uma ótica singular, ou seja, a falta de água condicionada à demanda excessiva e não por meio de uma ótica integradora, que leva em consideração as mudanças climáticas, a distribuição heterogênea do recurso, disparidade econômica e falhas institucionais.

No entanto, para se realizar a gestão dos recursos disponíveis, é imprescindível partir do fundamental, que se pauta em conhecer os fenômenos hidrológicos das bacias as quais se deseja gerenciar, uma vez que é necessário determinar critérios e limites para cada uso específico. A disponibilidade hídrica, por exemplo, pode ser determinada em função das vazões mínimas ( $Q_{7,10}$ ), das vazões de permanência ( $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$ ) e/ou das vazões médias de longa duração ( $Q_{mld}$ ).

No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA) recomenda a utilização da vazão de permanência presente em 95% do tempo ( $Q_{95}$ ) como vazão de referência (BRASIL, 2013), porém os estados brasileiros têm autonomia para definirem as variáveis que condizem com sua realidade hidrológica. Em Goiás, a  $Q_{95}$  é adotada como referência para concessão de outorgas (GOIÁS, 2015).

Porém, para determinação da vazão de referência há a dificuldade de obtenção de dados hidrológicos. Um estudo elaborado por Vespucci, Santos e Bayer (2016) indica que 274 das 413 estações fluviométricas presentes no estado de Goiás se enquadram como insatisfatórias, pois não oferecem séries históricas, longas (duração), contínuas (sem falhas) e atuais (dados a partir do ano 2000), tornando o monitoramento das águas superficiais um desafio. Outra complexidade está na

escolha das metodologias para determinação da vazão mínima de referência, uma vez que essa escolha depende, dentre outros fatores, dos dados disponíveis e da área de aplicação.

Assim, a dificuldade de obtenção de dados para estimar as vazões de referência, culmina na utilização de métodos de regionalização de vazão que consistem na transferência de dados de uma região para outra. No entanto, a utilização da regionalização requer cautela, uma vez que a qualidade das vazões estimadas depende do número de estações fluviométricas e de sua distribuição (MOREIRA; SILVA, 2009).

Em Goiás as vazões específicas para cada bacia hidrográfica são pré-determinadas e são utilizadas para o procedimento de outorga de direito de uso da água. Esta é uma forma generalizada, uma vez que a vazão específica varia ao longo da bacia. Por esse motivo, identificou-se a necessidade de comparar dois métodos de regionalização de vazão, para estimar a  $Q_{95}$ , com o objetivo de oferecer à gestão de recursos hídricos, subsídios para a escolha de um método aplicado à realidade do estado de Goiás.

Os dois métodos que foram aplicados são a regionalização pelo método Tradicional e a regionalização por meio da vazão específica que é, atualmente, utilizada pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás (SEMAD). O primeiro método foi escolhido em virtude de ser amplamente utilizado, ser de fácil aplicação e também por não ter sido encontrado material técnico, nem artigo científico que já tivesse desenvolvido esse método em todas as bacias do Estado, já o segundo método foi escolhido em razão de sua utilização pela SEMAD com o intuito de testar seu desempenho na estimativa de vazões de referência.

Dentro das Bacias Hidrográficas existem áreas de uso prioritário, consideradas como especiais, nas quais incluem áreas indicativas de preservação permanente, como, por exemplo, as bacias hidrográficas de captação de água para abastecimento, que neste estudo são denominadas como Bacias de Captação Superficial (BCS) (GOIÁS, 2009). As BCS são de suma importância, já que são locais de contribuição para as captações de água que garantem o abastecimento da população, por esse motivo, estimar a  $Q_{95}$  utilizando duas metodologias distintas para determinar a disponibilidade hídrica nessas bacias de interesse, realizando o balanço entre as outorgas concedidas e a água disponível para ser outorgada, permite elaborar um

cenário da situação hídrica nas BCS de Goiás e então analisar se as outorgas já concedidas exercem uma pressão excessiva sobre as bacias.

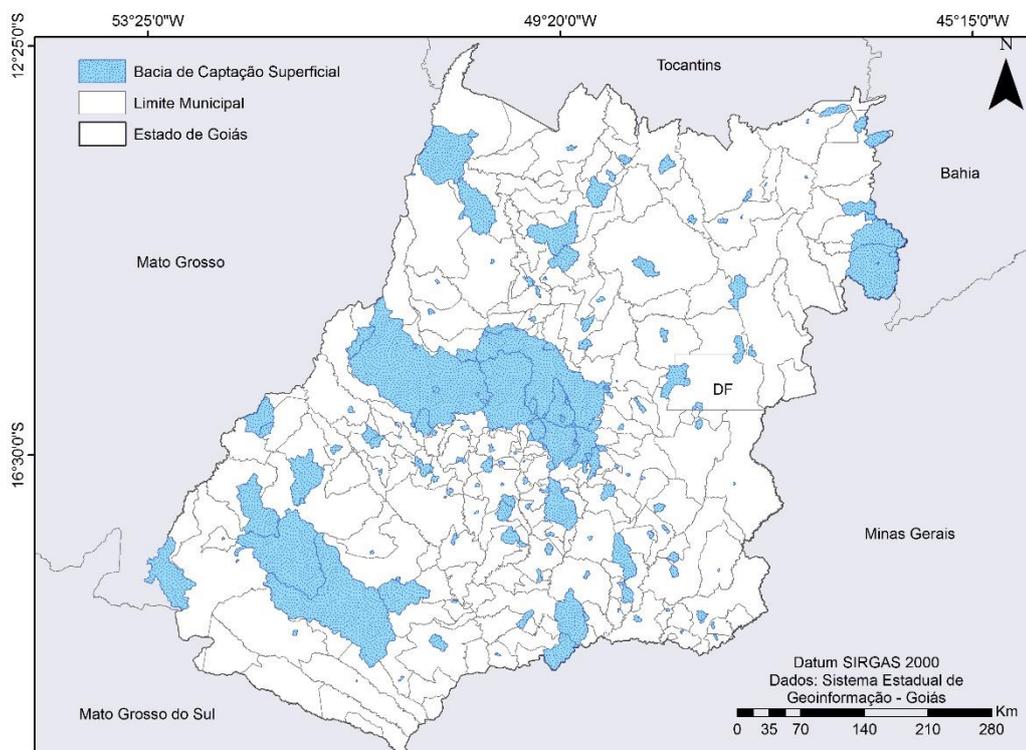
Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo comparar dois métodos de regionalização de vazão para estimativa da  $Q_{95}$  e posteriormente aplicar o método de melhor desempenho para determinar a disponibilidade hídrica em 195 bacias de captação superficial.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de estudo

O estado de Goiás pertence à região Centro-Oeste do Brasil, possui 246 municípios, com população estimada de 6.434.048 habitantes e área de 340.111,78 km<sup>2</sup> (GOIÁS, 2014). A área de estudo compreende 201 bacias de captação superficial (BCS) distribuídas em 195 municípios distintos conforme distribuição espacial na Figura 1 (PINHEIRO, 2018).

**Figura 1:** Distribuição espacial das bacias de captação superficial no estado de Goiás.

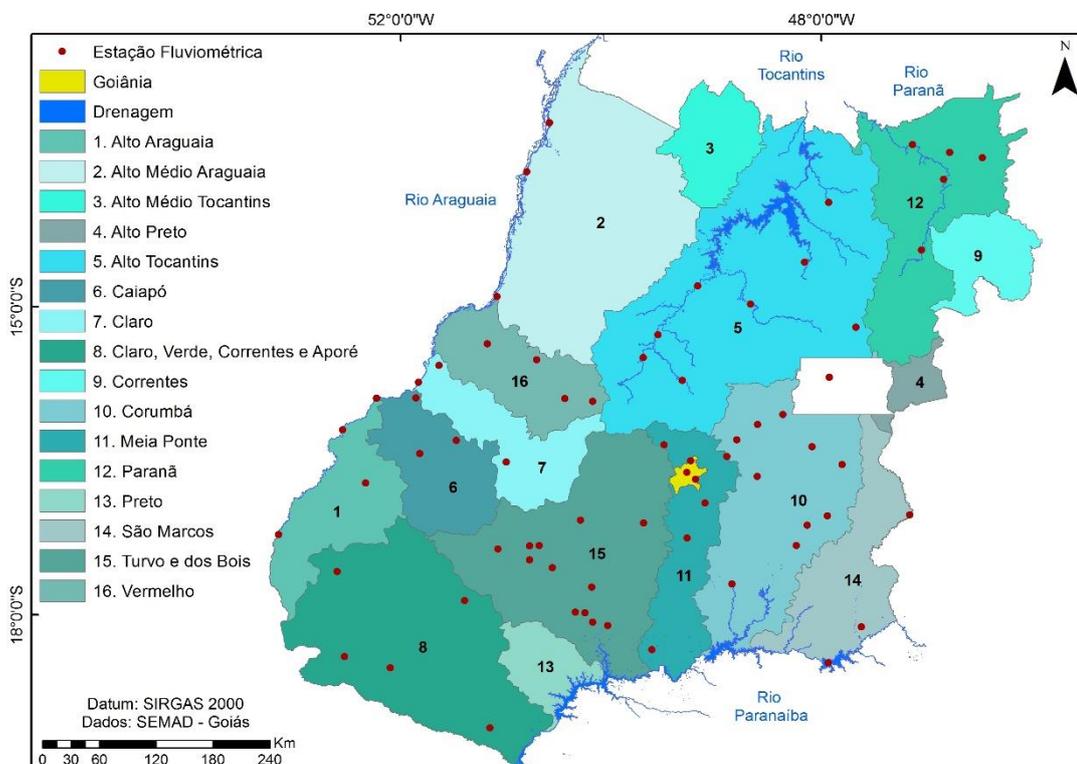


Fonte: Adaptado de Pinheiro *et al.* (2018).

Por se localizar em região estratégica e circundar a Capital Federal, Goiás vem apresentando um crescimento populacional acima do índice nacional (GOIÁS, 2016).

De acordo com os últimos censos, Goiás possuía 4.018.903 habitantes em 1991, 5.003.228 habitantes em 2000 e 6.003.788 habitantes em 2010 (GOIÁS, 2011), um aumento de 49% em 19 anos.

**Figura 2:** Localização das Bacias Hidrográficas de Goiás segundo a SEMAD (GOIÁS, 2015).



Fonte: Adaptado de Goiás (2015).

A ocupação das bacias hidrográficas decorre das principais atividades econômicas do Estado, agronegócio e agroindústria ligados aos setores de pecuária de corte, plantio de grãos e sucroalcooleiro (GOIÁS, 2016). O desenvolvimento econômico e o crescimento populacional demandam cada vez mais água como recurso fundamental para sua manutenção, o que representa um risco iminente para manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos no meio ambiente.

## 2.2. Delimitação das bacias de captação superficial

Inicialmente foi realizado o levantamento dos pontos de captação de água superficial existentes no Estado e as respectivas bacias de captação superficial, utilizando como referência o trabalho desenvolvido por Pinheiro *et al.* (2018) (Figura 1).

### 2.3. Dados fluviométricos

Com vistas à comparação dos valores da  $Q_{95}$  estimados pelo método tradicional e pelo método da vazão específica, foi realizado o levantamento dos dados fluviométricos de todas as estações situadas no estado de Goiás, disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB), que é uma na base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA).

Em seguida foi realizado um pré-processamento dos dados utilizando o *software* SisCAH 1.0, onde cada estação passou por uma análise de seu diagrama de barras, que é uma ferramenta que fornece a visualização da porcentagem de dados de cada ano, para várias estações ao mesmo tempo. Essa etapa foi realizada com o a finalidade de estabelecer o período da série histórica a ser utilizado.

Neste momento optou-se por adotar o ano hidrológico de março a fevereiro, uma vez que de março a setembro caracteriza-se o período de seca e outubro a fevereiro o período chuvoso, a escolha desse ano hidrológico, também, se deu pela necessidade de se considerar o período de estiagem completo dentro um mesmo ano que vai de janeiro a dezembro. Foram utilizados dados de 70 estações fluviométricas (Figura 2), com séries históricas de no mínimo cinco anos de extensão, conforme recomendação de Tucci (2002), durante o processamento dos dados optou-se por utilizar séries históricas contínuas, ou seja, com ausência de falhas.

Após essa análise preliminar, as vazões permanentes em 95% do tempo ( $Q_{95}$ ) de cada estação foram determinadas e relacionadas com suas respectivas áreas de drenagem, as quais foram obtidas por meio do *Inventário das Estações Fluviométricas* (BRASIL, 2009).

### 2.4. Estimativa da $Q_{95}$

#### 2.4.1. Método Tradicional

O método Tradicional, como é conhecido no Brasil, foi descrito pela ELETROBRÁS (1985a) e tem sido aplicado em diversos estudos de regionalização de vazão, tanto acadêmicos, como técnicos (MEHAIGUENE *et al.* (2012); VEZZA *et al.* (2010); SILVA *et al.* (2010), CPRM (2015)). O método consiste no ajuste de equações de regressão entre as variáveis dependente e independente, para regiões hidrologicamente homogêneas. Para a determinação das regiões homogêneas deve

se levar em consideração critérios físicos e/ou estatísticos, de maneira que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos modelos de equação utilizados apresentem valores satisfatórios ( $> 0,90$ ), quanto mais próximo a um, mais explicativo será o modelo. Em suma o  $R^2$  representa o quanto o modelo consegue explicar a variabilidade da função estudada (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Este procedimento foi realizado nas bacias hidrográficas que possuíam número suficiente de estações fluviométricas, já nas bacias hidrográficas com poucas estações foi considerada toda sua extensão, sem realizar subdivisões. Quanto mais estações com dados disponíveis melhor é a caracterização, porém são necessários dados de pelo menos seis estações para realizar uma divisão em duas regiões, por exemplo.

De posse dos valores da  $Q_{95}$  e das áreas de drenagem de cada estação fluviométrica pertencente à mesma bacia hidrográfica, foi possível aplicar o modelo de regressão do tipo potencial, sendo a variável dependente a vazão de referência presente em 95% do tempo ( $Q_{95}$ ) e a variável independente a área de contribuição das estações fluviométricas. A avaliação da qualidade do ajuste foi realizada por meio de análise do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e ( $R^2a$ ) e do erro padrão da estimativa (e.p). Não foi possível encontrar na literatura, as faixas de classificação do  $R^2$ , até porque o mesmo não deve ser analisado sozinho, por esse motivo adotou-se que o modelo com um bom ajuste são os que apresentarem  $R^2$  e  $R^2a$  alto ( $> 0,90$ ) e erro padrão da estimativa baixo ( $< 1,0$ ). Com a identificação das equações de regressão para cada uma das bacias, foi possível estimar a  $Q_{95}$  na foz de cada uma das BCS estudadas.

#### 2.4.2. Método da vazão específica

O método utilizado pelo órgão gestor de recursos hídricos do estado de Goiás, está descrito no *Manual Técnico de Outorga* (GOIÁS, 2012) e consiste na obtenção da  $Q_{95}$  por meio do produto entre a área de drenagem do local de interesse e a  $Q_{95}$  específica da bacia hidrográfica que o local está inserido, conforme Equação 1. As vazões específicas de cada uma das 16 bacias hidrográficas do estado de Goiás, foram estabelecidas pela Instrução Normativa nº 04 de 2015 da SEMAD.

$$Q_{95} = Q_{95esp} \times AD \quad (1)$$

Onde:

$Q_{95}$  = Vazão de referência  $Q_{95}$  (l/s)

$Q_{95esp}$  = Vazão específica (l/s.km<sup>2</sup>)

AD = Área de drenagem (km<sup>2</sup>)

## 2.5. Comparação dos resultados

Após a aplicação dos dois métodos de posse dos valores estimados da  $Q_{95}$  por meio do Método Tradicional e do Método da Vazão Específica, avaliou-se a precisão dos mesmos por meio do Erro Relativo (ER) entre as vazões observadas e as vazões estimadas (MOREIRA, 2014). O ER é dado pela Equação 2.

$$ER = 100 \times \left( \frac{Q_{obs} - Q_{est}}{Q_{obs}} \right) \quad (2)$$

Onde:

ER = erro relativo, %;

$Q_{obs}$  = vazão obtida a partir da análise da série histórica no posto fluviométrico, m<sup>3</sup>/s;

$Q_{est}$  = vazão estimada com base nas metodologias de regionalização, m<sup>3</sup>/s.

Conforme descrito por ELETROBRÁS (1985b) considera-se aceitável ER menores que 30%, esses valores podem se apresentar de forma negativa, indicando a superestimava das vazões, ou de forma positiva, indicando que o modelo subestimou as vazões. Além do ER avaliou-se, também, o Erro Relativo Médio (ERM) para cada uma das bacias hidrográficas, que é dado pela Equação 3.

$$ERM = \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=0}^n \left| \frac{Q_{obs} - Q_{est}}{Q_{obs}} \right| \right] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

n = número de estações utilizadas

## 2.6. Medição de vazão

Identificou-se a necessidade de realizar medições de vazão em bacias de captação superficial com áreas menores que 50 km<sup>2</sup>, pois não foram identificados dados para áreas de contribuição pequenas, mas que são, mesmo assim responsáveis pelo abastecimento humano, os valores obtidos foram comparados com os valores estimados pela regionalização, com o intuito de verificar o desempenho das equações de regionalização em bacias hidrográficas de pequeno porte.

Devido à logística, custo de deslocamento, transporte e disponibilidade do equipamento foram realizadas uma medição em cada uma das nove bacias de captação superficial, situadas em oito bacias hidrográficas diferentes, conforme pode ser observado no Quadro 1, todas com áreas menores que 50 km<sup>2</sup>.

**Quadro 1:** Locais das onde foram realizadas as medições de vazão e suas respectivas áreas.

Data	Bacia Hidrográfica	Município	Área da BCS (km <sup>2</sup> )
24/09/2019	Turvo e dos Bois	Guapó	41,54
24/09/2019	Meia Ponte	Aragoiânia	14,46
24/09/2019	Corumbá	Leopoldo de Bulhões	14,35
30/09/2019		Abadiânia	27,94
01/10/2019	Paraná	Nova Roma	6,52
03/10/2019	Claro	Sanclerlândia	30,45
03/10/2019	Vermelho	Itapirapuã	35,76
04/10/2019	Alto Médio Araguaia	Mozarlândia	11,96
04/10/2019	Alto Tocantins	Heitoraí	18,40

Fonte: Autores.

As medições foram realizadas entre setembro e outubro de 2019, utilizando o medidor de vazão *Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) Flow Tracker* (Figura 3 a e b). A medição utilizando este equipamento obedeceu algumas etapas. A seção do rio a ser medida, foi escolhida considerando a facilidade de acesso, trecho retilíneo e a ausência de pedras e galhos que pudessem atrapalhar a leitura do equipamento. A distância entre o ponto de captação de água para abastecimento e o ponto de medição, também, foi levada em consideração, sendo essa distância a menor possível, de modo que o local escolhido abrangesse todos os afluentes que contribuem para a vazão do ponto de captação.

Em seguida duas estacas foram colocadas nas margens do rio, uma de cada lado, para sustentar a fita métrica que foi instalada para guiar os pontos de medição ao longo da seção de interesse. Após a instalação da fita, foi definido o espaçamento de dez centímetros ao longo da largura da seção, para aquisição da profundidade e velocidade em cada ponto. Por fim, com os valores das velocidades e da seção do rio equivalente, o equipamento forneceu a vazão do local.

**Figura 3:** a) medição de vazão na bacia de captação de Guapó; b) medição de vazão na bacia de captação de Leopoldo de Bulhões.



Fonte: Autores

## 2.7. Dados de Outorga

Como o estudo é direcionado para disponibilidade hídrica superficial, foram consideradas as outorgas em vigência, concedidas pela SEMAD em todas as 195 BCS até o ano de 2019. É importante ressaltar que neste estudo não foram considerados os desvios de água e as captações sem cadastro na SEMAD, visto que para ser possível considerar esse tipo de dado seria fundamental realizar visitas em campo, o que inviabilizaria a execução do estudo em função do tempo, recursos disponíveis e da extensão territorial da área de estudo. Porém, com relação às captações de água para abastecimento público o fato é que nem todas possuem outorga, nesses casos foi utilizado como referência o *Atlas da ANA de Abastecimento Urbano de Água* (BRASIL, 2010) que dispõe de uma estimativa de vazão de água necessária para suprir as necessidades da população de cada município.

## 2.8. Determinação da disponibilidade hídrica nas Bacia de Captação Superficial

A determinação da disponibilidade hídrica foi realizada em quatro fases distintas, são elas:

- Determinação da vazão de referência presente em 95% do tempo ( $Q_{ref}$ ) na foz de cada BCS;
- Cálculo da vazão passível de outorga ( $Q_{pout}$ ), que de acordo com a Resolução nº 09 de 2005, conforme Equação 4:

$$Q_{pout} = 0,5 Q_{ref} \quad (4)$$

Onde:

$Q_{ref}$ : Vazão de referência  $Q_{95}$ , l/s;

$Q_{pout}$ : Vazão passível de outorga, l/s.

- Determinação da vazão já outorgada ( $Q_{out}$ ), que consiste no somatório de toda vazão outorgada à montante do local de interesse, que nesse estufo, foi considerado o ponto de captação de água superficial;
- Cálculo do balanço entre o que é retirado do manancial superficial e o que existe disponível. Esse balanço foi determinado pela Equação 5:

$$Q_d = Q_{pout} - \sum_{i=0}^n Q_{out} \quad (5)$$

Onde:

$Q_d$ : Vazão disponível, l/s;

$Q_{pout}$ : Vazão passível de outorga, l/s;

$\sum_{i=0}^n Q_{out}$ : Somatório das vazões outorgadas à montante, l/s.

Para caracterizar a situação da disponibilidade hídrica em cada bacia de captação superficial, foi aplicado um índice que identifica conflitos potenciais pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $I_{cg}$ ), elaborado por Moreira *et al.* (2012). O  $I_{cg}$  foi calculado pela Equação 6.

$$I_{cg} = \frac{Q_{out}}{x Q_{ref}} \quad (6)$$

Onde:

$I_{cg}$ : índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (adimensional);

$Q_{out}$ : vazão outorgada a montante da foz do segmento em estudo (l/s);

$x$ : percentagem, expressa em decimal, da  $Q_{ref}$  passível de ser outorgada (adimensional);

$Q_{ref}$ : vazão mínima de referência estimada na foz do segmento em estudo (l/s).

Visando a representação gráfica dos valores encontrados pelo  $I_{cg}$ , foi utilizada uma estratificação elaborada por Moreira *et al.* (2012) que consiste na caracterização das faixas de vazão ainda permissíveis de serem outorgadas e mais duas classes específicas, para caracterização das situações em que as vazões outorgadas superam os limites previstos na legislação (Tabela 1), caracterizados por  $I_{cg} > 1$ . Para os casos em que os limites foram ultrapassados, as faixas adotadas de valores de  $I_{cg}$

passaram a ter como referência a  $Q_{ref}$  em substituição a  $x Q_{ref}$ . Para isso, o valor do  $I_{cg}$  foi multiplicado pelo percentual da  $Q_{ref}$  passível de ser outorgada ( $x = 0,5$ ), dessa forma o limiar de estratificação da condição em que as outorgas superaram a vazão passível de outorga foi dado por  $x I_{cg}$ .

**Tabela 1:** Faixas de vazão permissíveis de ser outorgada (1 a 4) e quando supera os limites previstos na legislação adotada como referência (5 e 6).

Cor	$I_{cg}$	Situação
1	$I_{cg} = 0$	Igual à vazão máxima passível de ser outorgada na foz do segmento em estudo.
2	$0 < I_{cg} \leq 0,7$	Superior a 30% da vazão máxima passível de outorga.
3	$0,7 < I_{cg} \leq 0,9$	Inferior a 30% e superior ou igual 10% da vazão máxima passível de outorga.
4	$0,9 < I_{cg} \leq 1$	Inferior a 10% da vazão máxima passível de outorga.
5	$x I_{cg} \leq 1$	Vazão outorgada superior a $x Q_{ref}$ e inferior ou igual à vazão mínima de referência.
6	$x I_{cg} > 1$	Vazão outorgada superior à vazão mínima de referência.

Fonte: Moreira *et al.* (2012).

A metodologia proposta por Moreira *et al.* (2012) foi aplicada para cada segmento de rio presente na bacia hidrográfica, no entanto, neste estudo o  $I_{cg}$  foi aplicado na foz de cada bacia de captação superficial, já que é o segmento de maior interesse e é uma área especial destinada para captação de água para abastecimento público.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Equações de Regressão obtidas pelo Método Tradicional

Na Tabela 3 estão apresentadas as equações de regionalização para cada uma das bacias hidrográficas estudadas, bem como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2 a$ ) e o erro padrão (e.p).

Todas as equações de regionalização apresentaram resultados otimistas, uma vez que o modelo adotado, utilizando a área de drenagem como única variável explicativa, atendeu os requisitos previamente estabelecidos para considerar o ajuste das equações de regressão satisfatório, com exceção da equação proposta para a BCS do Alto Médio Araguaia que apresentou um coeficiente de determinação inferior ao considerado satisfatório. Os valores de  $R^2$  encontrados variaram entre 0,852 e 0,996, os valores do  $R^2 a$  entre 0,704 e 0,995 e o erro padrão entre 0,025 a 0,692.

De acordo com Naghettini e Pinto (2007) o modelo ideal da função empregada, sempre será aquele que apresentar o menor número de variáveis explicativas, que apresentar pequeno erro padrão de estimativa e apresentar alto coeficiente de determinação.

Não foram identificadas estações fluviométricas suficientes nas bacias dos rios Correntes e Alto Preto para determinação da equação de regressão, uma vez que são necessárias no mínimo três estações para determinar as equações de regressão.

**Tabela 3:** Resultados obtidos com a aplicação do método Tradicional.

Bacia	Nº Estações	Equação	R <sup>2</sup>	R <sup>2a</sup>	e.p
Meia Ponte	8	$Q_{95}=0,006A^{0,9483}$	0,996	0,995	0,102
Turvo e dos Bois	6	$Q_{95}=0,0234A^{0,8685}$	0,994	0,992	0,092
	6	$Q_{95}=0,0026A^{1,0101}$	0,930	0,914	0,361
Corumbá	8	$Q_{95}=0,0036A^{1,0255}$	0,992	0,990	0,198
	4	$Q_{95}=0,1114A^{0,5237}$	0,978	0,967	0,108
São Marcos	3	$Q_{95}=0,0023A^{1,0650}$	0,985	0,970	0,155
Claro, Verde, Correntes, Aporé e Preto	5	$Q_{95}=0,0023A^{1,1914}$	0,944	0,914	0,359
Caiapó	4	$Q_{95}=0,0001A^{1,3481}$	0,994	0,990	0,177
Vermelho	4	$Q_{95}=0,0017A^{0,9741}$	0,962	0,943	0,397
Alto Médio Araguaia	3	$Q_{95}=30,07A^{0,2430}$	0,852	0,704	0,025
Alto Tocantins/ Alto Médio Tocantins	8	$Q_{95}=0,0038A^{0,9700}$	0,959	0,946	0,283
Paraná	4	$Q_{95}=0,0871A^{0,6551}$	0,995	0,991	0,141
Claro	3	$Q_{95}=0,0041A^{0,9953}$	0,973	0,946	0,375
Alto Araguaia	4	$Q_{95}=0,0018A^{1,1016}$	0,906	0,859	0,692
Correntes*	1	-	-	-	-
Alto Preto*	2	-	-	-	-

**Nota:** \*Bacia Hidrográfica com número de estações insuficientes para determinação da equação de regressão.  
Fonte: Autores.

### 3.2. Estimativa da Q<sub>95</sub>

Para comparação, o método Tradicional e o método utilizado pela SEMAD foram aplicados para 14 das 16 bacias hidrográficas, visto que não foi possível aplicar a metodologia para as bacias do rio Corrente e do Alto Preto. Os resultados de cada bacia hidrográfica estão dispostos na Tabela 4.

Com o intuito de avaliar a representatividade das  $Q_{95}$  estimadas pelo método Tradicional (MT) e pelo método da Vazão Específica (VE), uma vez que elas podem apresentar anomalias, como por exemplo vazões superestimadas ou subestimadas, realizou-se a análise do Erro Relativo percentual (%) e o Erro Relativo Médio.

**Tabela 4:** Erros relativos percentuais (ER) e valores de  $Q_{95}$  em  $m^3/s$ , obtidos a partir da análise das séries históricas e estimados por diferentes métodos de regionalização de vazões.

Bacia Hidrográfica	Código	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{95}$ obs.	Método da Vazão			
				Método Tradicional (MT)		Específica (VE)	
			$Q_{95}$ est.	ER (%)	$Q_{95}$ est.	ER (%)	
	60895000	1277	13,46	11,546	14,218	11,123	17,365
Claro, Verde, Correntes, Aporé e Preto (CVCA/P)	60910000	703	4,229	5,670	-34,077	6,123	-44,789
	60940000	2874	41,018	30,351	26,006	25,033	38,972
	60950000	6882	68,033	85,898	-26,259	59,942	11,892
	60870000	1189	11,971	10,605	11,413	10,356	13,489
Alto Araguaia (AA)	24070000	1847,6	14,68	7,14114	51,355	5,949	59,474
	24196000	1613	3,174	6,14897	-93,729	5,194	-63,638
	24700000	36432	184,026	190,635	-3,591	117,311	36,253
	24200000	19100	97,869	93,5963	4,366	61,502	37,159
Alto Médio Araguaia (AMA)	25200000	76964	303,412	299,50	1,29	128,529	57,64
	25700000	92638	305,031	311,06	-1,98	154,705	49,28
	25950000	117580	330,001	326,59	1,03	196,358	40,50
Caiapó (CA)	24800000	12084	32,716	31,859	2,620	32,385	1,011
	24750000	6471	19,867	13,727	30,906	17,342	12,708
	24780000	1369	2,058	1,691	17,825	3,669	-78,276
	24700000	36432	184,026	141,038	23,360	97,638	46,943
Claro (CL)	24900000	2022	9,511	7,999	15,899	5,095	46,426
	24950000	9045	26,391	35,530	-34,630	22,793	13,632
	24850000	50930	230,837	198,443	14,033	128,344	44,401
Vermelho (VE)	25140000	3659	7,647	5,029	34,230	7,464	2,388
	25120000	260	0,336	0,383	-13,903	0,530	-57,857
	25130000	5370	5,218	7,308	-40,060	10,955	-109,943
	25100000	231	0,378	0,341	9,770	0,471	-24,667
Alto Tocantins/Alto Médio Tocantins (AT/AMT)	20250000	10538	35,688	30,329	15,016	32,773	8,168
	20100000	1978	6,712	5,986	10,819	6,152	8,350
	20699000	1610	6,364	4,902	22,967	5,007	21,321
	20050000	11008	41,661	31,640	24,053	34,235	17,825
	20950000	884	1,581	2,741	-73,345	2,749	-73,892
	20200000	3650	10,864	10,844	0,180	11,352	-4,487
	20009000	203,06	0,768	0,658	14,332	0,632	17,771
	20489100	17000	33,881	48,230	-42,352	52,870	-56,046
Paraná (PA)	21580000	415	4,126	4,520	-9,540	1,038	74,855
	21560000	2921	19,826	16,229	18,144	7,303	63,167
	21600000	29818	87,758	74,345	15,285	74,545	15,056
	21500000	22834	47,481	62,420	-31,464	57,085	-20,227

**Tabela 4 (continuação):** Erros relativos percentuais (ER) e valores de  $Q_{95}$  em  $m^3/s$ , obtidos a partir da análise das séries históricas e estimados por diferentes métodos de regionalização de vazões.

Bacia Hidrográfica	Código	Área (km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> obs.	Método Tradicional (MT)		Método da Vazão Específica (VE)	
				Q <sub>95</sub> est.	ER (%)	Q <sub>95</sub> est.	ER (%)
Turvo e dos Bois (TB)	60785005	1164	11,169	10,765	3,621	5,273	52,790
	60778000	850	7,099	8,192	-15,404	3,851	45,760
	60774000	780	8,498	7,603	10,529	3,533	58,421
	60798000	12660	85,57	85,542	0,033	57,350	32,979
	60790000	8643	61,081	61,406	-0,532	39,153	35,900
	60781000	5909	44,702	44,134	1,270	26,768	40,120
	60772000	16752	48,776	48,051	1,486	75,887	-55,582
	60805000	30536	106,923	88,122	17,584	138,328	-29,372
	60750000	2486	4,381	6,995	-59,660	11,262	-157,055
	60765000	7583	15,362	21,577	-40,460	34,351	-123,610
60715000	4533	13,716	12,832	6,446	20,534	-49,712	
60810000	1333	5,734	3,727	35,001	6,038	-5,310	
Meia Ponte (MP)	60680000	11527	41,824	42,6459	-1,965	49,797	-19,062
	60665000	1198	4,775	4,98255	-4,3466	5,175	-8,385
	60654000	1265	6,008	5,24643	12,676	5,465	9,041
	60650000	2970	13,295	11,786	11,3502	12,830	3,495
	60640000	1798	6,397	7,32265	-14,47	7,767	-21,422
	60642000	781	3,267	3,32087	-1,649	3,374	-3,273
	60653000	51	0,257	0,24971	2,836	0,220	14,272
60635000	568	2,243	2,45527	-9,4638	2,454	-9,396	
Corumbá (CO)	60477300	209,15	0,617	0,86284	-39,845	0,9892795	-60,337
	60500000	4688	19,236	20,9363	-8,8392	22,17424	-15,275
	60540000	3843	15,485	17,0758	-10,273	18,17739	-17,387
	60545000	21248	96,695	98,6205	-1,9913	100,50304	-3,938
	60430000	2009	11,263	8,78028	22,0431	9,50257	15,630
	60510010	15500	69,763	71,3654	-2,2969	73,315	-5,092
	60544100	72	0,361	0,28907	19,9263	0,34056	5,662
	60445000	8034	42,805	36,3756	15,0202	38,00082	11,223
	60432000	218	1,869	1,86868	0,01714	1,03114	44,829
	60433000	1115	4,352	4,39282	-0,9379	5,27395	-21,185
60590000	2232	7	6,31824	9,73938	10,55736	-50,819	
60591000	2363	5,925	6,50981	-9,8702	11,17699	-88,641	
São Marcos (SM)	60160080	29000	141	130,071	7,751	134,270	4,773
	60020000	4445	14,676	17,6486	-20,255	20,580	-40,231
	60050000	902	3,55	3,22866	9,052	4,176	-17,641

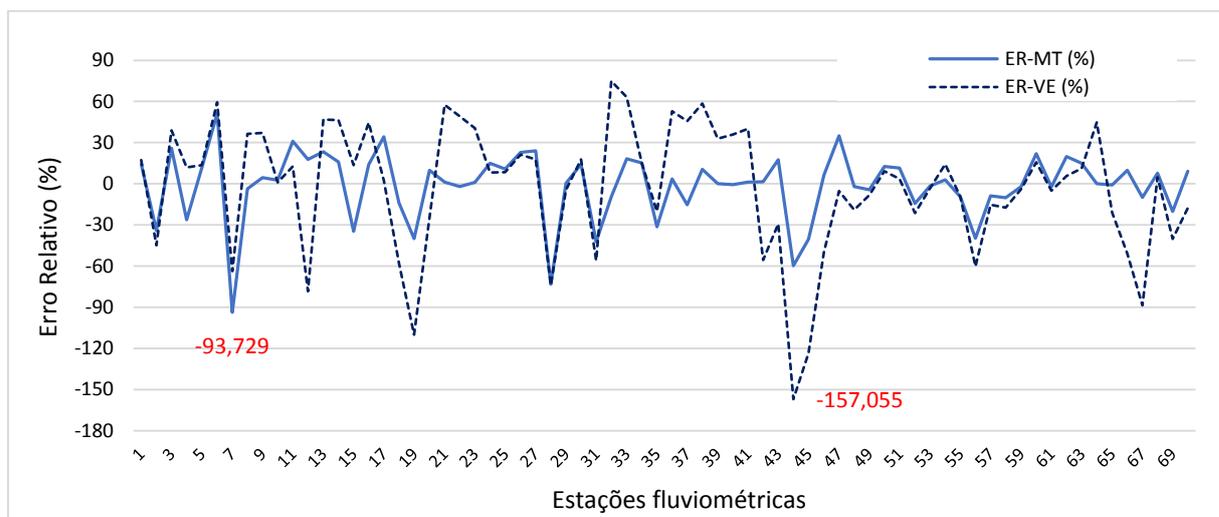
Fonte: Autores.

Na Figura 4 é possível observar a disposição dos ER encontrados na aplicação dos dois métodos. Nas duas situações os ER foram maiores que 30% e menores que -30%, no caso de vazões subestimadas e superestimadas, respectivamente. Porém

analisando as 70 estações, de forma geral, percebeu-se que 19,72% das estações apresentaram ER superiores aos limites pelo MT, enquanto que pelo MS, 45,07% das estações apresentaram ER superiores aos limites adotados.

O MT apresentou um desempenho melhor quando comparado ao VE, com cinco bacias hidrográficas com ER dentro dos limites. O maior ER encontrado foi na bacia do Alto Araguaia, na estação 24196000, com o valor igual a -93,729, ou seja, nesta estação foi superestimada em quase 100%. Já o MS apresentou um desempenho pior, sendo que a bacia hidrográfica do rio Meia Ponte foi a única que obteve valores de ER menores que o limite, as outras bacias hidrográficas apresentaram uma ou mais estações com ER superiores ao limite. Observou-se, também, que o MS apresentou uma variação maior quanto ao ER, sendo o pior resultado igual a -157,055% na estação 60750000, situada na bacia hidrográfica do rio Turvo e dos Bois.

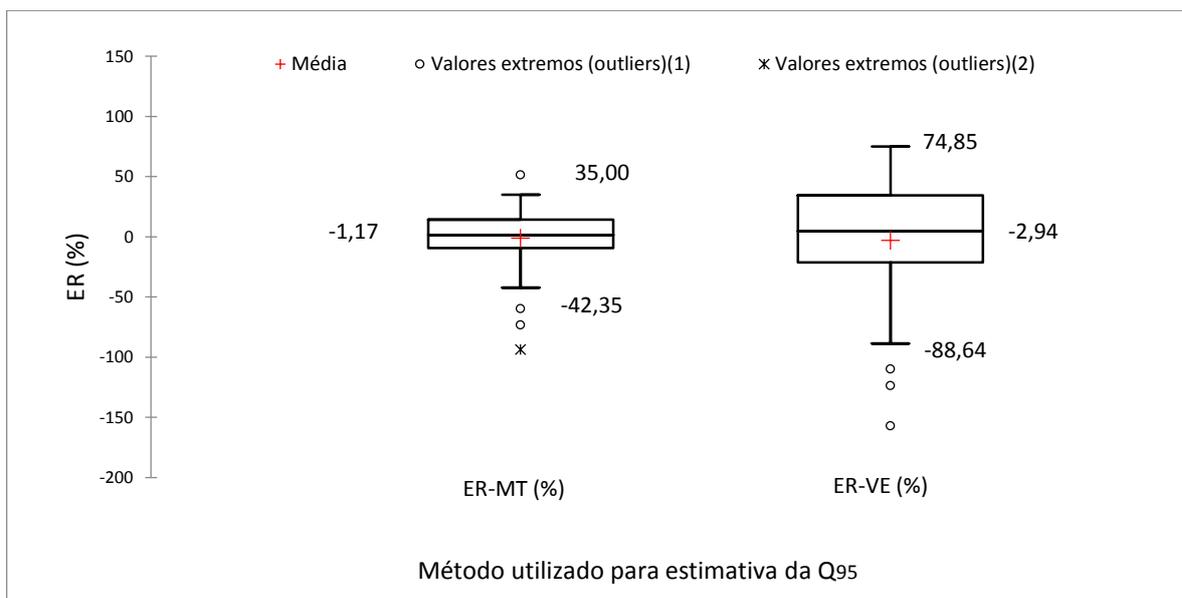
**Figura 4:** Disposição dos ER encontrados a partir da aplicação do Método Tradicional (MT) e do Método da Vazão Específica (VE) nas 70 estações fluviométricas utilizadas.



Fonte: Autores.

Para melhor interpretação dos resultados utilizou-se o modelo de gráfico *Box Plot* (Figura 5), com o objetivo de realizar uma análise estatística com conceitos básicos, como por exemplo os valores máximos, mínimos, medianas e *outliers*. Conforme Schneider e Silva (2014) os *outliers* são valores distantes que compõem a série de dados, portanto ficam fora da margem, pois podem comprometer a análise dos dados. Na Figura 5 que a média pelo MT é menor que a média encontrada pelo MS, porém as duas apresentaram valores baixos iguais a -1,17 e -2,94, respectivamente. Os valores máximos e mínimos, também foram menores no MT, em relação ao MS.

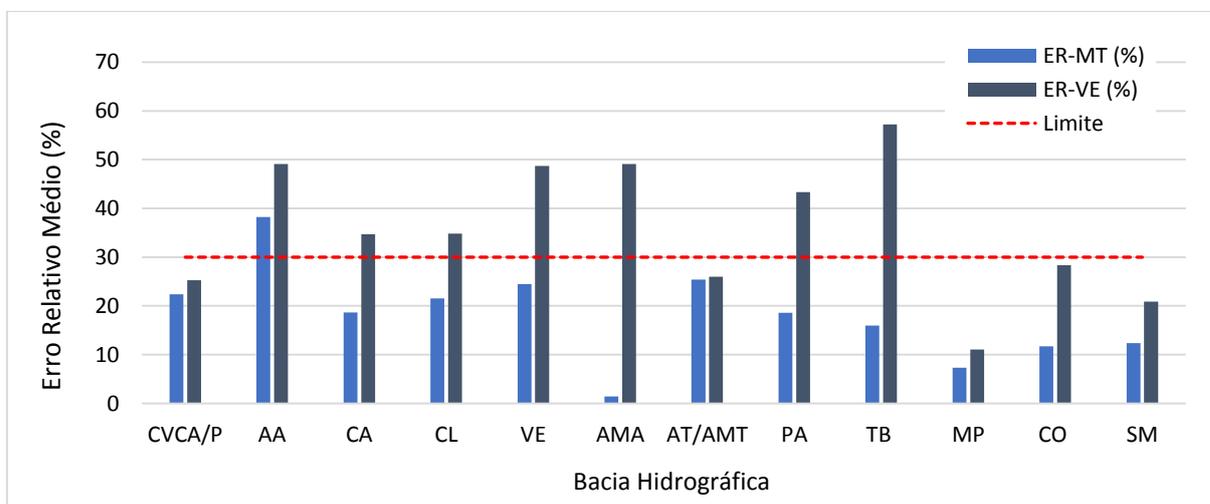
**Figura 5:** Box Plot da variação do ER nas 70 estações fluviométricas analisadas.



Fonte: Autores.

Para analisar o desempenho dos métodos em cada bacia hidrográfica, foi utilizado o erro relativo médio (ERM) (Figura 6). Observa-se que todos os ERM apresentaram um melhor desempenho pelo MT, sendo que apenas na bacia do Alto Araguaia o limite de 30% foi superado. O menor ERM pelo MT, foi encontrado na bacia do Corumbá, igual a 5,141% e o maior na bacia do Alto Araguaia igual a 38,260%. O método utilizado pela SEMAD apresentou ERM superiores chegando a 57,218% na bacia hidrográfica do rio Turvo e dos Bois e ficando acima do limite nas bacias hidrográficas do Alto Araguaia, Caiapó, Claro, Vermelho, Paranã e Turvo e dos Bois.

**Figura 6:** Comparação do Erro Relativo Médio entre o Método Tradicional (MT) e o Método da Vazão Específica (VE), para cada bacia hidrográfica.



Fonte: Autores.

Observa-se, com base no ER e no ERM o desempenho do MT foi superior, tornando seu uso favorável. No entanto foi necessário levar em consideração o fato de que não é recomendado a aplicação das equações de regionalização em áreas que estejam fora do intervalo das áreas das estações fluviométricas ou em áreas que sejam pequenas.

### 3.3. Comparação entre a $Q_{95}$ estimada pela regionalização e a $Q_{obs}$

Os resultados estão dispostos na Tabela 3. Em ambos os métodos foram encontrados valores de ER altos em relação ao limite recomendado. Nas BCS de Guapó, Abadiânia, Itapirapuã e Montes Claros, o ER foi menor pelo método MT, nas BCS de Aragoiânia, Leopoldo de Bulhões e Heitorai os ER ficaram próximos em ambos os métodos. No entanto, para as BCS de Nova Roma, Sanclerlândia e Mozarlândia o ER pelo MS apresentou melhor desempenho. O ER na BCS de Nova Roma apresentou um valor superior a 1000 % negativo pelo MT, indicando uma vazão estimada muito superior à observada, salienta-se que essa BCS possui 6,52 Km<sup>2</sup>, estando fora do intervalo utilizado para determinação da equação de regressão. O ERM também foi superior pelo MT, igual a 289,805%, enquanto que pelo MS o valor encontrado foi igual a 107,145%.

**Tabela 3:** Erros relativos percentuais (ER) em relação às vazões observadas e vazões estimadas pelos métodos de regionalização.

BCS	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{obs}$ (l/s)	Método Tradicional (MT)		Método da Vazão Específica (VE)	
			$Q_{est}$ (l/s)	ER (%)	$Q_{est}$ (l/s)	ER (%)
Guapó	41,54	68,30	112,15	-64,20	188,18	-175,51
Aragoiânia	14,46	15,50	75,57	-387,54	62,47	-303,01
Leopoldo de Bulhões	14,35	148,90	55,29	62,87	67,88	54,42
Abadiânia	27,94	92,50	109,50	-18,38	132,16	-42,87
Nova Roma	6,52	12,80	227,60	-1678,15	16,30	-27,34
Sanclerlândia	30,45	22,80	122,86	-438,84	76,13	-233,88
Itapirapuã	35,76	35,80	55,41	-54,77	72,95	-103,77
Mozarlândia	11,96	26,10	0,0002	99,99	19,97	23,47
Heitorai	18,4	35,50	64,07	-80,48	57,22	-61,19
Montes Claros	31,87	147,46	128,56	12,82	79,68	45,97

Fonte: Autores.

Salienta-se que esta comparação foi realizada levando em consideração uma medição pontual em cada BCS, devido às limitações da pesquisa.

### 3.4. Disponibilidade hídrica

As BCS tiveram suas vazões de referências estimadas pelo do método Tradicional, já que o mesmo apresentou um melhor desempenho na análise com as estações fluviométricas. Os resultados da  $Q_{95}$ , da vazão passível de outorga ( $Q_{pout}$ ) e da vazão disponível em l/s ( $Q_d$ ) estão dispostos no Apêndice B.

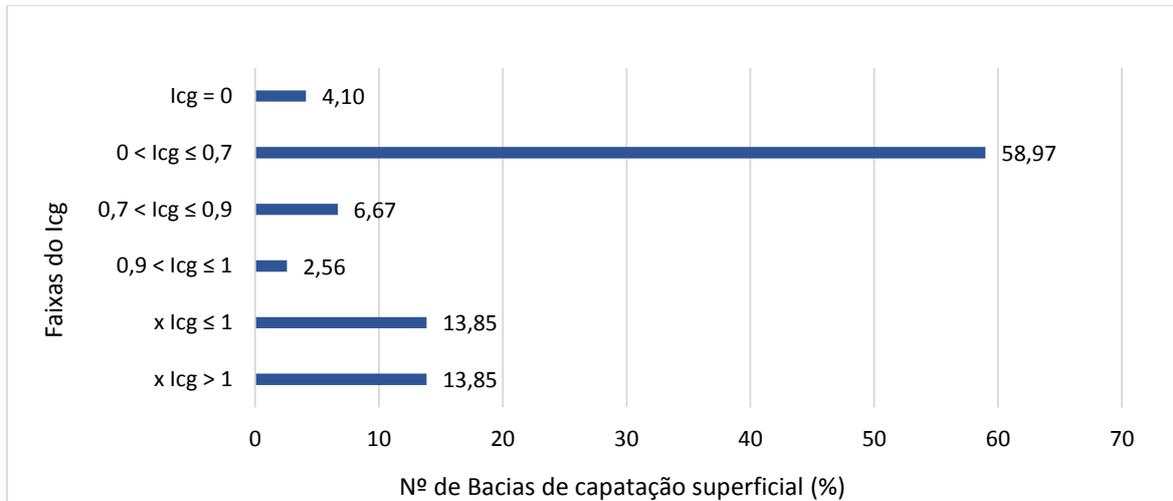
A Figura 7 apresenta o panorama geral da situação da disponibilidade hídrica, com base nos valores do  $I_{cg}$  encontrados em cada uma das 195 BCS analisadas.

Observa-se que 4,10% das BCS apresentaram o  $I_{cg}$  igual a zero, isso se deu pelo fato de que as vazões outorgadas foram pequenas em relação às vazões disponíveis ou não foram encontradas informações de vazões outorgadas na BCS. O  $I_{cg}$  igual a zero indica que a BCS possui 100% da vazão passível de outorga disponível, o mesmo é caracterizado pela cor azul.

A maior parte das BCS, totalizando 58,97%, apresentaram o  $I_{cg}$  entre 0,001 e 0,700 caracterizado pela cor verde, indicando que a vazão passível de outorga é superior a 30%. Em 6,67% das bacias analisadas o  $I_{cg}$  se apresentou com valores entre 0,7 e 0,9, representado pela cor amarela, indicando que a vazão passível de ser outorgada é superior a 10% e inferior a 30% do total. Numa situação preocupante estão 2,56% das BCS, pois o  $I_{cg}$  encontrado foi entre 0,9 e 1, indicando que a vazão passível de outorga é inferior a 10%, essa faixa de estratificação é representada pela cor laranja.

Mesmo que no Estado exista o órgão gestor que administra a concessão de outorgas e tem o comprometimento legal de cumprir a legislação específica, foram encontradas BCS que possuem vazões outorgadas que superam a vazão passível de outorga, este é o caso de 27,7% das bacias de captação do Estado, às quais foram classificadas em duas faixas, indicando que o  $I_{cg}$  foi superior a 1. Para estes casos 13,85% das BCS tiveram o  $x I_{cg}$  menor que 1, indicando que a vazão outorgada é superior a passível de outorga e inferior ou igual à vazão mínima de referência ( $Q_{95}$ ). Numa situação crítica estão outros 13,85% que apresentaram  $x I_{cg}$  maior que 1, indicando que a vazão outorgada superior, não apenas a vazão passível de outorga, mas também supera a vazão mínima de referência ( $Q_{95}$ ).

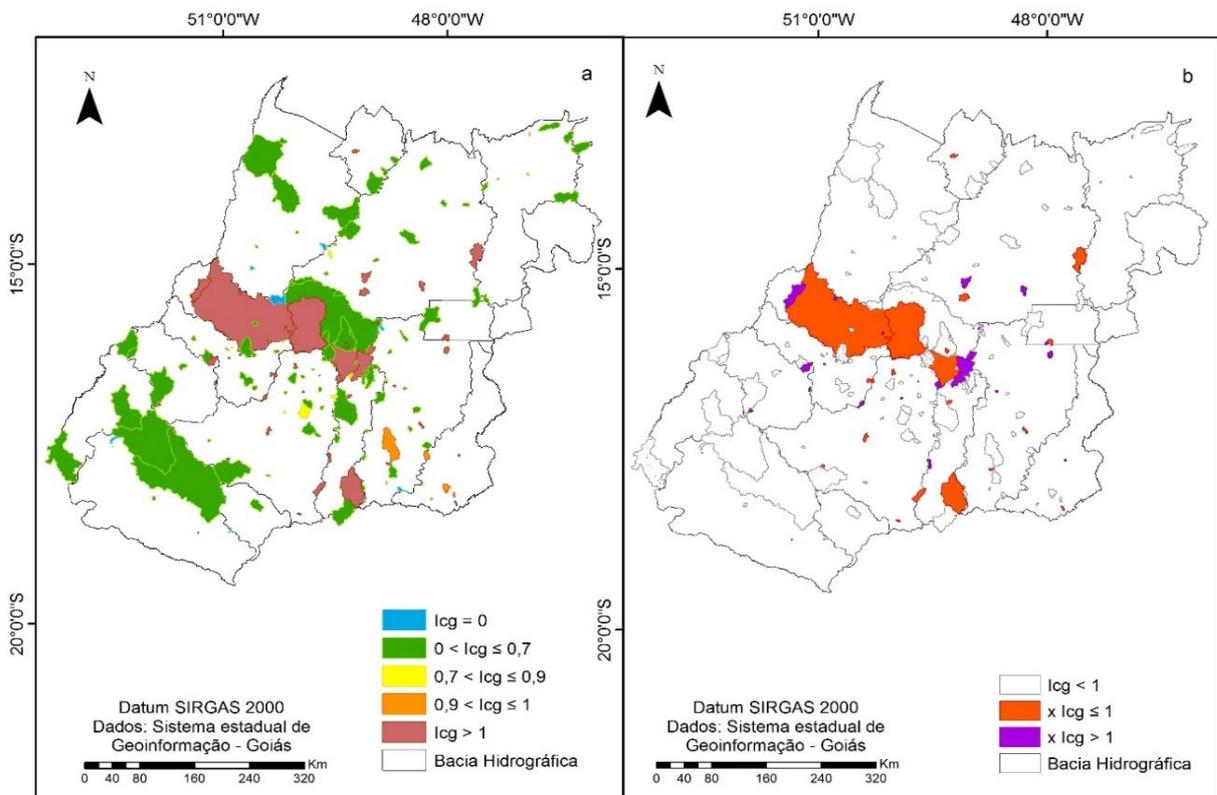
**Figura 7:** Panorama da situação da vazão disponível ( $Q_d$ ) nas bacias de captação superficial em estudo.



Fonte: Autores.

As Figura 8 (a e b) mostra a distribuição espacial das BSC que foram analisadas, bem como sua classificação de acordo com faixas de estratificação do  $I_{cg}$ .

**Figura 8:** a) e b) Distribuição espacial das bacias de captação superficial classificadas por faixas de estratificação do  $I_{cg}$ .



Fonte: Autores.

Para melhor compreensão, as faixas do  $I_{cg}$  foram divididas entre duas figuras. Na Figura 8a, observa-se a maior parte das bacias na cor verde, algumas nas cores

azul, amarelo e laranja, destacando-se as bacias na cor vermelho escuro que representam os locais onde as outorgas superam a vazão permitida. Na Figura 8b encontram-se as BCS com  $I_{cg} > 1$  classificadas em duas faixas, onde já superaram a vazão passível de outorga e onde as outorgas já superaram a vazão mínima de referência, nas cores vermelho e roxo respectivamente.

Destaca-se a bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, que é a mais populosa do Estado, e conseqüentemente tem uma grande demanda por água, seja para abastecimento público ou para os demais usos. Nela, existem 30 BCS, onde cinco estão em situação preocupante ou crítica, são elas: Aparecida de Goiânia, Goiatuba, Aloândia, Goiânia Meia Ponte, Goiânia João Leite e Itumbiara. Em Aparecida de Goiânia, Itumbiara e Goiânia Meia Ponte, é retirada uma vazão superior a passível de outorga, como é o caso da BCS de Goiânia Meia Ponte, que possui 27 outorgas vigentes numa área de 1633,23 km<sup>2</sup> e 73,30% da vazão outorgada são para o abastecimento público. Mesmo possuindo um número pequeno de captações, a BCS conta com 100% de sua vazão passível de outorga comprometida. Numa situação crítica estão as BCS de Aloândia, Goiatuba e Goiânia João Leite, esta possui 22 outorgas numa área de 776,79 km<sup>2</sup>, onde 95,16% das outorgas são para fins de abastecimento público e somam mais que a vazão de referência  $Q_{95}$ .

Na Tabela 4 estão relacionadas as BCS que apresentaram as piores condições e suas respectivas áreas de contribuição. Foi possível observar que mais de 68,52% das BCS são de pequeno porte (< 50 km<sup>2</sup>). A BCS de Cristalina, por exemplo, tem uma área igual a 4,68 km<sup>2</sup> e sua estimativa de vazão indica que as outorgas superam além da vazão permitida para retirada, superam, também, a vazão de referência  $Q_{95}$ . Esse fator indica que em alguns dias do ano o manancial não possui vazão suficiente para atender à demanda das outorgas.

Todavia, é imprescindível considerar que os valores apresentados se tratam de estimativas e por mais que eles não reflitam 100% da realidade, podem ser tomados como ponto de partida para uma análise minuciosa, é importante pontuar, também, que o modelo utilizado para estimar a vazão tem uma margem de erro que pode ser evidenciado, principalmente, em bacias de pequeno porte, já que a dinâmica hidrológica acontece de forma diferente em áreas pequenas e os dados de vazão são estimados a partir de dados de bacias de médio e grande porte.

**Tabela 4:** Relação das BCS que se encontram com vazões outorgadas acima do permitido e suas áreas de contribuição.

BCS	Área (km <sup>2</sup> )	l <sub>cg</sub>
Moiporá	0,800	0,609
Pirenópolis 2	1,680	2,399
Santa Bárbara de Goiás	2,029	1,028
Cocalzinho de Goiás	2,300	2,365
Itarumã	2,360	1,563
Paraúna	4,546	3,009
Alto Paraíso de Goiás	4,550	0,666
Cristalina	4,680	9,802
Israelândia	6,270	0,981
Palmeiras de Goiás	6,815	1,750
Campo Alegre de Goiás	6,980	1,647
Pirenópolis 1	7,050	1,699
Americano do Brasil	9,056	2,160
Silvânia	10,280	1,273
Goiás Pedro Ludovico	11,670	2,149
Inaciolândia	11,873	0,509
Amorinópolis	13,870	1,443
Três Ranchos	14,500	0,554
Firminópolis	15,560	0,529
Rio Verde 1	17,125	0,819
Novo Gama	17,920	4,680
Rio Quente	19,730	0,859
Matrinchã	22,150	3,626
Goiatuba	24,210	1,301
Petrolina de Goiás	25,570	0,567
Caiapônia	27,210	5,819
São Luís de Montes Belos	27,380	0,561
Anicuns	28,890	0,502
Pires do Rio	30,010	0,543
Goiás 2	31,920	0,702
São João da Paraúna	33,080	2,070
Aparecida de Goiânia	34,160	0,587
Porangatu	37,120	0,672
Acreúna	44,580	0,535
Aloândia	47,580	1,156
Cidade Ocidental	48,120	0,805
Mineiros	48,800	0,529
Luziânia	61,180	2,645
Trindade	66,612	1,420
Catalão	79,010	0,830
Padre Bernardo	81,870	1,462
Goianésia	115,520	0,622
Anápolis	117,860	2,100
Iporá	127,320	1,308
Santa Rita do Novo Destino	137,550	1,190
Bom Jesus de Goiás	147,590	0,568
Itaberaí	312,160	0,665
Britânia	418,370	1,053
São João d'Aliança	429,600	0,590
Goiânia João Leite	770,390	2,158
Itumbiara	1299,350	0,595
Goiânia	1633,230	0,505
Uruana	3678,890	0,514
Aruanã	11001,050	1,000

Fonte: Autores.

#### 4. CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu concluir que:

- Mesmo não realizando a subdivisão de todas as Bacias Hidrográficas em regiões homogêneas, foi possível obter equações de regionalização com coeficientes de determinação altos, com exceção da BCS do Alto Médio Araguaia;
- Para bacias de pequeno porte ambos os métodos apresentaram erros grandes nas estimativas de vazão, cabendo ao órgão gestor priorizar essas áreas.
- Os maiores erros nas estimativas das vazões  $Q_{95}$ , ocorreram no método da Vazão Específica que utiliza vazão específica e, portanto, reitera-se que as melhores estimativas foram obtidas pelo método Tradicional;
- De modo geral, 27,7% das BCS analisadas possuem vazões outorgadas além que o permitido e se encontram em situação crítica.
- A aplicação do  $I_{cg}$  possibilitou a identificação de regiões com conflitos pelo uso múltiplo das águas, que podem ser contornados com ações de gestão e planejamento de recursos hídricos.

#### REFERÊNCIAS

AMORIM, E. L. C.; NETTO, A. P. de O.; MENDIONDO, E. M. Estudo de métodos para regionalização de vazão. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. **Livro de resumos do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 641-641, 2005.

BAKKER, K. Water Security: Research Challenges and Opportunities. *Science*, v. 337, n. 6097, p. 914–915, 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da agência nacional de águas, Brasília – DF, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de Água, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>>.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Inventário das estações fluviométricas. 2ed: Brasília – DF, Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, 2009.



ELETRORÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro. v. 1, 1985a.

ELETRORÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Manual de minicentrals hidrelétricas. Rio de Janeiro, 1985b.

EMBRAPA. Brasil em Relevo – SRTM Goiás. Disponível em: <  
<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/go/go.htm>>

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras: estudo da vazão de 95% de permanência da sub-bacia 39. Bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca, Una, Goiana, Mundaú, Paraíba, Coruripe, Pratagi, Sirinhaém, São Miguel, Camaragibe, Abiaí, Gramame e Manguaba. /CPRM – Serviço Geológico do Brasil; execução técnica e autoria de Keyla Almeida dos Santos. – Recife: CPRM, 2015.

FIOREZE, A. Avaliação do desempenho de equações de regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 3, n. 2, p. 62–76, 2008.

FIOREZE, A. P. *et al.* Caracterização morfológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 167–173, 2010.

GAIN, A. K.; GIUPPONI, C.; WADA, Y. Measuring global water security towards sustainable development goals. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 12, p. 124015, 1 dez. 2016.

GOIÁS (Estado). Sistema Estadual de Geoinformação. Macrozoneamento, Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás, 2009.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Instrução Normativa nº 09 de 2005. Estabelece o Regulamento do Sistema de outorga das águas de domínio do Estado de Goiás e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial do Estado de Goiás n.º 19.653, de 02/06/2005.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Instrução Normativa nº 04 de 2015. Define as vazões específicas de referência ( $Q_{95}$ ) para o Estado de Goiás com base em Planos de Recursos Hídricos de bacias específicas e dados hidrológicos coletados de séries históricas para uso no cálculo de disponibilidade hídrica em casos onde a captação é ou será realizada diretamente no curso d'água.

GOIÁS (Estado). Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. Atlas do Estado de Goiás, 2014. Disponível em: < <http://www.sieg.go.gov.br>>

GOIÁS (Estado). Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. Dinâmica Populacional de Goiás: uma análise do Censo 2010 do IBGE, 2011. Disponível em:  
<<http://www.imb.go.gov.br/files/docs/publicacoes/estudos/2011/dinamica-populacional-de-goias-uma-analise-do-censo-2010-do-ibge.pdf>>

GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Goiás, **Inypsa**, 2016.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Manual Técnico de Outorga, 2012. Disponível em: < [http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/201507/manual\\_tecnico\\_de\\_outorga\\_ve rsao\\_01.pdf](http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/201507/manual_tecnico_de_outorga_ve rsao_01.pdf)>

MEHAIGUENE, M.; MEDDI, M.; LONGOBARDI, A.; TOUMI, A. Low flows quantification and regionalization in North West Algeria. **Journal of Arid Environments**, v. 87, p. 67-76, 2012.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Comparação da metodologia adotada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para a estimativa da  $Q_{7,10}$  e  $Q_{mld}$  com três metodologias de regionalização de vazões. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2009.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Análise de Métodos para Estimativa das Vazões da Bacia do Rio Paraopeba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19 n. 2, p. 313-324 –Abr/Jun 2014.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. DA; PRUSKI, F. F.; LARA, M. DOS S. Índices para Identificação de Conflitos pelo Uso da Água: Proposição Metodológica e Estudo de Caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 7–15, 2012.

NAGHETTINI, M; PINTO, E. J. A Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

PINHEIRO, R. V. N.; LOBÓN, G. S.; SCALIZE, P. S. Risco de contaminação pela presença de disposição final de resíduos sólidos urbanos em bacias de captação superficial de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.5, p. 871-880, 2018.

VEIGA, A.M.; CARDOSO, M.R.D.; LINO, N. Caracterização Hidromorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2011, Maceió. Anais... Maceió, 2011.



VESPUCCI, A. G.; SANTOS, J. G. R.; BAYER, M. Estações fluviométricas do estado de Goiás: qualificação dos dados hidrológicos disponíveis na base HIDROWEB/ANA. **Ateliê Geográfico**, Goiânia – GO, v. 10, n. 3, p. 89-108, 2016.

SCALIZE, P. S.; SIQUEIRA, E. Q.; SOUZA, S. B. S.; ARRUDA, P. N.; SOUZA, R. P. R.; SOUZA, M. B. S. Avaliação da autodepuração do córrego Salobinha. **Universidade Federal de Goiás**: Goiânia, 2014.

SCHNEIDER, H.; SILVA, C. A. O uso do modelo *box plot* na identificação de anos-padrão secos, chuvosos e habituais na microrregião de dourados, mato grosso do sul. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 27, p. 131-146, 2014.

SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Flexibilidade das vazões mínimas de referência com a adoção do período trimestral. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v.19, n.3, 2011.

TSAKIRIS, G., NALBANTIS, I.; CAVADIAS, G. Regionalization of low flows based on Canonical Correlation Analysis. **Advances in Water Resources**, v. 34, p. 865–872, 2011.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de Vazões. Porto Alegre: **Ed. Universidade**. UFRGS, 2002.

## CAPÍTULO IV

### 5. CONCLUSÕES

A estimativa da disponibilidade hídrica é um procedimento complexo e necessário para a emissão de outorgas de direito de uso da água e para o gerenciamento dos recursos hídricos. A pesquisa constatou que este tema é abordado em diversas pesquisas ao redor do mundo e que, no geral, os problemas são relacionados à quantidade de água no futuro, frente ao aumento da demanda e mudanças climáticas. Com relação as metodologias utilizadas para determinar a disponibilidade hídrica, observou-se que ambos os métodos de regionalização de vazão geraram erros acima do tolerado em bacias de pequeno porte, porém é uma metodologia acessível, de baixo custo e fácil aplicação quando comparada a situações de monitoramento de vazão, por exemplo.

Com relação à situação da disponibilidade hídrica no estado de Goiás, concluiu-se que aproximadamente 30% das bacias de captação para abastecimento público estão em situações críticas e que as outorgas, concedidas nesses locais, exercem uma pressão excessiva sobre os mananciais, uma vez que a retirada de água é superior à permitida. Por mais que as estimativas de disponibilidade hídrica tenham sido realizadas utilizando regionalização de vazão, essas áreas podem ser consideradas como prioritárias para o planejamento e gestão dos recursos hídricos e para implementação de ações baseadas no Pagamento por Serviços Ambientais.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 de maio de 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Nota informativa: Programa Produtor de Água. Brasília, 2018. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sip/produtor-de-agua/documentos-relacionados/1-nota-informativa-programa-produtor-de-agua.pdf> >

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos Recursos Hídricos, 2017.

DUARTE, V. de A.; MIOLA, D. T. B. Análise de Disponibilidade Hídrica na Microbacia do Ribeirão Paciência: Relação Entre a Oferta e o Volume de Água Outorgado em Pará De Minas. **SynThesis Revista Digital FAPAM**, Pará de Minas, v.7, n.7, 32-54, dez. 2016.

GARCIA, A. V.; OLEIVEIRA, C. A.; SILVA, G. P.; COSTA, P. P.; OLIVEIRA, L. A. Disponibilidade Hídrica e Volume de Água Outorgado na Micro-Bacia do Ribeirão Abóbora, Município de Rio Verde, Estado De Goiás. **Caminhos de Geografia**. v. 8, n. 22. P. 97 a 106. Uberlândia, 2007.

GOIÁS (Estado). Sistema Estadual de Geoinformação. Macrozoneamento, Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás, 2009.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Manual Técnico de Outorga, 2012. Disponível em: < [http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/201507/manual\\_tecnico\\_de\\_outorga\\_ve rsao\\_01.pdf](http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/201507/manual_tecnico_de_outorga_ve rsao_01.pdf)>

GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Decreto nº 9.041, de 06 de setembro de 2017. Declara situação de emergência na Bacia do rio Meia Ponte e define ações para garantir os usos prioritários. Publicado no Diário Oficial do Estado de Goiás: Palácio do Governo do Estado de Goiás, Goiânia, 06 set. 2017.



GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Portaria nº 205, de 11 de setembro de 2017. Dispõe sobre as diretrizes para contornar a crise hídrica.

HONÓRIO, M. S.; COSTA, I. A.; CARVALHO, L. C.; BEZERRA, N. R.; SCALIZE, P. S. A situação de emergência hídrica no estado de Goiás. In: 14º Congresso da Água – Gestão dos recursos hídricos: novos desafios, 87, 2018, Évora. Anais eletrônicos...Évora: APRH, 2018.

JARDIM, M.H.; BURSZTYN, M.A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.3, jul-set, p. 353-360, 2015.

LEMOS, S. R.; JUNIOR, A. P. M. Reflexões sobre os critérios de cálculo de vazões outorgáveis em áreas de conflito do estado de Minas Gerais: o caso da Bacia do Ribeirão Ribeiro Bonito. **Revista Espinhaço**, 2015.

LIMA, J. E. F. W. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v. 63, n. 3, p. 27-29, 2011.

MOREIRA, M. C. Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água. 2006. 97 f. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

ROCHA, J. C. S. Dinâmica de ocupação no bioma cerrado: caracterização dos desmatamentos e análise das frentes de expansão (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Goiás, 2012.

## 6. APÊNDICE A – Relação das publicações analisadas

**Quadro 1:** Lista dos artigos analisados classificados por ano de publicação.

Título	Ano
Regionalization of low flows in southwest Germany	1997
A tool for community-based assessment of the implications of development on water security in hillside watersheds	2001
Calibration of the Parameters of a Rainfall-Runoff Model in Ungauged Basins Using Synthetic Flow Duration Curves as Estimated by Regional Analysis	2003
Global estimates of water withdrawals and availability under current and future “business-as-usual” conditions	2003
A global hydrological model for deriving water availability indicators: model tuning and validation	2003
Equitable water allocation in a heavily committed international catchment area: the case of the Komati Catchment	2004
Agricultural changes affecting water availability: from abundance to scarcity (fucino plain, central Italy)	2004
River Water Shortage in a Highland–Lowland System	2005
Integrated studies of urban water budget	2005
Texas Water Availability Modeling System	2005
Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate	2005
Adaptation strategies to global change for water resources management in the Spree river Catchment, Germany	2006
Application of parameter estimation and regionalization methodologies to ungauged basins of the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia	2008
Water Scarcity Effects on Equitable Water Distribution and Land Use in a Major Irrigation Project—Case Study in India	2008
An integrated model for the assessment of global water resources – Part 2: Applications and assessments	2008



**Quadro 1 (Continuação):** Lista dos artigos analisados classificados por ano de publicação.

Modeling blue and green water availability in Africa	2008
Impacts of Climate Change, Population Growth, Land Use Change, and Groundwater Availability on Water Supply and Demand across the Conterminous U.S.	2008
An Operational Model for Support of Integrated Watershed Management	2009
Modelling blue and green water resources availability in Iran	2009
Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change	2009
Modelo para a Quantificação da Disponibilidade Hídrica: Parte 1 — Obtenção da Equação de Recessão	2009
Evaluating Municipal Water Conservation Policies Using a Dynamic Simulation Model	2010
Competition for water for the food system	2010
A Stream Water Availability Model of Upper Indus Basin Based on a Topologic Model and Global Climatic Datasets	2010
Low Flows Regionalization in North-Western Italy	2010
Watershed Modeling to Assessing Impacts of Potential Climate Change on Water Supply Availability	2010
An integrated modeling framework to evaluate water allocation strategies in the Broken catchment, Victoria	2011
A systematic approach to assessing the sensitivity and vulnerability of water availability to climate change in Europe	2011
Future water availability in selected European catchments: a probabilistic assessment of seasonal flows under the IPCC A1B emission scenario using response surfaces	2011
Assessing strategic water availability using remote sensing, GIS and a spatial water budget model: case study of the Upper Ing Basin, Thailand	2011
availability under current and future “business-asusual” conditions	2011
Global monthly water stress: 1. Water balance and water availability	2011
Conhecimento da disponibilidade hídrica natural para a gestão dos recursos hídricos	2011

**Quadro 1 (Continuação):** Lista dos artigos analisados classificados por ano de publicação.

Water availability and vulnerability of 225 large cities in the United States	2012
Spatially differentiated management-revised discharge scenarios for an integrated analysis of multi-realisation climate and land use scenarios for the Elbe River basin	2012
Temporal variability of hydroclimatic extremes in the Blue Nile basin	2012
Climate-Driven or Human-Induced: Indicating Severe Water Scarcity in the Moulouya River Basin (Morocco)	2012
Snow cover dynamics of four lake basins over Tibetan Plateau using time series MODIS data (2001–2010)	2012
Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability	2012
Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR	2012
Scenarios involving future climate and water extraction: ecosystem states in the estuary of Australia's largest river	2013
An Experiment to Gauge an Ungauged Catchment: Rapid Data Assessment and Eco-Hydrological Modelling in a Data Scarce Rural Catchment	2013
Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable	2013
Hydrological Response to Climate Change for Gilgel Abay River, in the Lake Tana Basin - Upper Blue Nile Basin of Ethiopia	2013
Requirements in the Rivirivi River basin, Southern Malawi	2013
Identification of glacial meltwater runoff in a karstic environment and its implication for present and future water availability	2013
Projections of declining surface-water availability for the southwestern United States	2013
A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways – Part 2: Water availability and scarcity	2013
Modelling the effects of cross-sectoral water allocation schemes in Europe	2014
Sustainability of global water use: past reconstruction and future projections	2014
Evaluating tradeoffs between environmental flow protections and agricultural water security	2014

**Quadro 1 (Continuação):** Lista dos artigos analisados classificados por ano de publicação.

Effect of Climate Change on Environmental Flow Indicators in the Narew Basin, Poland	2014
Applying Water Vulnerability Indexes for River Segments	2014
Regional prediction of flow-duration curves using a three-dimensional kriging	2014
A quantitative assessment of the genetic sources of the hydrologic flow regimes in Upper Indus Basin and its significance in a changing climate	2014
Dynamic attribution of global water demand to surface water and groundwater resources: Effects of abstractions and return flows on river discharges	2014
Analysing changes in water availability to assess environmental water requirements in the Rivirivi River basin, Southern Malawi	2014
Mapping water availability, projected use and cost in the western United States	2014
Water allocation model considering a minimum environmental flow in the Metztitlán river basin in Hidalgo, México	2015
Institutional and Hydrologic Water Availability in Texas	2015
Potential Additional Water Supply Yield of Texas Reservoirs	2015
Low-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept	2015
Introducing a probabilistic Budyko framework	2015
An integrated water balance model for assessing water scarcity in a data-sparse interfluvium in eastern India	2015
Incorporation of environmental flows in water allocation in Texas	2016
Blue water scarcity in the Black Sea catchment: Identifying key actors in the water-ecosystem-energy-food nexus	2016
Assessment of water capacity and availability from unregulated stream flows based on ecological limits of hydrologic alteration (eloha) environmental flow standards	2016
Environmental flow in the River Ondas basin in Bahia, Brazilian Cerrado	2016
A comparison of hydrologic models for ecological flows and water availability	2016



**Quadro 1 (Continuação):** Lista dos artigos analisados classificados por ano de publicação.

Extrapolation of regionalization equations for long-term average flow	2016
Integrating Supply Uncertainties from Stochastic Modeling into Integrated Water Resource Management: Case Study of the Saskatchewan River Basin	2016
Impact of surface water extraction on water quality and ecological integrity in Arusha National Park, Tanzania	2016
Assessment of future water availability under the changing climate: case study of Klang River Basin, Malaysia	2016
Informing National Food and Water Security Policy through Water Footprint Assessment: the Case of Iran	2017
Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century	2017
Extreme flows and water availability of the BrahmaputraRiver under 1.5 and 2 °C global warming scenarios	2017
Implications of Climate Change on Water Budgets and Reservoir Water Harvesting of Nuuanu Area Watersheds, Oahu, Hawaii	2017
Assessing the Water-Resources Potential of Istanbul by Using a Soil andWater Assessment Tool (SWAT) Hydrological Model	2017
Estimation of quantitative measures of total water storage variation from GRACE and GLDAS-NOAH satellites using geospatial technology	2017
Assessment of water resources to support the development of irrigation in northwest Cambodia: a water budget approach	2017
Characterization of natural and environmental flows in New Brunswick, Canada	2018
Climate change vs. socio-economic development: understanding the future South Asian water gap	2018
Environmental flow management: An analysis applied to the Ebro River Basin	2018
Integrated water resources management under climate change scenarios in the sub-basin of Abaya-Chamo, Ethiopia	2018
Water Availability in Snow Dominated Regions under Projected Climatic Variability A Case Study of Alpine Catchment, Austria	2018
A First Estimation of County-Based GreenWater Availability and Its Implications for Agriculture and Bioenergy Production in the United States	2018
Forest coverage and streamflow of watersheds in the tropical atlantic rainforest	2018

**Quadro 1 (Continuação):** Lista dos artigos analisados classificados por ano de publicação.

Flow dynamics at the continental scale: Streamflow correlation and hydrological similarity	2018
Assessment of surface water potential and groundwater recharge in ungauged watersheds: a case study in Tamil Nadu, India	2018
Streamflow regionalization in Piquiri river basin	2018
Assessment of Surface Runoff for Tank Watershed in Tamil Nadu Using Hydrologic Modeling	2018
Characterization of natural and environmental flows in New Brunswick, Canada	2018
Hydrological effects of forest plantation clear-cut on water availability: Consequences for downstream water users	2018
Cooling Water Sufficiency in aWarmingWorld: Projection Using an Integrated Assessment Model and a Global Hydrological Model	2018
Climate change alters low flows in Europe under global warming of 1.5, 2, and 3 °C	2018
Future streamflow simulation in a snow-dominated Rocky Mountain headwater catchment	2018
Quantifying Climate-Related Interactions in Shallow and Deep Storage and Evapotranspiration in a Forested, Seasonally Water-Limited Watershed in the Southeastern United States	2018
A Spatially Explicit Assessment of Growing Water Stress in China From the Past to the Future	2019
Effects of damming on the hydrological regime of Punarbhaba river basin wetlands	2019
Water Security Assessment of the Grand RiverWatershed in Southwestern Ontario, Canada	2019
Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile	2019
Impact of climate change on surface water availability and crop water demand for the sub-watershed of Abbay Basin, Ethiopia	2019
Influência do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Uruçuí-Preto, Piauí	2019
Hydrological calibration and validation of the MGB-IPH model for water resource management in the upper Teles Pires River basin in the Amazon-Cerrado ecotone in Brazil	2019
Simulating streamflow in the Upper Halda Basin of southeastern Bangladesh using SWAT model	2019



**Quadro 1 (Continuação):** Lista dos artigos analisados classificados por ano de publicação.

Forcing the Penman-Montheith Formulation with Humidity, Radiation, and Wind Speed Taken from Reanalyses, for Hydrologic Modeling	2019
Assessment of Surface Water Resources in the Big Sunflower River Watershed Using Coupled SWAT–MODFLOW Model	2019
An accurate evaluation of water availability in sub-arid Mediterranean watersheds through SWAT: Cega-Eresma-Adaja	2019
Simulated surface and shallow groundwater resources in the Abaya-Chamo Lake basin, Ethiopia using a spatially-distributed water balance model	2019

## 7. APÊNDICE B – Disponibilidade hídrica por bacia de captação superficial

**Quadro 1:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Alto Araguaia.

BCS	Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	Icg
Santa Rita do Araguaia	1765,23	6791,236	3395,618	312,180	2,000	314,180	3081,438	0,093
Aragarças	692,96	2424,357	1212,179	0,000	44,000	44,000	1168,179	0,036
Doverlândia	1684,16	6448,466	3224,233	18,050	-	18,050	3206,183	0,006

**Quadro 2:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Alto Médio Araguaia.

BCS	Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	Icg
Mundo Novo	1384,500	131795,196	65897,598	710,270		710,270	65187,328	0,011
Campos Verdes	1226,990	128583,028	64291,514	612,210	13,000	625,210	63666,304	0,010
Nova Crixás	32,520	61244,315	30622,158	145,550	23,000	168,550	30453,608	0,006
Luiz Alves	2565,000	149489,255	74744,628	273,030	-	273,030	74471,598	0,004
São Miguel do Araguaia	59,670	69329,870	34664,935	88,050	-	88,050	34576,885	0,003
Mozarlândia	11,960	49924,521	24962,261	0,000	30,000	30,000	24932,261	0,001
Crixás	12,560	50426,289	25213,145	0,000	30,000	30,000	25183,145	0,001
Araguapaz	26,830	58884,451	29442,226	0,000	13,000	13,000	29429,226	0,000
Guarinos	59,510	69291,850	34645,925	10,000	2,000	12,000	34633,925	0,000
Faina	246,440	92631,784	46315,892	0,000	10,000	10,000	46305,892	0,000
São José dos Bandeirantes	6,420	43965,583	21982,791	0,000	-	0,000	21982,791	0,000

**Quadro 3:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Paranã.

BCS	Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	l <sub>cg</sub>
Formosa	62,24	1304,107	652,053	0,000	422,000	422,000	230,053	0,647
Divinópolis de Goiás	160,47	2425,335	1212,667	101,380	10,000	111,380	1101,287	0,092
Monte Alegre de Goiás	6,87	307,828	153,914	0,000	8,000	8,000	145,914	0,052
Cavalcante	57,94	1244,358	622,179	25,000	-	25,000	597,179	0,040
Campos Belos	209,53	2888,461	1444,231	48,000	-	48,000	1396,231	0,033
Teresina de Goiás	5,84	276,755	138,377	4,000	-	4,000	134,377	0,029
Nova Roma	6,52	297,462	148,731	0,000	4,000	4,000	144,731	0,027
Iaciara	431,93	4639,567	2319,784	0,000	25,000	25,000	2294,784	0,011
São Domingos	285,85	3540,253	1770,126	16,110	-	16,110	1754,016	0,009

**Quadro 4:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Alto Médio Tocantins e Alto Tocantins.

BCS	Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	l <sub>cg</sub>	l <sub>cg</sub> > 1
Porangatu	37,12	126,562	63,281	0,000	85,000	85,000	-21,719	1,343	0,672
Formoso	64,7	216,951	108,475	0,000	8,000	8,000	100,475	0,074	-
Santa Tereza	520,16	1638,462	819,231	45,000	-	45,000	774,231	0,055	-
Trombas	87,28	290,049	145,024	0,000	5,000	5,000	140,024	0,034	-
Pirenópolis 2	1,68	6,285	3,143	0,000	15,080	15,080	-11,937	4,798	2,399
Pirenópolis 1	7,05	25,265	12,633	0,000	42,920	42,920	-30,287	3,398	1,699
Padre Bernardo	81,87	272,593	136,296	398,600	-	398,600	-262,304	2,925	1,462
Santa Rita do Novo Destino	137,55	450,911	225,455	534,390	2,000	536,390	-310,935	2,379	1,190
Alto Paraíso de Goiás	4,55	16,522	8,261	0,000	11,000	11,000	-2,739	1,332	0,666
Itaberaí	312,16	998,457	499,229	588,290	76,000	664,290	-165,061	1,331	0,665
Goianésia	115,52	380,681	190,340	236,660	-	236,660	-46,320	1,243	0,622
São João d'Aliança	429,6	1360,993	680,497	802,460	-	802,460	-121,963	1,179	0,590

**Quadro 4 (Continuação):** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Alto Médio Tocantins e Alto Tocantins.

Petrolina de Goiás	25,57	88,162	44,081	50,000	-	50,000	-5,919	1,134	0,567
Uruana	3678,89	10927,703	5463,852	5613,892	-	5613,892	-150,040	1,027	0,514
Pilar de Goiás	9,74	34,569	17,284	10,550	2,000	12,550	4,734	0,726	-
Itapaci	34,68	118,484	59,242	0	42,000	42,000	17,242	0,709	-
Nova Glória	26,25	90,436	45,218	30,000	-	30,000	15,218	0,663	-
Ceres/Rialma	10512,9	30258,992	15129,496	9956,675	-	9956,675	5172,821	0,658	-
Minaçu	196,25	636,515	318,258	200,000	-	200,000	118,258	0,628	-
Planaltina	229,05	739,462	369,731	0,000	222,000	222,000	147,731	0,600	-
Hidrolina	10,14	35,945	17,973	0,000	7,000	7,000	10,973	0,389	-
Jaraguá	945,2	2924,432	1462,216	533,332	-	533,332	928,884	0,365	-
Niquelândia	312,17	998,488	499,244	170,000	-	170,000	329,244	0,341	-
Taquaral de Goiás	12,2	43,008	21,504	0,000	6,000	6,000	15,504	0,279	-
Rianópolis	83,21	276,920	138,460	27,770	8,000	35,770	102,690	0,258	-
Santa Rosa de Goiás	11,29	39,893	19,947	0,000	5,000	5,000	14,947	0,251	-
São Francisco de Goiás	25,3	87,259	43,630	0,000	10,000	10,000	33,630	0,229	-
São Jorge	38,46	130,991	65,496	15,000	-	15,000	50,496	0,229	-
Heitorai	18,4	64,070	32,035	6,000	-	6,000	26,035	0,187	-
Itaguaru	28,14	96,745	48,372	0,000	9,000	9,000	39,372	0,186	-
Itapuranga	285,65	916,100	458,050	84,210	-	84,210	373,840	0,184	-
Uruaçu	526,22	1656,975	828,487	150,000	-	150,000	678,487	0,181	-
Barro Alto	32,78	112,182	56,091	0,000	10,000	10,000	46,091	0,178	-
Carmo do Rio Verde	1036,2	3197,156	1598,578	266,640	-	266,640	1331,938	0,167	-
Rubiataba	207,62	672,256	336,128	0,000	41,000	41,000	295,128	0,122	-
Itaguari	125,58	412,797	206,398	8,050	9,000	17,050	189,348	0,083	-
Morro Agudo de Goiás	27,55	94,777	47,388	0,000	3,000	3,000	44,388	0,063	-
Colinas do Sul	56,53	190,324	95,162	0,000	6,000	6,000	89,162	0,063	-
Estrela do Norte	104,76	346,237	173,118	0,000	6,000	6,000	167,118	0,035	-

**Quadro 5:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Caiapó.

BCS	Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	l <sub>cg</sub>	l <sub>cg</sub> > 1
Caiapônia	27,21	8,593	4,297	50	-	50,000	-45,703	11,637	5,819
Amorinópolis	13,87	3,464	1,732	0	5	5,000	-3,268	2,886	1,443
Iporá	127,32	68,804	34,402	90	-	90,000	-55,598	2,616	1,308
Bom Jardim de Goiás	146,84	83,392	41,696	0	17	17,000	24,696	0,408	-
Arenópolis	70,19	30,829	15,415	0	5	5,000	10,415	0,324	-
Piranhas	1252,87	1500,677	750,338	43,88	-	43,880	706,458	0,058	-

**Quadro 6:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Claro.

BCS	Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	l <sub>cg</sub>	l <sub>cg</sub> > 1
São João da Paraúna	33,08	133,416	66,708	274	2	276,160	-209,452	4,140	2,070
Israelândia	6,27	25,486	12,743	0	25	25,000	-12,257	1,962	0,981
Moiporá	0,8	3,283	1,642	0	2	2,000	-0,358	1,218	0,609
São Luís de Montes Belos	27,38	110,525	55,263	0	62	62,000	-6,737	1,122	0,561
Jussara	2,63	10,734	5,367	0	4	4,000	1,367	0,745	-
Mossâmedes	5,86	23,827	11,914	0	8	8,000	3,914	0,672	-
Fazenda Nova	8	32,481	16,240	0	9	9,000	7,240	0,554	-
Montes Claros de Goiás	31,87	128,558	64,279	30	-	30,000	34,279	0,467	-
Sanclerlândia	30,45	122,857	61,428	0	16	16,000	45,428	0,260	-
Jaupaci	10,9	44,191	22,096	0	5	5,000	17,096	0,226	-
Aurilândia	40,339	162,541	81,270	15	-	15,000	66,270	0,185	-
Corrego do Ouro	29	117,033	58,517	9	-	9,000	49,517	0,154	-
Diorama	176,76	707,302	353,651	30	-	30,000	323,651	0,085	-
Ivolândia	207,27	828,767	414,384	25	-	25,000	389,384	0,060	-
Cachoeira de Goiás	2,98	12,155	6,078	0	-	0,000	6,078	0,000	-

**Quadro 7:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Corumbá.

BCS	Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	l <sub>cg</sub>	l <sub>cg</sub> > 1
Novo Gama	17,92	69,4385	34,719	0	325	325,000	-290,281	9,361	4,680
Luziânia	61,18	244,6079	122,304	90	557	647,000	-524,696	5,290	2,645
Cocalzinho de Goiás	2,3	8,4577	4,229	0	20	20,000	-15,771	4,729	2,365
Anápolis	117,86	479,1691	239,585	1006,11	-	1006,110	-766,525	4,199	2,100
Silvânia	10,28	39,2737	19,637	50	-	50,000	-30,363	2,546	1,273
Rio Quente	19,73	76,6400	38,320	65,83	-	65,830	-27,510	1,718	0,859
Cidade Ocidental	48,12	191,2174	95,609	0	154	154,000	-58,391	1,611	0,805
Pires do Rio	30,01	117,8254	58,913	0	64	64,000	-5,087	1,086	0,543
Vianópolis	14,14	54,4613	27,231	0	27	27,000	0,231	0,992	-
Caldas Novas	708,2	3013,95941	1506,9797	1163,86	217	1380,860	126,120	0,916	-
Leopoldo de Bulhões	14,35	55,2910	27,645	20	-	20,000	7,645	0,723	-
Alexânia	63,72	255,0277	127,514	68,05	-	68,050	59,464	0,534	-
Corumbaíba	39,69	156,9459	78,473	21,94	16	37,940	40,533	0,483	-
Bela Vista de Goiás	178,82	734,7764	367,388	150	-	150,000	217,388	0,408	-
Abadiânia	27,94	109,4984	54,749	0	-	21,000	33,749	0,384	-
Morrinhos	30,92	671,9293	335,965	30,27	-	121,270	214,695	0,361	-
Palmelo	34,24	134,8860	67,443	23,05	-	23,050	44,393	0,342	-
Água Limpa	7,69	29,1622	14,581	0	3	3,000	11,581	0,206	-
Urutaí	86,49	348,8679	174,434	35	-	35,000	139,434	0,201	-
Nova Aurora	11,09	42,4502	21,225	0	4	4,000	17,225	0,188	-
Piracanjuba	15,73	471,6415	235,821	0	44	44,000	191,821	0,187	-
Corumbá de Goiás	38,68	152,8516	76,426	0	14	14,000	62,426	0,183	-
Orizona	83,05	334,6457	167,323	30	-	30,000	137,323	0,179	-
Santo Antônio do Descoberto	591,53	3151,8782	1575,939	0	198	198,000	1377,939	0,126	-
Marzagão	181,13	744,5119	372,256	20	-	20,000	352,256	0,054	
Corumbá de Goiás	10,63	40,6455	20,323	0	-	0,000	20,323	0,000	

**Quadro 8:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Meia Ponte.

BCS	Área (Km²)	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out</sub> total (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	l <sub>cg</sub>	l <sub>cg</sub> > 1
Goiânia João Leite	770,39	3267,199	1633,600	7052,221	-	7052,221	-5418,621	4,317	2,158
Goiatuba	24,21	122,999	61,499	160	-	160,000	-98,501	2,602	1,301
Aloândia	47,58	233,353	116,677	269,71	-	269,710	-153,033	2,312	1,156
Itumbiara	1299,35	5362,174	2681,087	3189,17	-	3189,168	-508,081	1,190	0,595
Aparecida de Goiânia	34,16	170,459	85,229	100	-	100,000	-14,771	1,173	0,587
Goiânia	1633,23	6660,051	3330,025	3365,833	-	3365,833	-35,808	1,011	0,505
Senador Canedo	237,306	1070,210	535,105	430	-	430,000	105,105	0,804	-
Abadia de Goiás	5,92	32,371	16,186	0	12	12,000	4,186	0,741	-
Caldazinha	7,51	40,559	20,279	0	15	15,000	5,279	0,740	-
Goiânia Samambaia	33,71	168,330	84,165	60	-	60,000	24,165	0,713	-
Buriti Alegre	41,9	206,864	103,432	71,93	-	71,930	31,502	0,695	-
Nerópolis	20,41	104,621	52,311	36,11	-	36,110	16,201	0,690	-
Senador Canedo	68,5813	329,995	164,997	105	-	105,000	59,997	0,636	-
Aragoiânia	14,46	75,467	37,734	23,88	-	23,880	13,854	0,633	-
Panamá	2,38	13,648	6,824	0	4	4,000	2,824	0,586	-
Hidrolândia	19	97,758	48,879	0	24	24,000	24,879	0,491	-
Bonfinópolis	6,37	34,699	17,349	8	-	8,000	9,349	0,461	-
Terezópolis de Goiás	34,67	172,870	86,435	38,88	-	38,880	47,555	0,450	-
Inhumas	358,76	1583,414	791,707	196,91	128	324,910	466,797	0,410	-
Cromínia	14,53	75,814	37,907	15	-	15,000	22,907	0,396	-
Pontalina	75,58	361,831	180,915	56,11	-	56,110	124,805	0,310	-
Professor Jamil	1204,3	4989,667	2494,834	677,223	-	677,223	1817,611	0,271	-
Ouro Verde de Goiás	12,62	66,334	33,167	0	7	7,000	26,167	0,211	-
Goianápolis	59,12	286,682	143,341	1,94	25	26,940	116,401	0,188	-
Itauçu	35	174,429	87,215	0	16	16,000	71,215	0,183	-

**Quadro 8 (Continuação):** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Meia Ponte.

Anapólis DAIA	50,92	248,851	124,426	18,33	-	18,330	106,096	0,147	-
Brazabrantes	391,03	1718,098	859,049	112,22	-	112,220	746,829	0,131	-
Cachoeira Dourada	717,69	3054,979	1527,490	159,7	14	173,700	1353,790	0,114	-
Campo Limpo de Goiás	98,66	465,799	232,899	16,11	-	16,110	216,789	0,069	-
Damolândia	57,75	280,382	140,191	5	-	5,000	135,191	0,036	-

**Quadro 9:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Claro, Verde, Corrente, Aporé e Preto.

BCS	Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	l <sub>cg</sub>	l <sub>cg</sub> > 1
Itarumã	2,36	6,398	3,199	0,000	10,000	10,000	-6,801	3,126	1,563
Mineiros	48,8	236,217	118,109	125,000	-	125,000	-6,891	1,058	0,529
Portelândia	5,385	17,095	8,547	0,000	6,000	6,000	2,547	0,702	-
Serranópolis	22,39	93,365	46,682	30,000	-	30,000	16,682	0,643	-
Caçu	12129	168731,799	84365,899	37800,002	-	37800,002	46565,897	0,448	-
Quirinópolis	204,2	1299,955	649,977	152,000	-	152,000	497,977	0,234	-
Jataí	4584,89	52946,239	26473,119	3411,388	-	3411,388	23061,731	0,129	-
Cachoeira Alta	13,52	51,189	25,594	0,000	-	0,000	25,594	0,000	-
Mineiros	2,48	6,787	3,393	0,000	-	0,000	3,393	0,000	-

**Quadro 10:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do São Marcos.

BCS	Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	l <sub>cg</sub>	l <sub>cg</sub> > 1
Cristalina	4,68	11,900	5,9499	0	116,64	116,640	-110,690	19,604	9,802
Campo Alegre de Goiás	6,98	18,215	9,1076	30	-	30,000	-20,892	3,294	1,647
Catalão	79,01	241,412	120,7061	18	182,4	200,400	-79,694	1,660	0,830
Três Ranchos	14,5	39,681	19,8406	22	-	22,000	-2,159	1,109	0,554
Ipameri	86,32	265,269	132,6345	129	-	129,000	3,635	0,973	-
Catalão	14,23	38,895	19,4474	18	-	18,000	1,447	0,926	-
Ouvidor	17,67	48,982	24,4909	22,5	-	22,500	1,991	0,919	-
Cumari	8,42	22,243	11,1213	0	6	6,000	5,121	0,540	-

**Quadro 11:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Vermelho.

BCS	Área (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	l <sub>cg</sub>	l <sub>cg</sub> > 1
Matrinchã	22,15	34,752	17,376	120	6	126,000	-108,624	7,251	3,626
Goiás Pedro Ludovico	11,67	18,616	9,308	40	-	40,000	-30,692	4,297	2,149
Britânia	418,37	608,291	304,145	631,37	9	640,370	-336,225	2,105	1,053
Aruanã	11001,05	14696,365	7348,182	14703,057	-	14703,057	-7354,875	2,001	1,000
Goiás 2	31,92	49,609	24,804	0	34,85	34,850	-10,046	1,405	0,702
Itapirapuã	35,76	55,413	27,707	0	13	13,000	14,707	0,469	-
Goiás1	20,59	32,365	16,183	0	6,15	6,150	10,033	0,380	-
Novo Brasil	361,1	527,028	263,514	13,05	-	13,050	250,464	0,050	-

**Quadro 12:** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Turvo e dos Bois.

BCS	Área (Km²)	Q <sub>95</sub> MT (l/s)	Q <sub>pout</sub>	Q <sub>out</sub> (l/s)	Q abastecimento ANA 2015 (l/s)	Q <sub>out total</sub> (l/s)	Q <sub>d</sub> (l/s)	l <sub>cg</sub>	l <sub>cg</sub> > 1
Paraúna	4,55	12,002	6,001	36,110	-	36,110	-30,109	6,018	3,009
Americano do Brasil	9,06	24,075	12,038	42,000	10,000	52,000	-39,962	4,320	2,160
Palmeiras de Goiás	6,81	18,065	9,033	0,000	31,620	31,620	-22,587	3,501	1,750
Trindade	66,61	180,695	90,347	256,500	-	256,500	-166,153	2,839	1,420
Santa Bárbara de Goiás	2,03	5,312	2,656	0,000	5,460	5,460	-2,804	2,056	1,028
Rio Verde 1	17,125	275,823	137,912	0,000	226,000	226,000	-88,088	1,639	0,819
Bom Jesus de Goiás	147,59	403,588	201,794	172,210	57,000	229,210	-27,416	1,136	0,568
Acreúna	44,58	120,440	60,220	64,440	-	64,440	-4,220	1,070	0,535
Firminópolis	15,56	41,593	20,797	0,000	22,000	22,000	-1,203	1,058	0,529
Inaciolândia	11,87	31,651	15,825	16,110	-	16,110	-0,285	1,018	0,509
Anicuns	28,89	77,710	38,855	39,000	-	39,000	-0,145	1,004	0,502
Indiara	253,25	696,315	348,157	304,710	-	304,710	43,447	0,875	-
Jandaia	9,65	25,666	12,833	0,000	10,000	10,000	2,833	0,779	-
Guapó	41,54	112,147	56,073	43,610	-	43,610	12,463	0,778	-
Rio Verde 2	135,384	1661,430	830,715	626,100	-	626,100	204,615	0,754	-
Joviânia	16,78	44,889	22,444		15,000	15,000	7,444	0,668	-
Nazário	21,870	58,662	29,331	0,000	18,000	18,000	11,331	0,614	-
Turvânia	137,22	374,960	187,480	83,000	-	83,000	104,480	0,443	-
Avelinópolis	7,63	20,249	10,125	0,000	3,520	3,520	6,605	0,348	-
Caturai	19,22	51,486	25,743	0,000	8,000	8,000	17,743	0,311	-
Palminópolis	14,55	38,868	19,434	0,000	6,000	6,000	13,434	0,309	-
Montividiu	12,023	202,868	101,434	30,000	-	30,000	71,434	0,296	-
Maurilândia	13,443	223,512	111,756	0,000	30,000	30,000	81,756	0,268	-
Cezarina	131,95	360,398	180,199	34,500	13,000	47,500	132,699	0,264	-



**Quadro 12 (Continuação):** Resultados sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Turvo e dos Bois.

Santa Helena de Goiás	1271,71	11624,570	5812,285	1276,111	86,000	1362,111	4450,174	0,234	-
Edéia	237,99	653,936	326,968	60,000	-	60,000	266,968	0,184	-
Campestre de Goiás	27,94	75,129	37,564	0,000	6,000	6,000	31,564	0,160	-
Varjão	23,81	63,907	31,954		5,000	5,000	26,954	0,156	-
Mairipotaba	14,78	39,487	19,744	0,000	3,040	3,040	16,704	0,154	-
Araçu	37,82	102,007	51,003	0,000	7,000	7,000	44,003	0,137	-
Edealina	37,74	101,799	50,899	0,000	6,000	6,000	44,899	0,118	-