



LÍVIA MARA DE OLIVEIRA NOGUEIRA

**ANÁLISE DA SAZONALIDADE DAS VAZÕES MÍNIMAS DE
REFERÊNCIA NA BACIA DO RIO DAS VELHAS - MG**

**TRÊS CORAÇÕES – MG
2019**

LÍVIA MARA DE OLIVEIRA NOGUEIRA

**ANÁLISE DA SAZONALIDADE DAS VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA NA
BACIA DO RIO DAS VELHAS - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Vale do Rio Verde (UninCor) como parte das exigências do programa de Pós-graduação Mestrado Profissional Sustentabilidade em Recursos Hídricos, área de concentração em Recursos Hídricos, para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques

Coorientador: Dr. Alisson Souza de Oliveira

**TRÊS CORAÇÕES
2019**

556.18
N778a

NOGUEIRA, Livia Maria Oliveira Nogueira

Análise da sazonalidade das vazões mínimas de referência na Bacia do Rio das Velhas-MG. – Três Corações: Universidade Vale do Rio Verde, 2019.

91 f.l.s.

Orientadora: Profa. Dra. Rosângela Francisca P. Vitor Marques
Co-orientador: Dr. Alisson Souza de Oliveira

Dissertação – Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações/
Mestrado Profissional Sustentabilidade em Recursos Hídricos.

1. Vazão Sazonal 2. Disponibilidade Hídrica. 3. Outorga. 4. Bacia Rio das Velhas. I. Profa. Dra. Rosângela Francisca P. Vitor Marques, orient. Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações.
II. Título.

**ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DO MESTRADO PROFISSIONAL EM
SUSTENTABILIDADE EM RECURSOS HÍDRICOS**

Aos onze dias do mês de setembro do ano de dois mil e dezenove, sob a presidência da Profa. Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques (UninCor), e com a participação dos membros, Prof. Dr. Alisson Souza de Oliveira (UninCor), Prof. Dr. Felipe Bernardes Silva (UninCor) e Profa. Dra. Nívia Carla Rodrigues (UFMG), foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão “ANÁLISE DA SAZONALIDADE DAS VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA NA BACIA DO RIO DAS VELHAS - MG”, da mestranda **Lívia Mara de Oliveira Nogueira**, aluna do Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade em Recursos Hídricos. Após arguição da candidata, a banca deliberou pela () APROVAÇÃO (X) APROVAÇÃO COM ALTERAÇÕES () NÃO APROVAÇÃO. Eu, secretária, lavro a presente ata que, depois de lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos demais membros da banca examinadora.

Três Corações, 11 de setembro de 2019.

Profa. Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques
Presidente

Prof. Dr. Alisson Souza de Oliveira
Membro da Banca

Prof. Dr. Felipe Bernardes Silva
Membro da Banca

Profa. Dra. Nívia Carla Rodrigues
Membro da Banca

Prof. Dr. Ricardo Junqueira Del Carlo
Pró Reitor de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão

Profa. Esp. Francisilaine Santos Silva do Rosário
Secretária Geral

Ao meu filho Eduardo, meu presente de Deus, luz da minha vida e minha fonte de inspiração sempre. Ao meu marido Thiago, meu amor, que me incentivou e me deu todo apoio e suporte necessário para que fosse possível ingressar no mestrado e concluir este trabalho. Aos meus pais Sandra e Aurélio e a minha tia Nadir que me incentivaram a sempre estudar e correr atrás dos meus sonhos. Aos meus irmãos Gustavo e Leticia, pelo apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais uma etapa concluída em minha vida.

Ao meu filho e meu marido, os amores da minha vida, pela compreensão, paciência, companheirismo, apoio em todos os momentos, sempre com muito amor e uma palavra de carinho.

A minha família por sempre me apoiar incondicionalmente, pelas orações, pelo amor e pela paciência.

A Professora Rosângela e ao Professor Alisson pelos ensinamentos, orientação e pela disponibilidade.

A Coordenadora do Mestrado Marília por me incentivar a ingressar no mestrado, sempre com suas palavras sábias.

A Nívia, pelos ensinamentos, por me dar uma direção, por estar disponível em todos os momentos, por sua amizade, paciência, compreensão e pelas orações.

Aos meus gerentes da Vale, Rodrigo e João, pela oportunidade de realização do curso.

A minha coordenadora e amiga Isabel, meu exemplo profissional, sempre me apoiando em todos os momentos.

A turma do “Bonde”, pela amizade, pelas aventuras e todos os momentos vividos, pelo suporte e, principalmente pelo incentivo.

Aos amigos do mestrado, que fizeram parte da minha formação.

Ao meu amigo Flávio Nery, que sempre, com muita paciência, me ajudou nestes dois anos de mestrado e auxiliou na elaboração deste trabalho.

A Letícia, Wally, Evandro e Cecília, pelo apoio na elaboração do mestrado.

As minhas amigas Duda, Lu, Nath e Fe, pela força.

Ao Lucas e ao Flávio, meus amigos e companheiros de trabalho e mestrado.

Ao SINDIEXTRA e a UninCor, pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

*“Julgue seu sucesso pelas coisas
que você teve que renunciar para
conseguir”.*

Dalai Lama

RESUMO

NOGUEIRA, Livia Mara de Oliveira. **Análise da Sazonalidade das Vazões Mínimas de Referência na bacia do rio das Velhas – MG**. 2019. 91p. Trabalho de Conclusão de Curso para o Mestrado em Sustentabilidade e Recursos Hídricos – Universidade Vale do Rio Verde (UninCor), Três Corações, MG.

Tendo em vista que a sazonalidade da vazão e a utilização de critério menos restritivos podem ser alternativas que representam ganhos para concessão de outorga na bacia, são necessários estudos que indiquem critérios compatíveis frente às disponibilidades reais e que não ultrapassem a capacidade dos cursos d'água e ainda mantenham o fluxo residual. Diante deste cenário, a análise da sazonalidade das vazões na concessão de outorgas é mais uma alternativa que objetiva aumentar a oferta hídrica na bacia do rio das Velhas, que é uma importante bacia hidrográfica de Minas Gerais. Neste contexto, visando o melhor entendimento da dinâmica de diferentes critérios para o cálculo das vazões permissíveis para outorga, este trabalho buscou comparar os critérios de Minas Gerais (30% da $Q_{7,10}$) e da União (70% da Q_{95}), em base anual e mensal na bacia do rio das Velhas e avaliar ao longo da hidrografia, a substituição das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$ e Q_{95}) anuais pelas mensais. Para elaboração do trabalho foram utilizados os dados consistidos de 14 estações fluviométricas e 29 estações pluviométricas. Para o cálculo da $Q_{7,10}$ e da Q_{95} foi utilizado o software SisCah 1.0, onde foram analisados os dados relativos ao período base de 1968 a 2005, sendo desconsiderados os anos e meses com percentuais de falhas iguais ou superiores a 5%. Além disso, foi utilizado o software SisCorv 1.0 para a obtenção das equações de regionalização empregando o Método Tradicional, que envolve a definição prévia das regiões hidrológicamente homogêneas e, posteriormente, a obtenção das equações que permitem associar a variável dependente com as variáveis independentes através de um modelo de regressão. Neste estudo, a variável dependente foi representada pela vazão mínima de referência ($Q_{7,10}$ e Q_{95}), e as variáveis independentes foram representadas pela característica física da bacia - área de drenagem - e pelas condições climáticas (Peq e Peq_{750}). Para a seleção do modelo de regressão que melhor representou as condições hidrológicas da bacia, foram aplicados o coeficiente de determinação ajustado (R^2), erro padrão e amplitudes dos valores dos resíduos entre o valor observado e o estimado, sendo que o modelo potencial foi o que apresentou o melhor desempenho com a utilização da variável explicativa Peq_{750} . A partir dos resultados obtidos das 14 estações fluviométricas, foi possível analisar a diferença relativa percentual do volume total anual de água permissível para outorga utilizando os critérios adotados pelo IGAM e pela ANA, em bases anual e mensal, concluindo que o volume permissível a ser outorgado pelo critério da ANA é superior ao volume permissível pelo IGAM na bacia do Rio das Velhas. Ao final concluiu-se que a utilização do critério em base mensal na bacia do rio das Velhas torna-se mais viável, utilizando de forma mais racional o volume de água disponível.

Palavras-chave: Vazão sazonal 1. Disponibilidade hídrica 2. Outorga 3.

ABSTRACT

In regards to the seasonal flow of water - the use of less rigorous restrictions may be alternatives that represent enough gains to return the river basin to an adequate level. Studies that guarantee ways to achieve this and that don't exceed the watercourse, while still keeping the wastewater flow are needed. In face of this situation, the grant of bestowals seasonal analysis is another option to attempt to supply raise of the hydric resources at Rio das Velhas basin, which is an important hydric basin in Minas Gerais. In this scenario, seeking the better understanding of the different criteria and dynamics to calculate the allowed flow to increase, the given academic work sought to compare Minas Gerais criterions (30% of $Q_{7,10}$) and the federal government (70% of Q_{95}), annually and monthly in Rio das Velhas Basin and measure based on the hydrography, the substitution of the minimum flows in relation to ($Q_{7,10}$ and Q_{95}) annually and monthly. The data of 14 river stations was used to develop such academic work, together with 29 rainfall stations. To perform the calculation of $Q_{7,10}$ and Q_{95} the SisCah 1.0 software was used, where the mentioned data relating to the basis period, 1965 and 2005, was analyzed, disregarding the years and months that had failures less or equal to 5%. In addition, the SisCorv 1.0 software was used to obtain the regional equations, applying the "Método Tradicional" - which involves the hydrological homogeneous previous definition and afterwards, the equations acquisition that allows the variable assimilation with the independent variables through a regression model. Based on the present studies, the dependent variables were represented by the minimum referential flow ($Q_{7,10}$ and Q_{95}), and the dependent variables were represented by the basin physical feature - 'drainage area' - as well as by the climate conditions (Peq and Peq_{750}). To properly select the regression model that better represented the basin's hydrological conditions, they applied the fitted determination coefficient (R^2), the standard error and the residual values range between the observed and estimated, whereby the potential model was one which showed a better performance with the use of explanatory variables Peq_{750} . Based on the obtained results from the 14 river stations, it is possible to notice the relative percentage difference on the maximum water volume allowable for use, using the standard adopted by the "IGAM" and "ANA", annually and monthly. They concluded that the permissible volume to be utilized by the "ANA" standard is higher than the "IGAM" permissible volume at the "Rio das Velhas" basin. Finally, it was also concluded that the use of the standard monthly rate of "Rio das Velhas" basin became more variable, utilizing, in a rational way the available water volume.

Keywords: *Seasonal flow 1. Water availability 2. Bestowal 3.*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para concessão de outorga de uso das águas superficiais.....	24
Tabela 2 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo.....	29
Tabela 3 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo	31
Tabela 4 - Diferença relativa percentual ($DV_{c\%}$) do volume total anual de água permissível para outorga utilizando os critérios adotados pelo IGAM e pela ANA, em bases anual e mensal, nas quatorze estações fluviométricas analisadas no estudo.....	50
Tabela 5 - Diferença relativa percentual ($DV_{b\%}$) do volume total anual permissível para outorga entre os critérios mensal e anual, considerando os critérios adotados pelo IGAM e pela ANA, nas quatorze estações fluviométricas analisadas no estudo	51
Tabela 6 – Equações utilizadas para a regionalização da área de estudo das $Q_{7,10}$ sazonais e anual.....	55
Tabela 7 – Equações utilizadas para a regionalização da área de estudo das Q_{95} sazonais e anual	

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Figura 1- Matriz de funcionamento do SINGREH.....	20
Figura 2 - Relação entre os instrumentos da Política de Recursos Hídricos	21
Figura 3- Localização da bacia do Rio das Velhas, inserida na bacia do Rio São Francisco ..	27
Figura 4- Localização das estações fluviométricas utilizadas no estudo	30
Figura 5 - Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo	32
Figura 6 - Mapa de precipitação média anual da bacia do rio das Velhas	37
Figura 7 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Jequitibá (41410000)	42
Figura 8 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Represa - jusante (41440005).....	43
Figura 9 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Pirapama (41600000).....	43
Figura 10 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Ponte do Licínio - jusante (41650002)	44
Figura 11 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Santo Hipólito (ANA/CEMIG) (41818000)	44
Figura 12 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Estação de Curimataí (41890000)	45
Figura 13 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Ponte do Bicudo (41940000)	45
Figura 14 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Várzea da Palma (41990000)	46
Figura 15 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Honório Bicalho - montante (41199998).....	46
Figura 16 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Vespasiano (41250000)	47

Figura 17 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Pinhões (41260000).....	47
Figura 18 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Taquaraçu (41300000).....	48
Figura 19 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Ponte Raul Soares (41340000).....	48
Figura 20 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Ponte Preta (41380000).....	49
Figura 21 - Amplitude de variação ($DH\%$), considerando as quatorze estações fluviométricas utilizadas no estudo, da diferença relativa entre as vazões $Q_{7,10}$ mensais e anual.....	52
Figura 22 - Amplitude de variação ($DH\%$), considerando as quatorze estações fluviométricas utilizadas no estudo, da diferença relativa entre as vazões Q_{95} mensais e anual.....	53
Figura 23 – Diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de janeiro e a $Q_{7,10}$ anual (a) e a diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de fevereiro e a $Q_{7,10}$ anual	57
Figura 24 – Diferença relativa ($DH\%$) entre a $Q_{7,10}$ de março e a $Q_{7,10}$ anual (a) e a diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de abril e a $Q_{7,10}$ anual.....	58
Figura 25 – Diferença relativa ($DH\%$) entre a $Q_{7,10}$ de maio e a $Q_{7,10}$ anual (a) e a diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de junho e a $Q_{7,10}$ anual	59
Figura 26 - Diferença relativa ($DH\%$) entre a $Q_{7,10}$ de julho e a $Q_{7,10}$ anual (a) e a diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de agosto e a $Q_{7,10}$ anual	60
Figura 27 - Diferença relativa ($DH\%$) entre a $Q_{7,10}$ de setembro e a $Q_{7,10}$ anual (a) e a diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de outubro e a $Q_{7,10}$ anual.....	61
Figura 28 - Diferença relativa ($DH\%$) entre a $Q_{7,10}$ de novembro e a $Q_{7,10}$ anual (a) e a diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de dezembro e a $Q_{7,10}$ anual.....	62
Figura 29– Frequência de ocorrência das diferenças relativas ($DH\%$) entre as $Q_{7,10}$ mensais e a $Q_{7,10}$ anual ao longo da hidrografia da bacia em estudo.....	63
Figura 30 - Diferença relativa ($DH\%$) entre a Q_{95} de janeiro e a Q_{95} anual (a) e a diferença relativa entre a Q_{95} de fevereiro e a Q_{95} anual	65
Figura 31 - Diferença relativa ($DH\%$) entre a Q_{95} de março e a Q_{95} anual (a) e a diferença relativa entre a Q_{95} de abril e a Q_{95} anual	66

Figura 32 - Diferença relativa ($DH\%$) entre a Q_{95} de maio e a Q_{95} anual (a) e a diferença relativa entre a Q_{95} de junho e a Q_{95} anual	67
Figura 33 - Diferença relativa ($DH\%$) entre a Q_{95} de julho e a Q_{95} anual (a) e a diferença relativa entre a Q_{95} de agosto e a Q_{95} anual	68
Figura 34 - Diferença relativa ($DH\%$) entre a Q_{95} de setembro e a Q_{95} anual (a) e a diferença relativa entre a Q_{95} de outubro e a Q_{95} anual.....	69
Figura 35 - Diferença relativa ($DH\%$) entre a Q_{95} de novembro e a Q_{95} anual (a) e a diferença relativa entre a Q_{95} de dezembro e a Q_{95} anual.....	70
Figura 36 – Frequência de ocorrência das diferenças relativas ($DH\%$) entre as Q_{95} mensais e a Q_{95} anual ao longo da hidrografia da bacia em estudo	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas
AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídricos
ANA - Agência Nacional da Águas
APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima
CBH - Comitês de Bacia Hidrográfica
CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica
GPRH – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos
HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas
IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IGARN - Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte
INEA – Instituto Estadual do Ambiente
INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IPÁGUAS – Instituto das Águas do Paraná
NATURATINS – Instituto Natureza do Tocantins
PDRH - Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte
SECIMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEMAR – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí
SEMARH - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SF5 - São Francisco 5
SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SisCAH - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas
SisCoRV - Sistema Computacional para Regionalização de Vazões
SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRH – Secretaria de Recursos Hídricos
SRQA - Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
UFV - Universidade Federal de Viçosa
UPGRH - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Gestão de recursos hídricos.....	19
2.2	Outorga.....	20
2.3	Vazões de Referência.....	23
2.3.1	$Q_{7,10}$	24
2.3.2	Q_{95}	25
2.4	Vazões Sazonais	25
2.5	Regionalização.....	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	Caracterização da Área de Estudo	27
3.2	Dados Utilizados no Estudo	28
3.3	Determinação das Vazões Mínimas de referência.....	33
3.3.1	$Q_{7,10}$	33
3.3.2	Q_{95}	34
3.4	Comparação entre as Vazões Máximas permissíveis para Outorga considerando os critérios usados pelo IGAM e pela ANA em bases anual e mensal	34
3.4.1	Diferença relativa entre o critério usado pelo IGAM e pela ANA.....	34
3.4.2	Diferença relativa entre o critério anual e o critério mensal	35
3.5	Regionalização de Vazões.....	35
3.5.1	Variáveis dependentes.....	35
3.5.2	Variáveis independentes.....	35
3.5.3	Método de regionalização	38
3.5.3.1	Critérios para a seleção do modelo de regressão.....	39
3.6	Proposta para minimizar o uso da extrapolação das equações de regionalização obtidas	

3.7 Avaliação do Impacto da substituição das Vazões Mínimas anuais pelas mensais na bacia hidrográfica do rio das Velhas	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Comparação entre as vazões máximas permissíveis para outorga considerando os critérios usados pelo IGAM e pela ANA em bases anual e mensal	41
4.2 Avaliação do impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mensais ao longo da hidrografia.....	54
4.2.1 Equações de regionalização.....	54
4.2.2 Avaliação do impacto da substituição da $Q_{7,10}$ anual pela $Q_{7,10}$ mensal ao longo da hidrografia	56
4.2.3 Avaliação do impacto da substituição da Q_{95} anual pela Q_{95} mensal ao longo da hidrografia	64
5 CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS	74
APÊNDICES	80
APÊNDICE A.....	80
APÊNDICE B.....	81
APÊNDICE C.....	82
APÊNDICE D.....	83
APÊNDICE E.....	84
APÊNDICE F.....	85
APÊNDICE G.....	86
APÊNDICE H.....	87
APÊNDICE I	88
APÊNDICE J.....	89
APÊNDICE K.....	90
APÊNDICE L.....	91

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial e indispensável à vida e ao desenvolvimento de todos os países e nações. Deve ser disponível em quantidade e deve ser de boa qualidade para a manutenção da vida, nesse sentido, esta é fundamental para o planejamento econômico e social, uma vez que toda atividade humana depende deste recurso.

Os usos deste recurso variam regionalmente e diferem em cada país, sendo também impulsionados pelas economias globais ou locais (TUNDISI, 2006). A utilização da água pode ter caráter consuntivo e não consuntivo, sendo os maiores usos destinados ao consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e agricultura (TUCCI, HESPANHOL e NETTO, 2001).

O gerenciamento deste bem é essencial para que não haja desequilíbrios e conflitos. Este gerenciamento se dá através do conhecimento da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica e do balanço do mesmo frente às demandas de uso e de conservação ambiental (CRUZ e TUCCI, 2008).

A solução para as problemáticas decorrentes da água está centrada atualmente no desenvolvimento de sistemas apropriados de gestão e na procura de inovações tecnológicas, e na adoção de medidas estruturais e não-estruturais para a gestão integrada de recursos hídricos (TUNDISI, 2006).

O gerenciamento dos recursos hídricos é composto por procedimentos integrados de planejamento que procuram adequar os usos, o controle e a proteção das águas às necessidades sociais e ambientais (POLETO, 2008). Este gerenciamento tem como objetivo a solução de conflitos resultantes do uso intensivo da água, consequência do crescimento econômico e populacional, e preservar as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas, assim como garantir a oferta hídrica as futuras gerações (CRUZ e TUCCI, 2008).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH foi criada com o objetivo assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (BRASIL, 1997). Além de ser considerada por muitos autores um dos principais instrumentos da PNRH, a outorga de direito de uso de recursos hídricos constitui um elemento disciplinador do uso da água nas bacias hidrográficas (SILVA et al., 2009).

A concessão da outorga superficial é condicionada a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica, calculada a partir de uma vazão mínima de referência, sendo que no âmbito de Minas Gerais a vazão de referência adotada é a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e

dez anos de tempo de recorrência), estimada em base anual e definida através da Resolução Conjunta SEMAD/IGAM nº 1.548, de 29 de março de 2012 (MINAS GERAIS, 2012).

Afim de se estabelecer um parâmetro técnico de garantia de vazão, algumas bacias têm fixado o limite de 30% da vazão mínima de referência para fins de outorga, sendo este um percentual que representa o limite máximo de utilização de água em um determinado trecho do curso d'água, ficando garantida a jusante de cada captação a fio d'água os fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% desta vazão. Segundo Benetti, Lanna e Cobalchini (2003), trata-se do balanço adequado entre utilização da água e conservação dos ecossistemas, assegurando o uso continuado da água, no presente e no futuro.

Segundo Castro, Diniz e Silva (2004) o critério de outorga adotado por Minas Gerais é considerado o mais restritivo frente a critérios adotados por outros Estados Brasileiros e pela União, que por exemplo, utiliza a Q_{95} que é uma vazão mínima de referência obtida a partir de curvas de permanência em que a vazão é igualada ou superada em 95% do tempo (MENDES, 2007).

Outro limitador é o cálculo estimado considerando o período anual, a qual restringe o uso da água em regiões com grande variabilidade mensal de vazões a um valor único (BOF, 2010).

A adoção de diferentes critérios entre os órgãos gestores para a concessão de outorgas é um problema para a gestão dos recursos hídricos, uma vez que há uma insegurança decorrente da própria incompatibilidade entre estes critérios, podendo ocorrer captações acima do limite permissível para outorga em virtude dessa diferença. Assim a adoção de critérios compatíveis poderá indicar uma distribuição mais justa e igualitária dos recursos hídricos.

Diante deste cenário, são necessários estudos que indiquem critérios compatíveis frente às disponibilidades reais, que não ultrapassem a capacidade dos cursos d'água e ainda mantenha o fluxo residual mínimo, possibilitando assim um maior aproveitamento das vazões disponíveis.

Dentro do exposto, a análise da sazonalidade das vazões na concessão de outorgas também é uma alternativa que objetiva aumentar a oferta hídrica na bacia do rio das Velhas, possibilitando assim um melhor uso da água.

Neste contexto, visando o conhecimento de diferentes critérios para o cálculo das vazões permissíveis para outorga, este trabalho buscou comparar os critérios do Estado de Minas Gerais (30% da $Q_{7,10}$) e da União (70% da Q_{95}), em base anual e mensal na bacia do rio das Velhas. Além disso, avaliar ao longo da hidrografia a substituição das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$ e Q_{95}) anuais pelas mensais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gestão de recursos hídricos

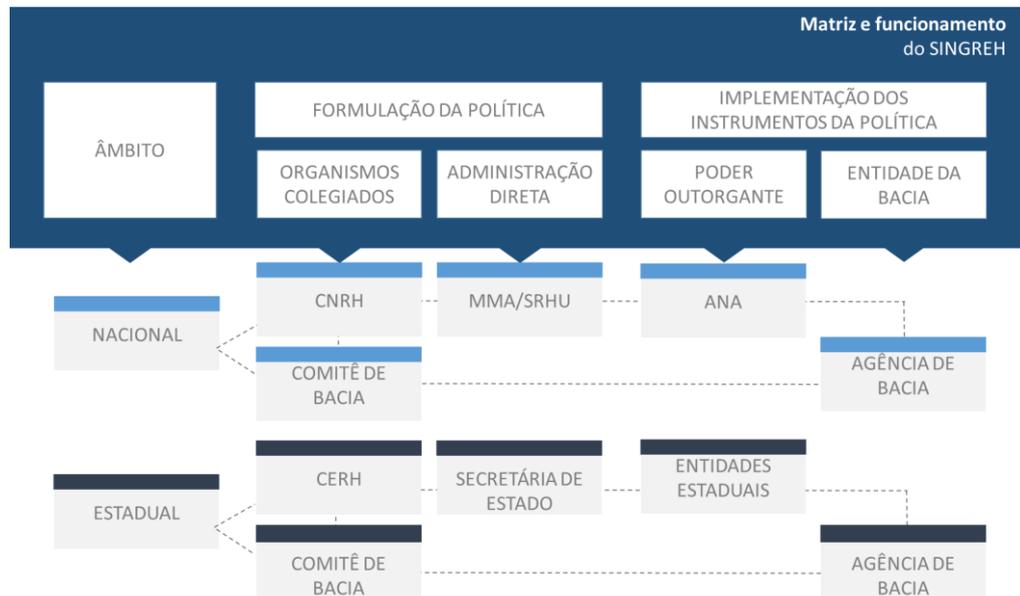
A Constituição de 1988 definiu as águas como bens de uso comum e indicou, entre os bens da união, “os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos do seu domínio, ou que banhem mais de um estado, sirvam de limites com outros países, se estendam a território estrangeiro, ou dele provenham, bem como terrenos marginais e as praias fluviais”. Além disso, incluiu entre os bens dos estados e do distrito Federal “as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da união”, visando à gestão compartilhada do bem de uso comum, a água (PORTO, 2008).

Em 8 de janeiro de 1997 foi sancionada a Lei 9.433, conhecida como “Lei das Águas”, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, dotando o Brasil de um instrumento legal e institucional necessário ao ordenamento das questões referentes à disponibilidade e ao uso sustentável de suas águas (MACHADO, 2003).

A partir desta nova política de Recursos Hídricos o Brasil organizou seu sistema de gestão e passou a ter uma das legislações mais avançada do mundo no setor de recursos hídricos (PORTO, 2008).

O SINGREH é o conjunto de órgãos e colegiados responsáveis por implementar a PNRH, fazendo, de forma participativa e democrática, a gestão dos usos da água, e composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), pela Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental (SRQA), pela Agência Nacional de Águas (ANA), pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH), pelos Órgãos gestores de recursos hídricos estaduais (Entidades Estaduais), pelos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) e pelas Agências de Água – Figura 1.

Figura 1- Matriz de funcionamento do SINGREH



Fonte: Adaptado de ANA (2018).

A PNRH tem como objetivo: assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos Recursos Hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

E para cumprir estes objetivos propostos a PNRH conta com cinco instrumentos: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (COUCEIRO e HAMADA, 2011).

Dentre os cinco instrumentos de gestão previstos na mencionada PNRH, destaca-se como um dos principais a outorga de direito de uso de recursos hídricos, que é um ato de competência dos órgãos governamentais Federais e Estaduais, ficando a cargo da Agência Nacional de Águas (ANA) a gestão dos rios de domínio da União, e a Secretaria ou Departamento de Recurso Hídricos as decisões sobre os rios de domínio dos Estados.

2.2 Outorga

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos cinco instrumentos da Política de Recursos Hídricos, e tem o objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água.

São passíveis de outorga qualquer uso que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente nos corpos d'água, sejam eles superficiais ou subterrâneos. Com exceção daqueles usos que independem de outorga, mas que necessitam de cadastramento junto à autoridade outorgante, de acordo com as especificidades de cada bacia hidrográfica (SCHVARTZMAN et al. 2002).

Trata-se de um ato administrativo o qual o poder público outorgante (União, estado ou Distrito Federal) faculta ao outorgado o direito de uso de recursos hídricos, por prazo determinado, nos termos e as condições expressas no respectivo ato. Através da outorga o usuário garante o direito de acesso à água, uma vez que regulariza o seu uso em uma bacia hidrográfica, entretanto, este ato pode ser revisto a qualquer momento (ANA, 2011).

Segundo Schwartzman et al. (2002), a partir do estabelecimento do domínio público das águas, a outorga de direito de uso de recursos hídricos tornou-se, talvez, o mais importante instrumento de gestão de recursos hídricos.

Entretanto, os demais instrumentos da Política de Recursos Hídricos estão diretamente relacionados a outorga – Figura 2 (ANA, 2011).

Figura 2 - Relação entre os instrumentos da Política de Recursos Hídricos



Fonte: Adaptado de ANA (2011).

Os planos de recursos hídricos são norteadores com a finalidade de fundamentar e orientar a implementação da política de recursos hídricos e seu gerenciamento e devem conter as prioridades para outorga de direito de uso de recursos hídricos, estipular metas de racionalização e indicar áreas sujeitas à restrição de uso (BRASIL, 1997).

Já o enquadramento dos corpos d'água é um instrumento essencial à análise das outorgas. As diretrizes e os critérios para análise de outorgas, quanto aos aspectos de qualidade

das águas, são estabelecidos pelo enquadramento como no caso do uso de corpos hídricos para a diluição de efluentes (ANA, 2007).

A outorga também está diretamente relacionada com a cobrança pelo uso das águas, uma vez que a Lei das Águas determina que os usos de recursos hídricos a serem cobrados são aqueles sujeitos à outorga (BRASIL, 1997).

Para um eficiente controle, a Lei 9.433/1997 também prevê como um dos seus instrumentos um Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. O sistema tem como objetivo reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil, atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em todo o território nacional e fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos. Essas são todas as informações relevantes que devem ser analisadas quando da submissão de um pedido de outorga.

Segundo a Lei nº 9.433/1997, a Agência Nacional de Águas - ANA é o órgão competente pela análise técnica e emissão da outorga de direito de uso da água para rios, reservatórios, lagos e lagoas sob o domínio da União.

Em Minas Gerais, a Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, e prevê como um dos instrumentos da sua política a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, que tem por objetivo assegurar os controles quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (MINAS GERAIS, 1999).

De acordo com o Art. 18 da Lei no 13.199/99, estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os seguintes usos de recursos hídricos:

I - as acumulações, as derivações ou a captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, até para abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;

II - a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;

III - o lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais efluentes líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;

IV - o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;

V - outros usos e ações que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água”.

Além disso, ao se analisar uma solicitação de outorga são consideradas as prioridades de uso estabelecidas nos Planos Diretores de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas, a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte hidroviário, quando for o caso, levando em conta a necessidade de se preservar o uso múltiplo e racional das águas.

A correta aplicação do instrumento da outorga, mais do que um ato de regularização ambiental, ele se destina a disciplinar a demanda crescente das águas superficiais e subterrâneas entre os diversos usos concorrentes e ainda a indicar aos usuários de recursos hídricos, a necessidade da adoção de práticas modernas e conservacionistas (IGAM, 2010).

No caso de Minas Gerais, o órgão gestor, responsável pela análise e concessão da outorga é o Instituto Mineiro de Gestão das Águas- IGAM.

2.3 Vazões de Referência

Segundo Silva e Monteiro (2004) as vazões de referência são as vazões mínimas que indicam uma condição de escassez hídrica. Trata-se de uma vazão que está disponível mesmo nos períodos de estiagem de forma a caracterizar uma condição de alta garantia de água no manancial. A partir dessa condição, são realizados os cálculos de alocação da água, de modo que, quando essas vazões mínimas ocorram, todos os usuários ou os usos prioritários mantenham, de certa forma, suas retiradas de água.

As vazões de referência caracterizam as disponibilidades hídricas dos corpos de água e são geralmente definidas por vazões com alta permanência no tempo (Q_{90} e Q_{95}) ou por vazões mínimas associadas a probabilidades de ocorrência ($Q_{7,10}$) (LOPES e FREIRAS, 2007).

Além de nortear a disponibilidade hídrica, a aplicação desta vazão está atrelada à estipulação da quantidade de água utilizável permitida quando da concessão da outorga de direito de uso de recursos hídricos (FILZZOLA et al., 2015).

No Brasil, fica a cargo de cada Estado definir os critérios específicos para o estabelecimento das vazões de referência para outorga, no entanto, não são apresentadas justificativas para adoção desses valores (CRUZ, 2001).

Na Tabela 1 são apresentados alguns critérios utilizados para a concessão de outorga, estabelecidos por órgãos gestores de diferentes Estados no Brasil.

Tabela 1 - Critérios para concessão de outorga de uso das águas

Órgão gestor	Máxima vazão Outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável
ANA	70% da Q ₉₅ *	Não existe, podendo variar o critério
AESA - PB	90% da Q _{90reg} **.	Decreto Estadual nº 19.260/1997
AGERH - ES	50% da Q ₉₀	Instrução Normativa IEMA nº. 019, de 4 de outubro de 2005
APAC - PE	Depende do risco que o requerente pode assumir	Não existe legislação específica
INEMA - BA	90% da Q ₉₀ ***	Decreto 6.296, de 1997
DAEE - SP	50% da Q _{7,10} ****	Lei Estadual no 9.034, de 1994
SECIMA - GO	50% da Q ₉₅	Instrução Normativa no 04 de 2015
INEA - RJ	50% da Q _{7,10}	Portaria SERLA nº 307 de 2002
SRH-CE	90% da Q _{90reg}	Decreto Estadual nº 23.067/1994
IPÁGUAS-PR	50% da Q ₉₅	Decreto Estadual nº 4.646/2001
SEMAR-PI	80% da Q ₉₅ (rios) e 80% da Q _{90reg} (açudes)	Não existe legislação específica
IGARN-RN	90% da Q _{90reg}	Decreto Estadual nº 13.283/1997
SEMARH-SE	100% da Q ₉₀ ****	Não existe legislação específica
NATURATINS-TO	75% da Q ₉₀ *****	Decreto Estadual aprovado pela Câmara de outorga do Conselho Estadual de Recursos Hídricos
IGAM - MG	30% ou 50% da Q _{7,10} dependendo da UPGRH	Resolução Conjunta SEMAD/IGAM nº 1.548, de 29 de março de 2012 e Portaria IGAM no 49 de 2010

*Sempre que possível, a ANA procura adotar vazões sazonais, como a Q₉₅ de cada mês, como vazão de referência, e compará-las com a demanda acumulada outorgada mês a mês.

**Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3.

***Até 20% para cada usuário.

****Até 30% para cada usuário.

*****Até 25% para cada usuário. Para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada.

Fonte: Adaptado de ANA (2011) e Moreira (2018).

2.3.1 Q_{7,10}

A vazão Q_{7,10} é uma vazão mínima de referência que corresponde a um quantil de 10 anos de período de retorno das amostras dos valores mínimos anuais de vazões com 7 dias consecutivos de duração (PINHEIRO, 2011).

Em Minas Gerais, a vazão mínima de referência adotada é a Q_{7,10}, definida através da Resolução Conjunta SEMAD/IGAM nº 1.548, de 29 de março de 2012 (MINAS GERAIS,

2012), sendo considerada uma das mais restritivas frente a utilizadas por outros Estados, Q_{90} e Q_{95} (MOREIRA, 2018).

Esta Resolução dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado e limita o máximo de captações a serem outorgados nas bacias hidrográficas.

2.3.2 Q_{95}

A Q_{95} é uma vazão mínima de referência, usualmente empregada como critério para concessão de outorga. Determinada a partir das observações em um posto de monitoramento fluviométrico em certo período de tempo sendo, a Q_{95} é obtida a partir de curvas de duração ou permanência que relacionam a vazão com a porcentagem do tempo em que ela é igualada ou superada em 95% do tempo (MENDES, 2007). Ou seja, existe um nível de garantia de que em 95% das vezes a vazão daquele curso d'água seja maior do que a Q_{95} (ANA, 2011).

2.4 Vazões Sazonais

A vazão de referência adotada em Minas Gerais para os procedimentos de outorga é calculada com base em valores anuais. Ao se analisar a concessão de uma outorga não se analisa a eventual sazonalidade das vazões, sendo considerados os fluxos constantes ao longo dos diversos períodos do ano.

Os cursos d'água no estado de Minas Gerais apresentam regime de vazões com acentuada variação mensal, prevalecendo o escoamento de vazões elevadas nos meses da estação chuvosa e vazões baixas nos meses de estiagem.

A adoção do critério da sazonalidade, para concessão da outorga, vem sendo amplamente estudado por vários autores (MEDEIROS, 2000; MAIA, 2003; FILHO, 2004; EUCLYDES, FERREIRA, FILHO, 2006; BOF, 2010; SILVA, MARQUES, LEMOS, 2011; FALCO et al., 2015; MOREIRA, 2018) sendo que todos estes apontaram ganhos percentuais, em determinados períodos do ano, com a adoção deste critério na concessão da outorga.

Segundo Filho (2004), o modelo de previsão de vazões de referência em rios para horizonte mensal é muito interessante para uma operação mais eficiente dos suprimentos de água e o processo de alocação de água entre usos e usuários conflitantes.

Segundo Bof (2010), o uso das vazões mínimas mensais como índices de referência para a definição de critérios para a concessão de outorga, em substituição às vazões mínimas calculadas em uma base anual, poderá representar um expressivo aumento da quantidade de água permissível para a outorga, sem que isto venha significar um aumento no risco de ocorrência de vazões excessivamente baixas.

Adotando a vazão mensal como vazão de referência é possível obter diferentes combinações de usos e usuários, sem à restrição da utilização de vazões mínimas, o que aumenta as possibilidades de uso da água, de forma controlada e distribuída no tempo e no espaço (SILVA e MONTEIRO, 2004).

2.5 Regionalização

O conhecimento da vazão disponível em um curso d'água é parte fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Através deste conhecimento é possível alocar valores para abastecimento público, indústrias, agropecuária e demais usos dependentes deste recurso. A partir da criação da “Lei das Águas”, conseqüentemente disciplinamento da outorga, houve um aumento da necessidade da determinação das variáveis hidrológicas (JUNIOR et al. 2003).

Devido à indisponibilidade informações da rede hidrométrica, uma técnica amplamente difundida e empregada para determinação das variáveis hidrológicas utilizadas nos estudos de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos é a de regionalização, que permite a avaliação o comportamento do regime de vazões em diferentes bacias hidrográficas.

Segundo Tucci (2002) a regionalização pode ser definida como a transferência de informações de um local para o outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. A obtenção destas informações é realizada por meio de uma variável que identifica o comportamento de um processo ou um fenômeno que é aplicada a uma determinada função que representa uma relação entre uma variável hidrológica e uma ou mais variáveis explicativas ou estatística, ou até mesmo através de um parâmetro, que é interpretado como um sistema hídrico.

Está técnica avalia o comportamento do regime de vazões e surge como alternativa para a obtenção de informações hidrológicas em locais sem ou com poucos dados (BAZZO et al., 2017).

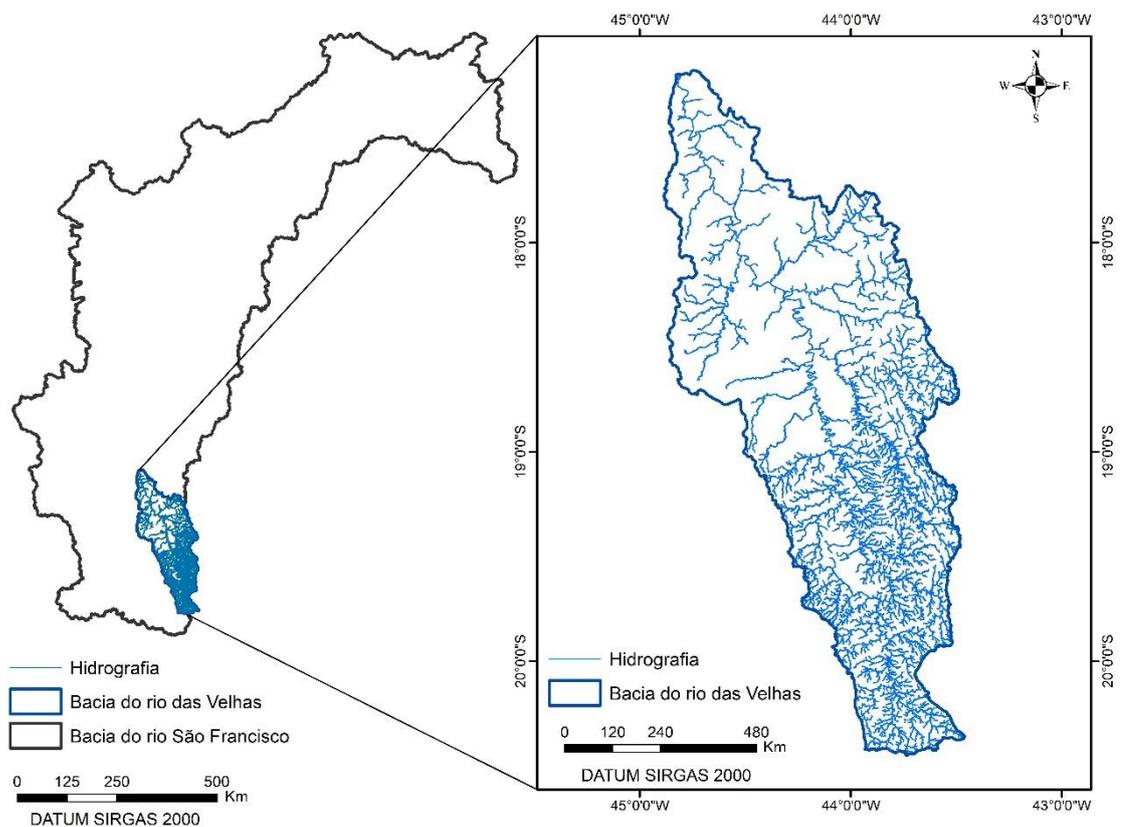
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio das Velhas (Figura 3) está localizada na região central do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas 17°15' e 20°25' S – 43°25' e 44°50' W, que corresponde a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) – São Francisco 5 (SF5).

O rio das Velhas, maior afluente em extensão do rio São Francisco, nasce na cachoeira das Andorinhas, no município de Outo Preto, e desagua no rio São Francisco no distrito de Guaicuí, município de Várzea da Palma. Possui uma extensão de 806,84 km, sendo que a bacia ocupa uma área de aproximadamente 28.000 km², onde estão localizados os seus 55 municípios, dos quais 44 têm suas sedes urbanas inseridas na bacia, que abrigam uma população estimada em 4,4 milhões de habitantes (PDRH, 2015).

Figura 3- Localização da bacia do Rio das Velhas, inserida na bacia do Rio São Francisco



Segundo classificação climatológica do PDRH (2015b), a região na qual a bacia do rio das Velhas está inserida é caracterizada pela diversidade climática, com anos em que o verão é excessivamente quente e longo, enquanto em alguns anos o inverno é mais intenso.

A temperatura média da bacia é de 21,05°C, sendo que as temperaturas mais elevadas ocorrem no mês de novembro, coincidentes com o período chuvoso, e as temperaturas mais baixas coincidem com o período de estiagem (PDRH, 2015b). Nesta região ocorrem três tipos de clima:

AW – É o clima que prevalece na bacia, inverno seco e verão chuvoso, com temperaturas superiores a 18°C no mês mais frio;

Cwa - inverno seco e verão chuvoso, com temperaturas superiores a 22°C no mês mais quente;

Cwb - com temperaturas inferiores a 22°C no mês mais quente.

Segundo Camargos (2004), o período de chuvas na bacia do rio das Velhas vai de outubro à março.

A precipitação média anual varia em torno de 1372,56 mm, sendo o trimestre mais chuvoso na área é representado pelos meses de novembro, dezembro e janeiro, e o trimestre mais seco acontece nos meses de junho, julho e agosto (PDRH, 2015b).

A bacia localiza-se em uma região de Mata Atlântica e de Cerrado, biomas de grande diversidade biológica ricas em espécies endêmicas. São encontradas na bacia as classes vegetacionais de Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Savana e Refúgios Vegetacionais (PDRH, 2015b).

Os principais usuários da bacia são a agricultura irrigada, a indústria e a mineração, a pecuária e o saneamento (PDRH, 2015b).

3.2 Dados Utilizados no Estudo

Neste trabalho foram utilizados os dados consistidos das estações fluviométricas e pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional da Águas – ANA, obtidos através do banco de dados do portal *Hidroweb*.

Para o estudo da regionalização foram utilizados os dados consistidos de 14 estações fluviométricas (Tabela 2 e Figura 4) e 29 estações pluviométricas (Tabela 3 e Figura 5) localizadas dentro da bacia do rio das Velhas e no seu entorno.

As estações utilizadas neste trabalho são as mesmas do Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no estado de Minas Gerais, realizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos - GPRH e IGAM (2012), que apontou que a bacia do rio das Velhas consiste em uma única região hidrologicamente homogênea. Sendo assim, foi utilizado o mesmo período base adotado no referido estudo, que foi de 1968 a 2005.

Na análise dos dados disponíveis das estações fluviométricas, tanto para critério anual quanto mensal, foram desconsiderados os anos com percentuais de falhas iguais ou superiores a 5% dos dados registrados. Já para o critério mensal, foram desconsiderados os meses com percentuais de falhas iguais ou superiores a 5% dos dados registrados. Estes dados estão apresentados no Apêndice A e B.

Tabela 2 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Estação	Nome da estação	Coordenadas		Área (km ²)
		Latitude	Longitude	
41410000	Jequitiba	19°13'51,96"	44°1'28,92"	7080
41440005	Represa - Jusante	19°22'17,04"	44°09'10,08"	238
41600000	Pirapama	19°0'39,96"	44°2'17,88"	8050
41650002	Ponte do Licínio - Jusante	18°40'22,08"	44°11'38,04"	10700
41818000	Santo Hipólito	18°18'21,96"	44°13'32,88"	16600
41890000	Estação de Curimatai	17°59'47,04"	44°10'39,00"	1420
41940000	Ponte do Bicudo	18°11'26,88"	44°33'20,16"	2080
41990000	Várzea da Palma	17°35'45,96"	44°42'47,88"	26500
41199998	Honório Bicalho - Montante	20°01'28,92"	43°49'26,04"	1550
41250000	Vespasiano	19°41'15,00"	43°55'14,16"	708
41260000	Pinhões	19°42'18,00"	43°48'52,92"	3730
41300000	Taquaraçu	19°39'12,96"	43°41'15,00"	618
41340000	Ponte Raul Soares	19°33'34,92"	43°54'39,96"	4860
41380000	Ponte Preta	19°27'42,84"	43°54'12,96"	563

Figura 4- Localização das estações fluviométricas utilizadas no estudo

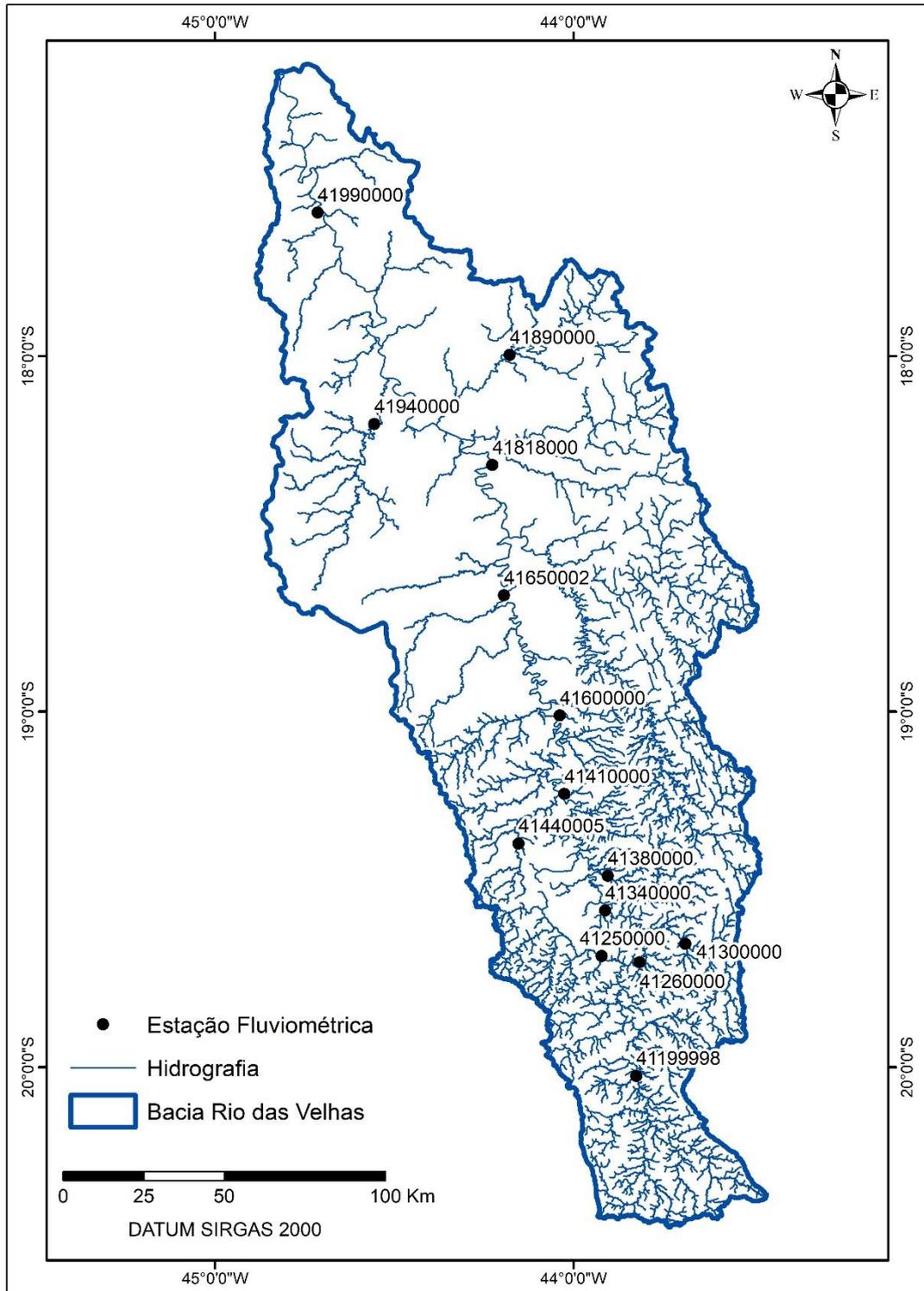
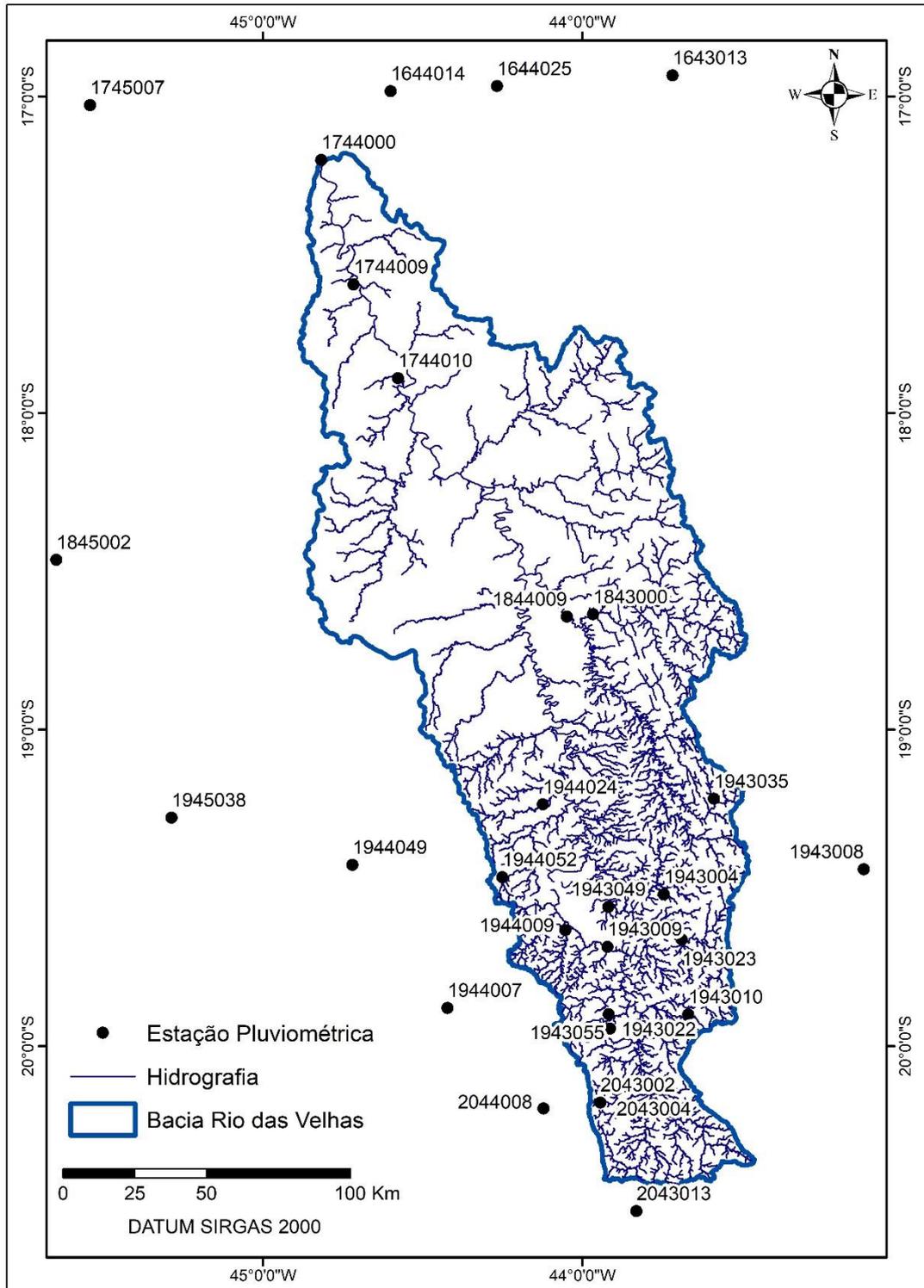


Tabela 3 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Estação	Nome da estação	Coordenadas		Precipitação média anual (mm)
		Latitude	Longitude	
1643013	Pires de Albuquerque	16°56'0,00"	43°43'0,12"	1055
1644014	Lagoa dos Patos	16°59'0,00"	44°36'0,00"	789
1644025	Vista Alegre	16°58'0,12"	44°16'0,12"	1075
1744000	Guaicui	17°12'0,00"	44°49'0,12"	846
1744009	Várzea da Palma	17°35'45,96"	44°42'3,96"	1077
1744010	Lassance	17°53'24,00"	44°34'36,12"	1150
1745007	Porto do Cavalo	17°1'36,84"	45°32'26,16"	1173
1843000	Usina Parauna	18°38'8,16"	43°57'56,88"	1177
1844009	Presidente Juscelino – Jusante	18°38'38,04"	44°2'53,16"	1072
1845002	Fazenda São Felix	18°27'51,84"	45°38'48,12"	1270
1943004	Jaboticatubas	19°31'14,16"	43°44'39,84"	1270
1943008	Santa Maria de Itabira	19°26'25,08"	43°7'6,96"	1244
1943009	Vespasiano	19°41'13,92"	43°55'14,88"	1296
1943010	Caeté	19°54'10,08"	43°39'59,04"	1432
1943022	Caixa de Areia	19°56'42,00"	43°54'45,00"	1690
1943023	Taquaraçu	19°39'50,04"	43°41'17,16"	1294
1943035	Vau da Lagoa	19°13'8,04"	43°35'17,16"	1506
1943049	Ponte Raul Soares	19°33'41,04"	43°55'4,08"	1259
1943055	Belo Horizonte (Horto)	19°54'0,00"	43°55'0,12"	1332
1944007	Fazenda Escola Florestal	19°52'46,92"	44°25'18,12"	1400
1944009	Pedro Leopoldo	19°38'3,84"	44°3'11,88"	1302
1944024	Fazenda Vargem Bonita	19°14'13,92"	44°7'23,16"	1263
1944049	Papagaios	19°25'41,88"	44°43'10,92"	1270
1944052	Sete Lagoas	19°28'0,12"	44°15'0,00"	1366
1945038	Porto das Andorinhas	19°16'42,96"	45°17'8,88"	1291
2043002	Lagoa Grande (MMV)	20°10'45,12"	43°56'34,08"	1601
2043004	Rio do peixe (MMV)	20°8'16,08"	43°53'33,00"	1539
2043013	Congonhas-Linografo	20°31'18,84"	43°49'48,00"	1362
2044008	Melo Franco	20°11'52,08"	44°7'14,88"	1358

Figura 5 - Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo



3.3 Determinação das Vazões Mínimas de referência

Para o cálculo das vazões mínimas $Q_{7,10}$ e Q_{95} , em base anual e mensal, utilizou-se o Sistema Computacional para Análises Hidrológicas - SisCAH 1.0 (Sousa, 2009).

O SisCAH é um *software* desenvolvido, sob a coordenação da Universidade Federal de Viçosa – UFV, para o tratamento de séries históricas de dados hidrológicos, que utiliza a base de dados do Sistema de Informações Hidrológicas – *HidroWeb*.

3.3.1 $Q_{7,10}$

Para obtenção da vazão de referência $Q_{7,10}$ o SisCAH 1.0 trabalha com metodologias de estimativa das funções de densidade de probabilidade - FDP e da obtenção do intervalo de confiança, sendo elas: distribuição de Log-Normal tipo II, Log-Normal tipo III, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III e Weibull.

Para estas distribuições, a magnitude estimada de um evento com período de retorno determinado é obtida pela equação 1:

$$M = \mu + k\sigma \quad (1)$$

em que: M é a magnitude do evento para o período de retorno estabelecido; μ é a média dos eventos; k é o fator de frequência, determinado conforme Kite (1988); e σ é o desvio padrão dos eventos.

Para estimar a $Q_{7,10}$ anual, foram utilizadas as menores médias de sete dias consecutivos (Q_7) observadas em cada ano do período base da série histórica de vazão. Para estimar as $Q_{7,10}$ mensais foi obtido um valor de Q_7 para cada mês de cada ano do período base, assim todos os valores de Q_7 em cada mês compõem uma nova série de eventos. Às séries de eventos de Q_7 , tanto anual quanto mensal, procedeu-se as análises das FDP, sendo selecionada aquela que obteve o menor valor de erro e a amplitude do intervalo de confiança, adotando o período de retorno de 10 anos.

Toda a análise foi realizada no *software* SisCAH 1.0, sendo precedida de uma etapa no programa onde ocorre o pré-processamento dos dados, que possibilita a seleção da porcentagem de falhas e dos anos que não são considerados como período base. Nesta mesma etapa, quando da análise em base mensal, foi possível selecionar a série de dados somente do mês de interesse.

3.3.2 Q₉₅

A Q₉₅ foi determinada para cada estação fluviométrica a partir da curva de permanência, que descreve a relação entre a vazão de um curso d'água e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada apresentado na curva, que no caso da Q₉₅, foram superadas ou igualadas em 95% do tempo (PRUSKI, SILVA e KOEZ, 2006).

Da mesma forma como se procedeu na análise da Q_{7,10}, foi realizado no *software* SisCAH 1.0 o pré-processamento dos dados.

Posteriormente, para obtenção da curva de permanência, os dados da série de vazão são ordenados em ordem decrescente e, determina-se a frequência acumulada associada a cada valor de vazão através da equação 2:

$$f_i = \frac{Nq_i}{NT} \times 100 \quad (2)$$

em que: f_i é a frequência, %; Nq_i é o número de vazões de cada intervalo; e NT é o número total de vazões.

Assim obtém-se a curva de permanência inserindo na ordenada os valores de vazão e na abscissa a frequência acumulada de ocorrência.

3.4 Comparação entre as vazões máximas permissíveis para outorga considerando os critérios usados pelo IGAM e pela ANA em bases anual e mensal

3.4.1 Diferença relativa entre o critério usado pelo IGAM e pela ANA

A partir das estimativas das vazões mínimas de referência, calculadas para as 14 estações fluviométricas, foram comparados os valores obtidos através do critério adotado pela ANA de 70% da Q₉₅ e pelo critério do IGAM, que para a bacia hidrográfica analisada neste estudo adota-se 30% da Q_{7,10}.

Assim foi possível verificar a diferença relativa entre ambos os critérios a partir do volume máximo permissível para a outorga a partir da equação 3:

$$DV_{c\%} = \frac{V_{ANA} - V_{IGAM}}{V_{IGAM}} \times 100 \quad (3)$$

em que: $DV_{c\%}$ é a diferença relativa entre o critério adotado pela ANA e pelo IGAM; V_{ANA} é o volume máximo de água permissível para a outorga pelo critério adotado pela ANA, m^3ano^{-1} ; e V_{IGAM} é o volume máximo de água permissível para a outorga pelo critério adotado pelo IGAM, m^3ano^{-1} .

3.4.2 Diferença relativa entre o critério anual e o critério mensal

Neste estudo foram analisadas as diferenças relativas entre o critério mensal e o critério anual. Esta diferença foi calculada a partir do volume máximo permissível para outorga, partindo-se da premissa da mudança da base anual, atualmente adotada, para o critério mensal, a partir da equação 4:

$$DV_{b\%} = \frac{V_{mensal} - V_{anual}}{V_{anual}} \times 100 \quad (4)$$

em que: $DV_{b\%}$ é a diferença relativa entre o critério mensal e o critério anual; V_{mensal} é o volume máximo permissível para outorga calculado para cada mês, m^3ano^{-1} ; e V_{anual} é o volume máximo permissível para outorga calculado anualmente, m^3ano^{-1} .

3.5 Regionalização de Vazões

Para obtenção das equações de regionalização, foram analisadas as condições mais representativas das vazões para a bacia e os melhores ajustes estatísticos.

3.5.1 Variáveis dependentes

As variáveis dependentes utilizadas para regionalização de vazões na bacia do rio das Velhas foram as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$ e Q_{95} .

3.5.2 Variáveis independentes

As variáveis independentes foram representadas pelas características físicas da bacia e as condições climáticas.

As características fisiográficas e climáticas são consideradas uniformes dentro de uma bacia, possibilitando assim a aplicação da regionalização, sendo então, adotadas como variáveis explanatórias para as modelagens que são determinadoras da vazão em questão (GASQUES et al., 2018).

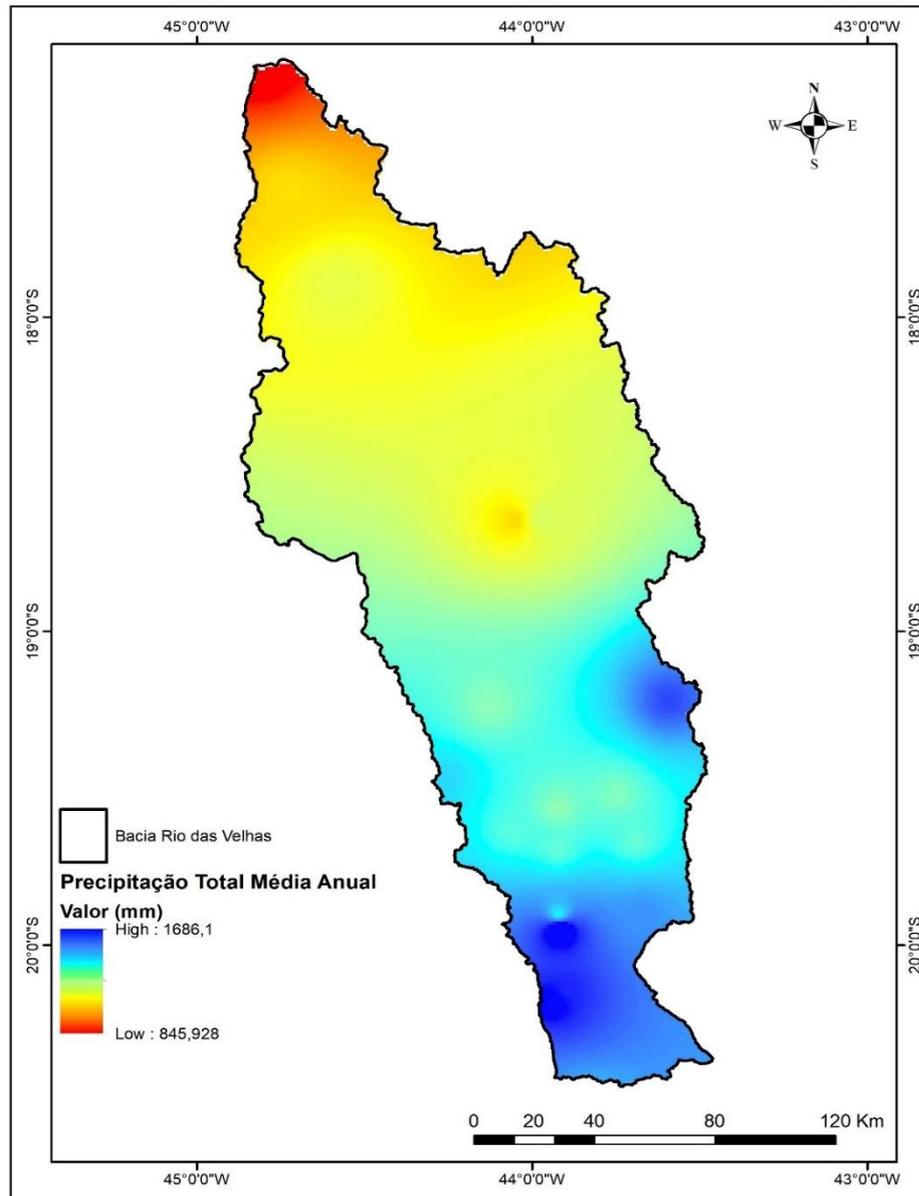
Assim como Catalunha (2004), Bof (2010), Marques (2010), Oliveira (2011), Arai (2014), Moreira (2018), a variável independente utilizada para representar a característica física no estudo foi a área de drenagem, obtida através do banco de dados do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb).

Como característica climática foi utilizada a precipitação média anual de cada sessão da hidrografia correspondente a área de drenagem de cada uma das 14 estações pluviométricas.

O mapa gerado a partir dos dados interpolados da precipitação média anual das estações pluviométricas é apresentado na Figura 6. As informações para elaboração do mapa foram obtidas através da interpolação dos dados das estações pluviométricas pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW).

Foi criada uma rotina computacional lógica dentro do Dinâmica Ego 4.0.11, é que é um *software* desenvolvido sob a coordenação da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, onde, para cada trecho da hidrografia, o algoritmo faz um recorte no mapa gerado a partir da interpolação da precipitação média anual. Um segundo algoritmo extrai os atributos das células do mapa de precipitação que, no caso, foi a precipitação média para cada trecho.

Figura 6 - Mapa de precipitação média anual da bacia do rio das Velhas



A área considerada individualmente e a associação destas duas variáveis independentes foi feita pelo uso da vazão equivalente ao volume precipitado, buscando uma representação bidimensional da relação entre a variável dependente (vazão) e independentes (área e precipitação), conforme sugerido por PRUSKI et al., (2012) e PRUSKI et al., (2013).

Assim, o cálculo da vazão equivalente ao volume precipitado na bacia, utilizando a precipitação média anual e a área de drenagem, foi representado através da equação 5:

$$P_{eq} = \frac{P \cdot A}{k} \quad (5)$$

em que: P_{eq} é a vazão equivalente ao volume precipitado, m^3s^{-1} ; P é a precipitação média anual na área de drenagem considerada, mm; A área de drenagem, km^2 ; e k é o fator de conversão de milímetro para metro e de ano para segundo, o qual é igual a 31.536.

Ainda que a precipitação média anual seja uma variável explicativa do processo de determinação das vazões mínimas, considera-se que esta não reflete efetivamente a contribuição para a formação destas vazões. Assim, Novaes (2005) propôs o conceito de inércia hídrica que é um fator de abstração do processo de formação de vazões que corresponde à precipitação mínima necessária para garantir a recarga do lençol freático.

Neste estudo foi subtraído o valor de 750 mm da precipitação, sendo que tal consideração representa uma melhoria nos processos de regionalização segundo PRUSKI et al., 2013.

Assim como no cálculo da precipitação, utilizou-se uma única variável, considerando a precipitação menos a inércia hídrica de 750 mm, representada pela equação 6:

$$P_{eq750} = \frac{(P-750) A}{k} \quad (6)$$

em que: P_{eq750} é a vazão equivalente ao volume precipitado considerando uma diminuição da inércia hídrica igual a 750 mm, m^3s^{-1} .

Desta forma, as variáveis independentes utilizadas neste estudo foram: a área de drenagem (A), a vazão equivalente ao volume precipitado (P_{eq}) e a vazão equivalente ao volume precipitado considerando uma diminuição da inércia hídrica igual a 750 mm (P_{eq750}).

3.5.3 Método de regionalização

Para a regionalização das vazões da bacia em estudo utilizou-se o Sistema Computacional para Regionalização de Vazões - SisCoRV 1.0 (ANA, 2010), empregando o Método Tradicional o qual foi utilizado no Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no estado de Minas Gerais (IGAM, 2012).

O Método Tradicional envolve a definição prévia das regiões hidrologicamente homogêneas e, posteriormente, a obtenção das equações que permitem associar a vazão com variáveis topológicas e climáticas através de um modelo de regressão.

Os modelos de regressão disponibilizados pelo SisCoRV 1.0 e analisados neste estudo são: Modelo Linear, Modelo Potencial, Modelo Exponencial, Modelo Logarítmico, Modelo Recíproco. Estes modelos são representados pelas equações de 7 a 11 respectivamente:

$$Q_{\text{lin}} = a + b X \quad (7)$$

$$Q_{\text{pot}} = a X^b \quad (8)$$

$$Q_{\text{exp}} = a e^{bx} \quad (9)$$

$$Q_{\text{log}} = a + b \ln X \quad (10)$$

$$Q_{\text{rec}} = (a + bX)^{-1} \quad (11)$$

em que: Q_{lin} é a vazão estimada pelo modelo linear, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; Q_{pot} é a vazão estimada pelo modelo potencial, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; Q_{exp} é a vazão estimada pelo modelo exponencial, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; Q_{log} é a vazão estimada pelo modelo logarítmico, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; Q_{rec} é a vazão estimada pelo modelo recíproco, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; a e b são parâmetros de ajuste dos modelos, adimensionais; e X é a variável explicativa.

3.5.3.1 Critérios para a seleção do modelo de regressão

Após a obtenção das equações de regionalização, através dos modelos de regressão e utilizando as variáveis fisiográficas e climáticas, selecionou-se o modelo que melhor representou as condições hidrológicas da bacia do rio das Velhas, sendo este aplicado para a regionalização das variáveis dependentes consideradas ($Q_{7,10}$ e Q_{95}), para o período anual e mensal.

Para tanto, coeficiente de determinação ajustado (R^2), e o erro padrão e amplitudes dos valores dos resíduos entre o valor observado e o estimado.

3.6 Proposta para minimizar o uso da extrapolação das equações de regionalização obtidas

Para minimizar o risco de superestimava de vazões, que geralmente ocorrem em regiões de montante, foi utilizada a metodologia proposta por Rodrigues (2008). Assim, se a vazão mínima de referência calculada pela equação de regionalização no trecho for superior ao maior

valor de vazão específica observado nas estações fluviométricas, a vazão mínima em questão ($Q_{7,10}$ ou Q_{95}) será estimada pela equação 12:

$$Q_{\text{mín_ajust}} = \frac{q_{\text{mín_lim}} \cdot A}{1000} \quad (12)$$

em que: $Q_{\text{mín_ajust}}$ é a vazão mínima ($Q_{7,10}$ ou Q_{95}) ajustada com base na vazão específica limite, m^3s^{-1} ; $q_{\text{mín_lim}}$ é a vazão específica mínima ($q_{7,10}$ e q_{95}) utilizada como limite para extrapolação da equação de regionalização, $\text{Ls}^{-1}\text{km}^2$; e A é a Área de drenagem, km^2 .

3.7 Avaliação do Impacto da substituição das Vazões Mínimas anuais pelas mensais na bacia hidrográfica do rio das Velhas

Após a obtenção das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$ e Q_{95}) foram comparadas as vazões estimadas em base mensal e anual, a fim de avaliar a diferença relativa da disponibilidade hídrica na vazão outorgável. Esta comparação foi realizada através da equação 13:

$$DH\% = \left(\frac{Q_{\text{mensal}} - Q_{\text{anual}}}{Q_{\text{anual}}} \right) \cdot 100 \quad (13)$$

em que: $DH\%$ é a diferença relativa entre o critério mensal e anual, % ; Q_{mensal} é a vazão estimada em base mensal, m^3s^{-1} ; Q_{anual} é a vazão estimada em base anual, m^3s^{-1} .

Os dados obtidos através desta análise foram divididos em intervalos de classe e espacializados. Nos mapas os rios foram representados por cores de acordo com a classe de diferença relativa que se enquadram, possibilitando uma análise por trecho.

Foi realizada uma análise da diferença relativa entre o critério mensal e anual com sua frequência de ocorrência ao longo da hidrografia, conforme procedimento adotado por Bof (2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comparação entre as vazões máximas permissíveis para outorga considerando os critérios usados pelo IGAM e pela ANA em bases anual e mensal

Para as 14 estações fluviométricas foram estimadas as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$ e Q_{95} na base anual e mensal, sendo os valores apresentados nos Apêndices C e D.

Os valores estimados estão representados nas Figuras 7 a 20, onde foram analisadas as variações de $Q_{7,10}$ e Q_{95} ao longo do ano e em base mensal, possibilitando a comparação dos valores e dos diferentes critérios para a concessão de outorga.

Analisando as figuras 7 a 20 verificou-se que houve um comportamento similar em todas as estações estudadas.

Nas 14 estações pode-se evidenciar que a vazão mínima de referência Q_{95} anual é superior a $Q_{7,10}$ anual, conseqüentemente, o critério adotado pela ANA para outorga, de 70% da Q_{95} , é maior do que o critério para outorga adotado pelo IGAM, 30% da $Q_{7,10}$.

Observando a figura 7, que representa os valores da estação Jequitibá (41410000), a título de exemplo para a análise, foi possível verificar que a Q_{95} anual ($28,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) é 24,57% superior à $Q_{7,10}$ anual ($23,12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), fazendo com que o valor de 70% da Q_{95} seja 2,9 vezes maior do que os 30% permitido pelo critério da $Q_{7,10}$.

Assim, pode-se evidenciar que o critério adotado de 70% da Q_{95} é menos restritivo do que os 30% permitidos pelo critério da $Q_{7,10}$, assim como referenciado por Moreira (2006) para a sub-bacia do ribeirão Entre Ribeiros e Bof (2010) para a bacia do rio Paracatu a montante da confluência com o ribeirão Entre Ribeiros.

Analisando a utilização do critério correspondente a 70% da Q_{95} anual, foi possível verificar que este é restritivo nos meses de maior disponibilidade hídrica (dezembro a abril), e permissivo nos meses com menor disponibilidade (maio a outubro), podendo levar um alto risco de ocorrência de captações acima da disponibilidade hídrica. Mas, adotando como critério a utilização de 70% da Q_{95} em base mensal esse risco diminui de forma expressiva.

De uma forma geral, aproximadamente, 86% das estações apresentaram vazões $Q_{7,10}$ mensais superiores a vazões $Q_{7,10}$ anual, caracterizando assim o potencial do aumento da vazão permissível para outorga, fato observado em estudos realizados para outras bacias por Catalunha, 2004; Euclides, Ferreira e Filho, 2006; Bof, 2010; Marques, 2010; Silva, Marques e Lemos, 2011; Silva, Silva e Moreira, 2015; Moreira, 2018.

Em relação a Figura 7, foi possível verificar que a $Q_{7,10}$ mensal é superior à anual, como, por exemplo no período de dezembro a abril, que variou de 68% a 113%, sendo o maior valor alcançado no mês de dezembro, e menos expressivo em outros meses, como setembro e outubro que variou de 4,5% a 16%, sendo o menor valor em setembro, que mesmo assim, demonstra um potencial aumento na disponibilidade de água. Entretanto, o mês de agosto é o único mês em que a $Q_{7,10}$ mensal é inferior a $Q_{7,10}$ anual, em $0,62 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo está uma diferença mínima perante aos demais meses em que o acréscimo chega a uma vazão de $26,27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Além disso, os cálculos das vazões sazonais demonstram o real potencial de disponibilidade.

Além disso é possível verificar que ambos os critérios analisados, em base anual, limitam o uso de água nos períodos em que há maior disponibilidade hídrica e são permissivos nos meses de menor disponibilidade hídrica.

Figura 7 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Jequitibá (41410000)

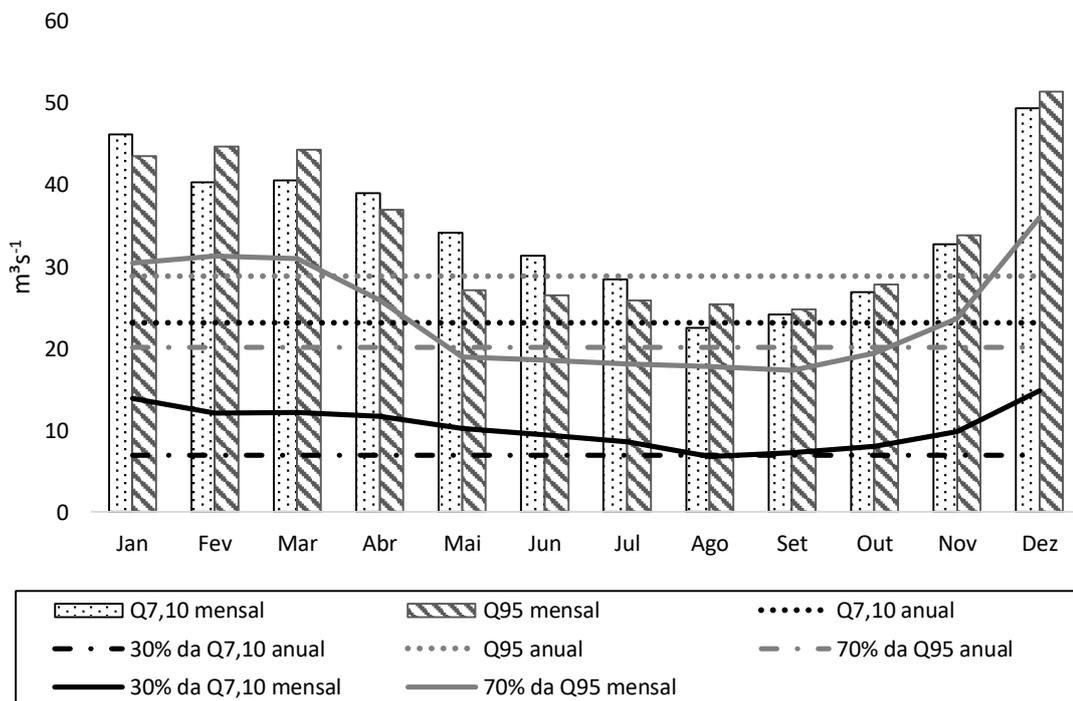


Figura 8 - Q_{7,10} e Q₉₅, anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Represa - jusante (41440005)

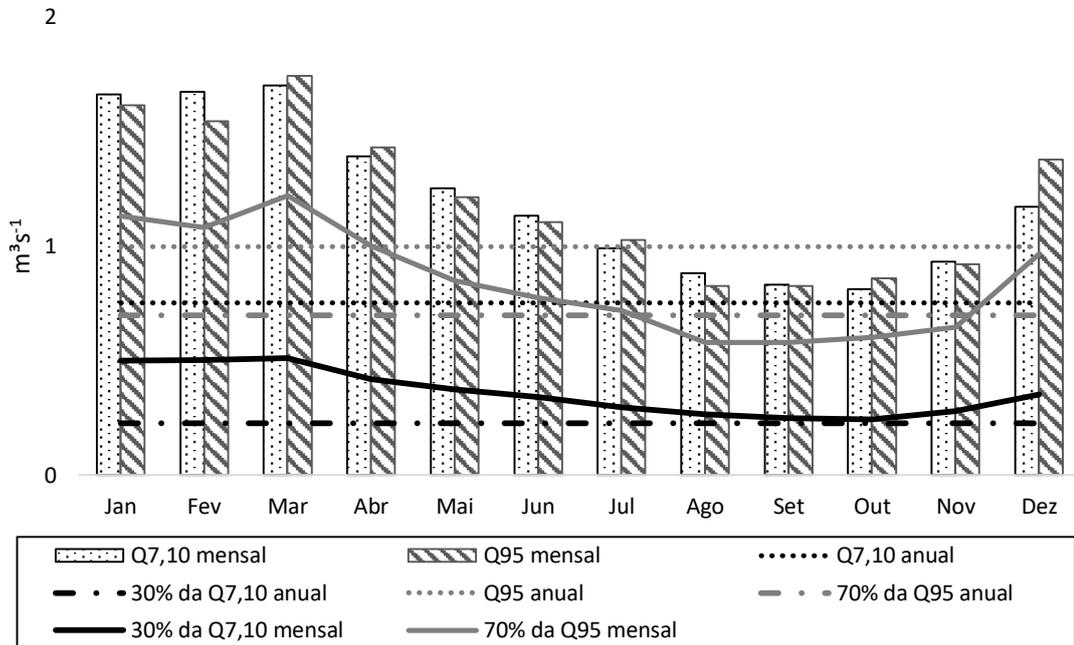


Figura 9 - Q_{7,10} e Q₉₅, anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Pirapama (41600000)

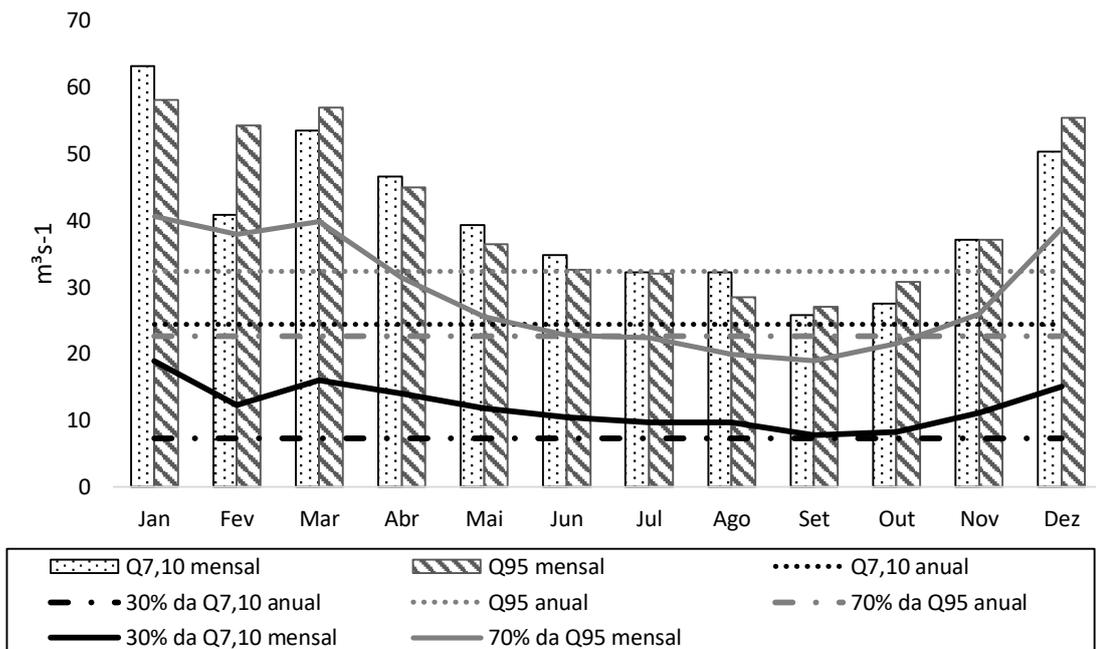


Figura 10 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Ponte do Licínio - jusante (41650002)

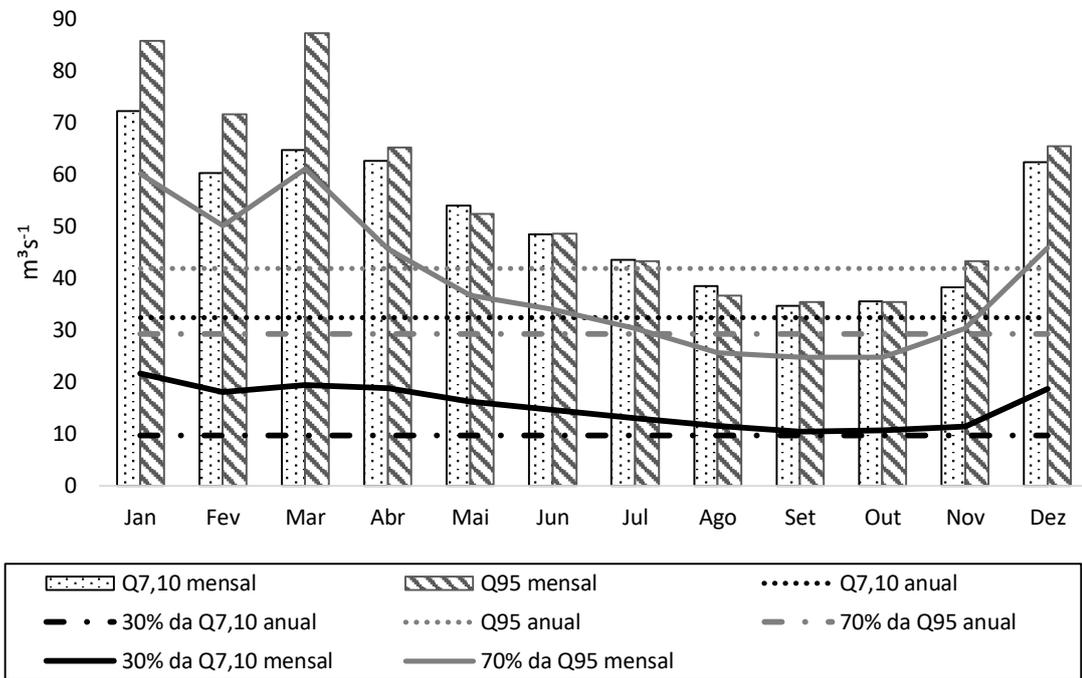


Figura 11 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Santo Hipólito (ANA/CEMIG) (41818000)

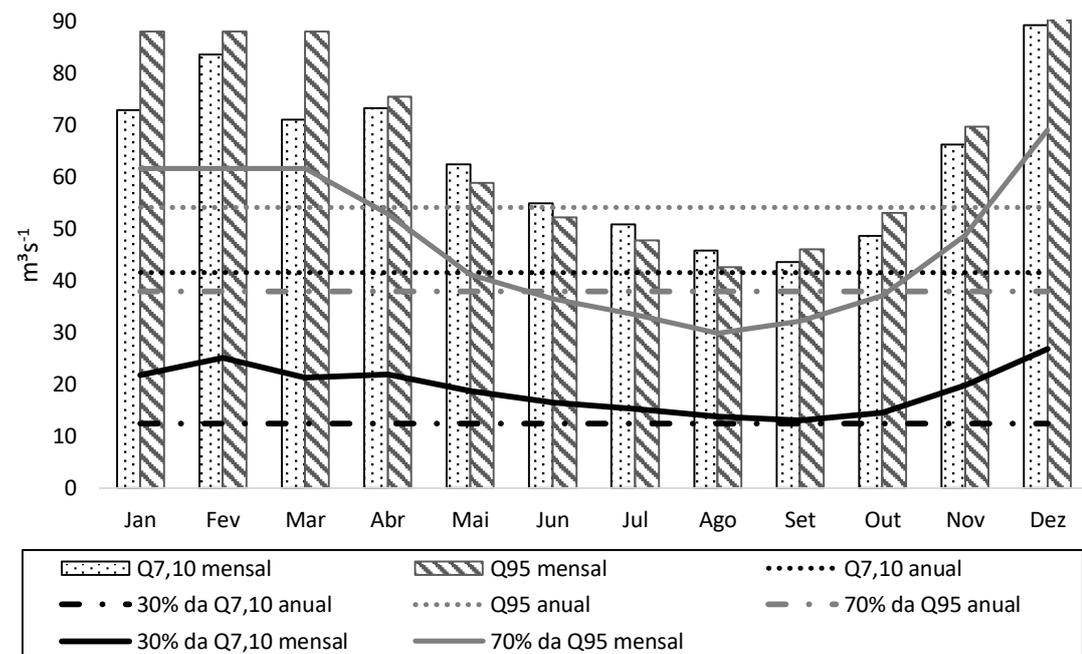


Figura 12 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Estação de Curimataí (41890000)

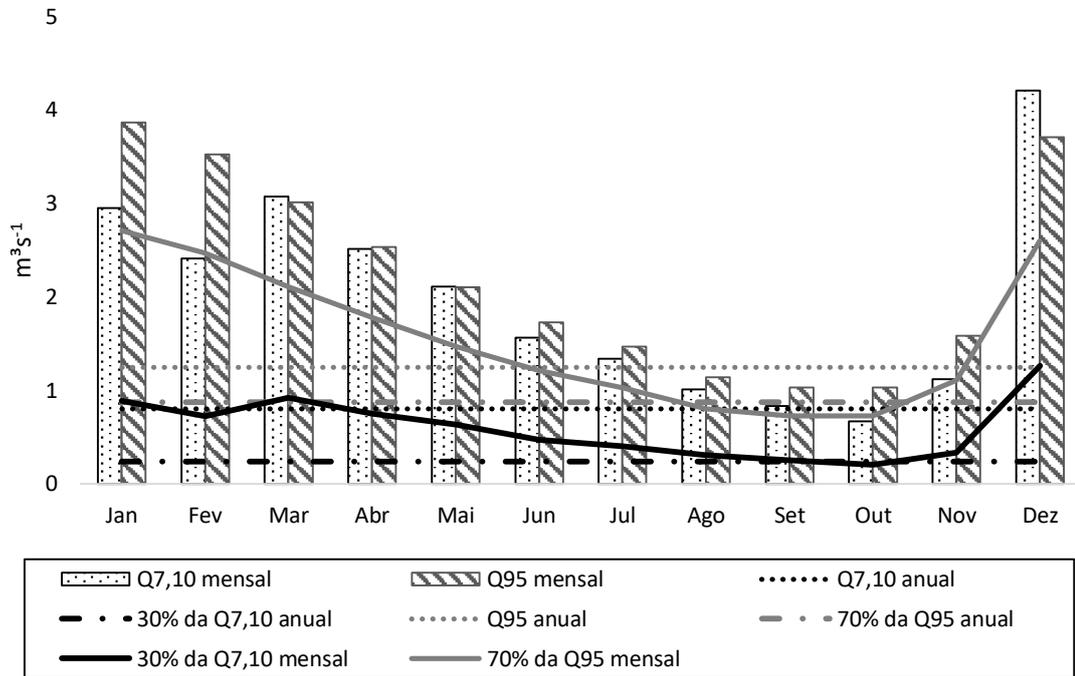


Figura 13 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Ponte do Bicudo (41940000)

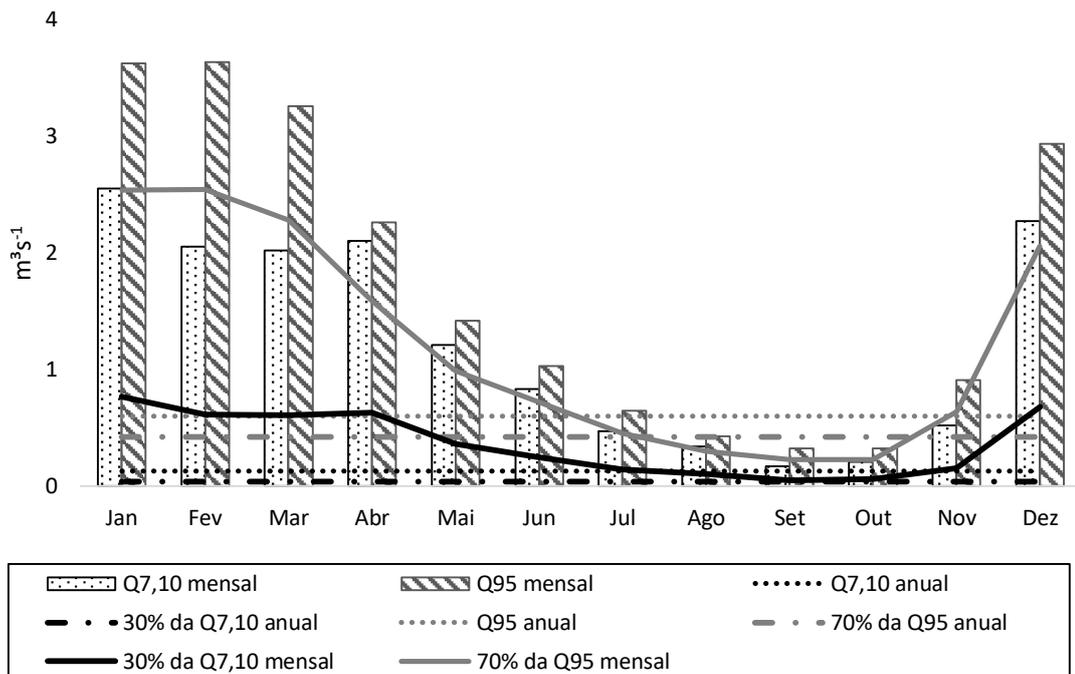


Figura 14 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Várzea da Palma (41990000)

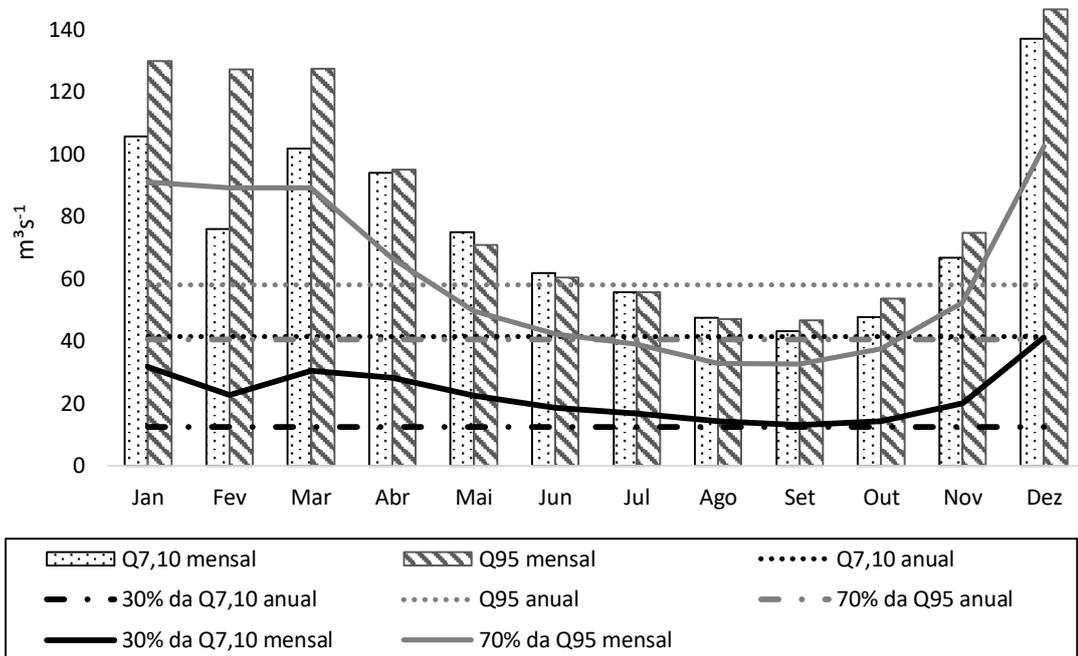


Figura 15 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Honório Bicalho - montante (41199998)

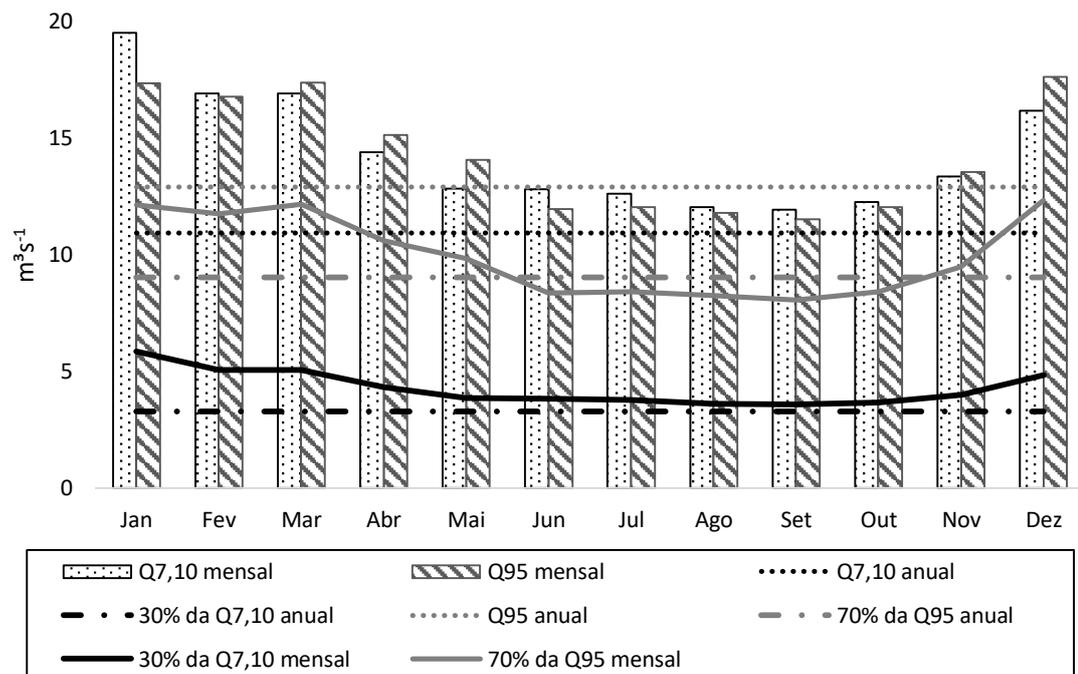


Figura 16 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Vespasiano (41250000)

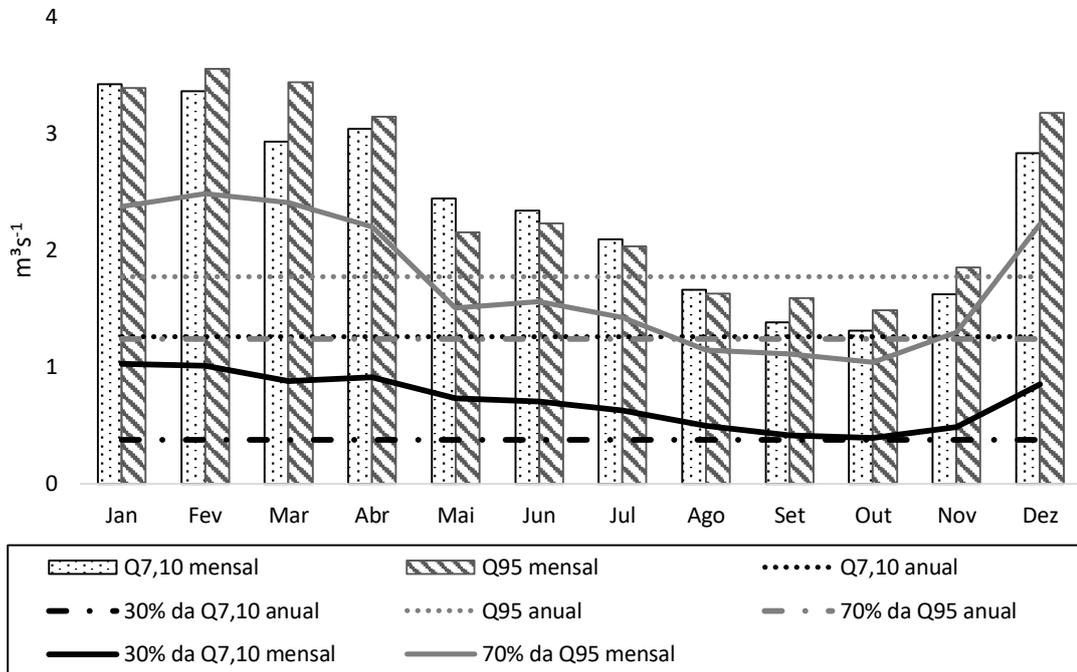


Figura 17 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Pinhões (41260000)

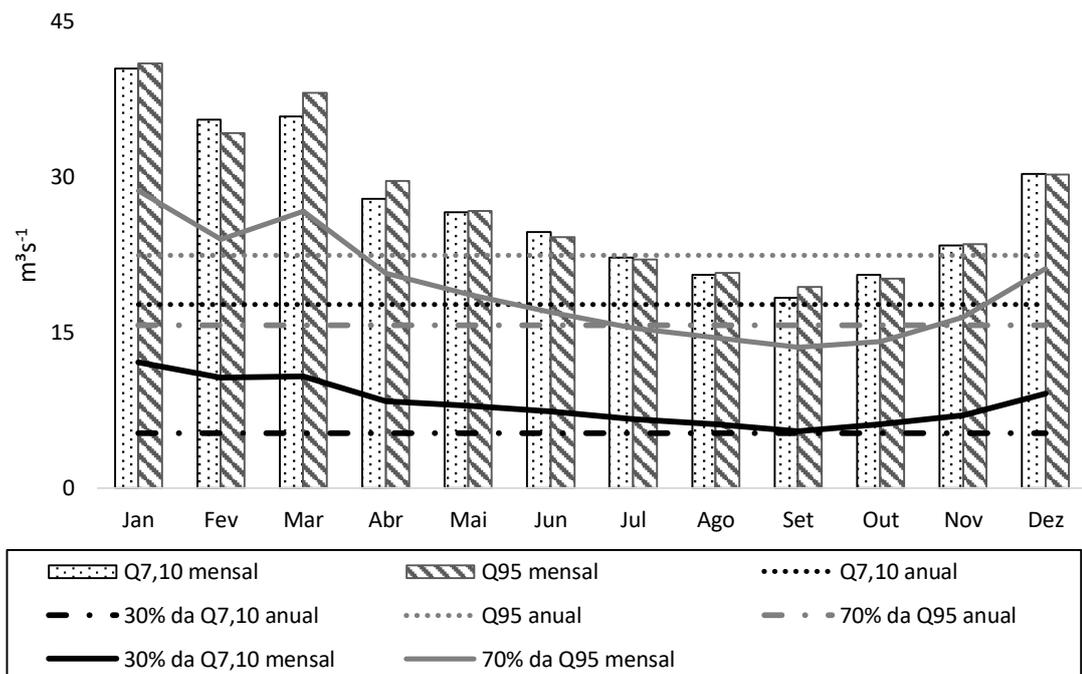


Figura 18 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Taquaraçu (41300000)

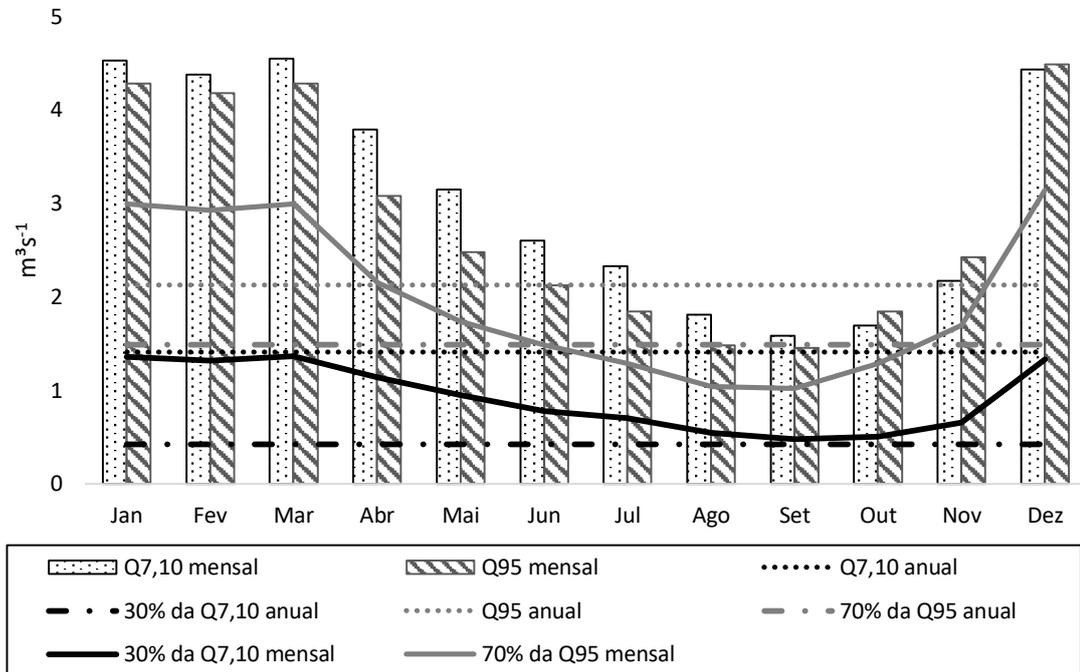


Figura 19 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Ponte Raul Soares (41340000)

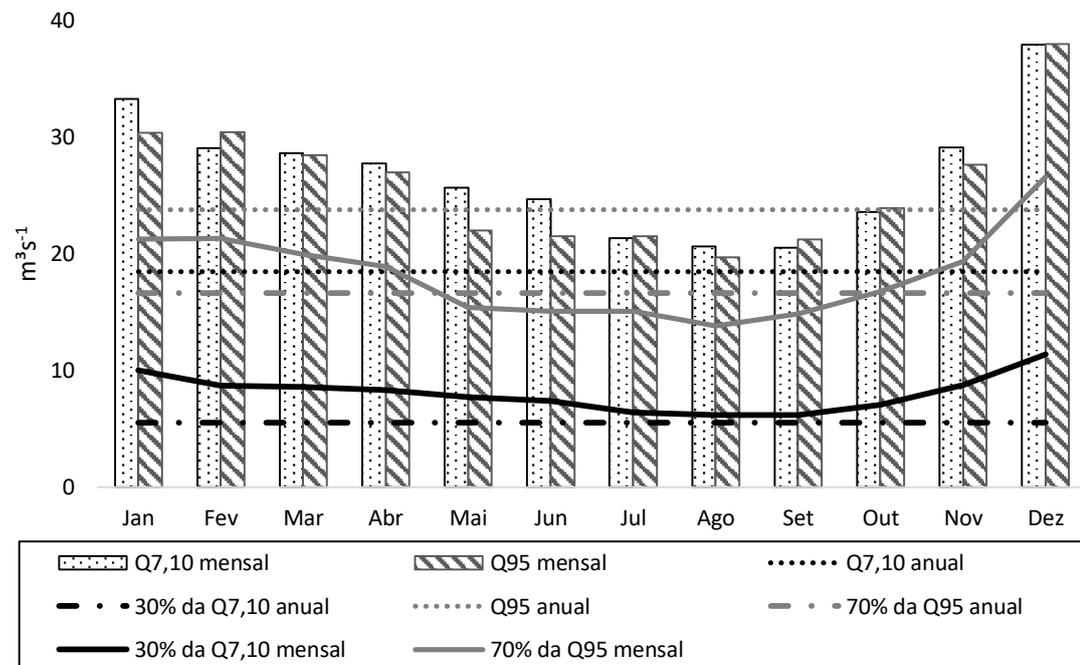
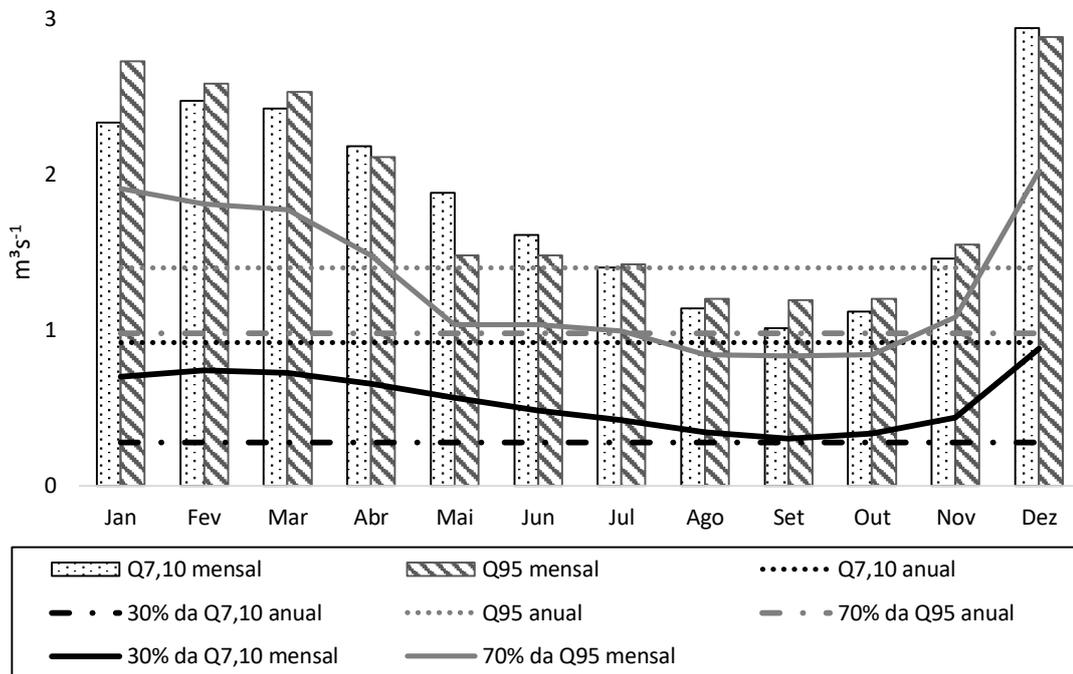


Figura 20 - $Q_{7,10}$ e Q_{95} , anuais e sazonais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Ponte Preta (41380000)



Na Tabela 4 são apresentados os valores referentes à diferença relativa percentual ($DV_{c\%}$), entre os critérios adotados pelo IGAM (30% da $Q_{7,10}$) e da ANA (70% da Q_{95}), onde foi possível observar a amplitude de variação desta diferença entre as vazões calculadas em base mensal e anual para cada uma das quatorze estações fluviométricas utilizadas neste estudo.

Ao analisar os valores obtidos em base anual é possível verificar que o volume permissível para a outorga varia entre 175,3% a 978,7% o valor de $DV_{c\%}$, sendo o menor valor observado na estação 41199998 e o maior valor na estação 41940000. É possível verificar que a diferença dos valores obtidos em base mensal é menor, variando de 114,09 a 228,70%, sendo o menor valor observado na estação 41300000 e o maior valor na estação 41940000, este fato é atenuado pelas diferenças dos valores obtidos de $Q_{7,10}$ e Q_{95} em base mensal serem menores do que aquelas correspondentes aos valores anuais. Assim, os resultados demonstram o quanto a $Q_{7,10}$ é restritiva em relação a Q_{95} .

A diferença dos valores obtidos em base mensal serem inferiores a anual também foi evidenciada por Bof (2010), que trabalhando na bacia do rio Paracatu, encontrou valores de $DV_{c\%}$ anuais variando entre 211,1% a 282,3%, e mensais variando entre 110,5% a 152,8%, demonstrando, também, que o volume permissível para a outorga pelo critério da ANA é superior ao volume permissível pelo critério do IGAM.

Os valores de $DVc\%$ demonstram que adotando a Q_{95} como vazão de referência nestas estações seria possível obter valores superiores para outorgar, tanto na base anual quanto na mensal, influenciando em um aumento da parcela outorgável para aquele trecho em questão, e consequentemente reduzir um potencial conflito pelo uso da água.

Nota-se que a estação 41940000 apresenta uma variação de $DVc\%$ superior as demais estações, tanto para base anual quanto para base mensal. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato da relação $q_{95}/q_{7,10}$ dessa estação ser, aproximadamente, 31 vezes menor do que essa relação para as outras estações que tiveram uma média de 1,31, demonstrando que ela tem um comportamento anômalo em relação as outras estações.

Tabela 4 - Diferença relativa percentual ($DVc\%$) do volume total anual de água permissível para outorga utilizando os critérios adotados pelo IGAM e pela ANA, em bases anual e mensal, nas quatorze estações fluviométricas analisadas no estudo

Estação	Base Anual (%)	Base Mensal (%)
41410000	190,7	131,34
41440005	209,9	134,27
41600000	209,6	138,47
41650002	201,5	154,22
41818000	203,9	147,39
41890000	263,4	162,16
41940000	978,7	228,70
41990000	227,2	164,81
41199998	175,3	132,65
41250000	227,8	143,49
41260000	196,6	135,82
41300000	251,7	114,09
41340000	200,7	125,78
41380000	255,1	137,45

Na Tabela 5 são apresentados os valores da diferença relativa percentual ($DV_{b\%}$), que calculou a diferença relativa entre o critério mensal e o critério anual para as quatorze estações fluviométricas. Trata-se do volume de água permissível para a outorga quando da mudança dos critérios do IGAM e da ANA, de uma base anual para uma base mensal.

Assim como evidenciado por Euclides, Ferreira e Filho (2006), Bof (2010), Oliveira (2011) e Moreira (2018), a análise realizada dos valores obtidos permite evidenciar um aumento do volume de água permissível para a outorga quando da alteração da base anual para a base mensal.

Em ambos os critérios analisados resultou em um aumento expressivo, sendo que no critério adotado pelo IGAM o aumento do volume foi maior do que no critério adotado pela ANA.

Considerando o critério adotado pelo IGAM, a mudança da base anual para a base mensal permitiria um aumento do volume que varia entre 30,8% a 973,72%, sendo o menor valor observado na estação 41199998 e o maior valor na estação 41940000. Já esta mesma mudança aplicada considerando o critério adotado pela ANA permitiria um aumento do volume para outorga variando entre 9,2% a 198,9%, sendo o menor valor observado na estação 41340000 e o maior valor na estação 41940000.

A variação de $DV_{b\%}$ para outorga considerando o critério adotado pela ANA é menor visto que em alguns meses, como no período de maio a outubro, a Q_{95} mensal é inferior à Q_{95} anual.

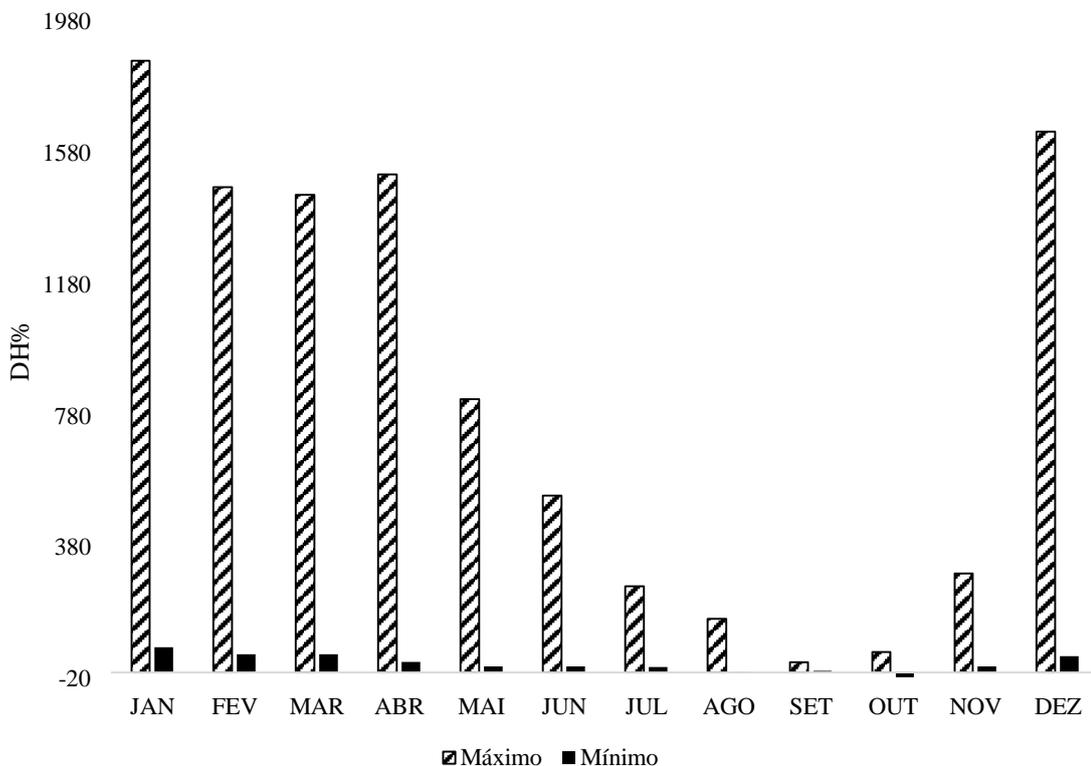
Tabela 5 - Diferença relativa percentual ($DV_{b\%}$) do volume total anual permissível para outorga entre os critérios mensal e anual, considerando os critérios adotados pelo IGAM e pela ANA, nas quatorze estações fluviométricas analisadas no estudo

Estação	Critério IGAM (%)	Critério ANA (%)
41410000	49,8	19,2
41440005	60,1	21,0
41600000	65,0	27,1
41650002	56,2	32,7
41818000	53,8	24,3
41890000	145,4	76,9
41940000	973,72	198,9
41990000	81,7	47,2
41199998	30,8	10,5
41250000	88,0	39,6
41260000	53,9	22,3
41300000	118,7	33,2
41340000	45,5	9,2
41380000	98,9	33,0

Na Figura 21 é apresentado o gráfico da amplitude de variação ($DH\%$) da diferença relativa entre as vazões $Q_{7,10}$ mensal e anual e na Figura 22 é apresentado o gráfico da amplitude de variação ($DH\%$) da diferença relativa entre as vazões Q_{95} mensal e anual, ambas considerando as quatorze estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Pela análise da Figura 21 é possível verificar que os únicos meses em que ocorreram valores de $Q_{7,10}$ mensais menores do que os de $Q_{7,10}$ anual foram agosto e outubro, sendo este comportamento evidenciado no mês de agosto apenas na estação de Jaquitibá (41410000), que apresentou $23,12 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ referente a $Q_{7,10}$ anual e $22,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ referente a $Q_{7,10}$ mensal, e no mês de outubro apenas na estação de Curimatai (41890000), que apresentou $0,8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ referente a $Q_{7,10}$ anual e $0,67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ referente a $Q_{7,10}$ mensal, ocasionando em uma redução da vazão máxima permissível para outorga neste mês, inferindo que neste período deverá ser outorgado o menor valor. Nas demais condições é possível verificar que os valores de $Q_{7,10}$ mensal foram superiores aos de $Q_{7,10}$ anual, evidenciando assim o potencial do aumento da vazão permissível para a outorga. Os valores de $DH\%$ das quatorze estações fluviométricas para $Q_{7,10}$ estão disponíveis no Apêndice E.

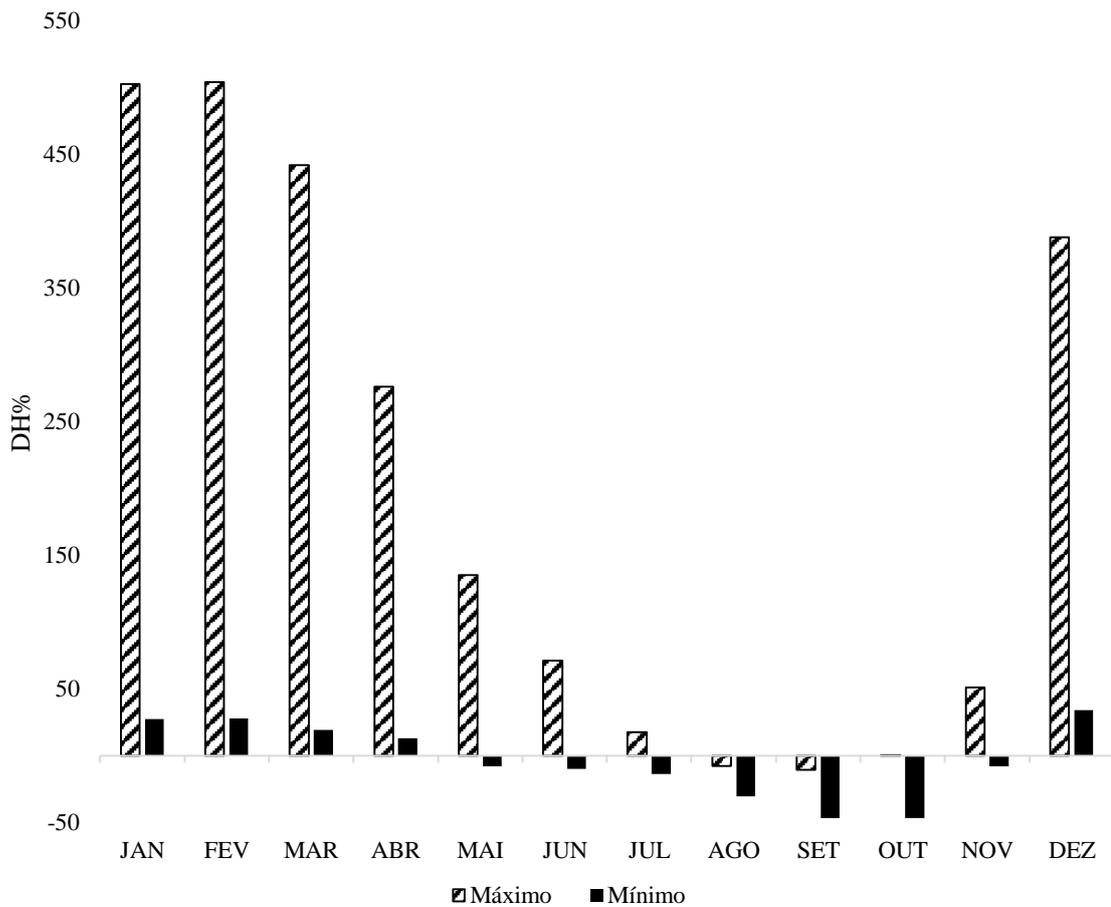
Figura 21 - Amplitude de variação ($DH\%$), considerando as quatorze estações fluviométricas utilizadas no estudo, da diferença relativa entre as vazões $Q_{7,10}$ mensais e anual



Na análise da Figura 22, que representa a amplitude de variação ($DH\%$) para Q_{95} , pode ser verificado que no período de dezembro a abril houve um aumento da vazão permissível para a outorga, mas, entre os meses de maio a novembro foram obtidos valores negativos de diferença relativa, que embora implique em uma redução da vazão máxima permissível para

este critério, essa traz uma segurança ambiental maior uma vez que se aproxima dos valores da própria $Q_{7,10}$ mensal. Os valores de $DH\%$ das quatorze estações fluviométricas para Q_{95} estão disponíveis no Apêndice F.

Figura 22 - Amplitude de variação ($DH\%$), considerando as quatorze estações fluviométricas utilizadas no estudo, da diferença relativa entre as vazões Q_{95} mensais e anual



Foi possível evidenciar que a base anual, que como premissa é adotado um valor único para todo ano, impossibilita um maior acesso aos recursos hídricos em períodos de maior disponibilidade hídrica. Em algumas bacias a concessão dos pedidos de outorga tem sido limitada devido a indisponibilidade de atendimento da demanda conforme trabalhos apresentados por Braga, Barbosa e Nakayama (1998), Tucci, Hespanhol e Netto (2000), Silva et al. (2002), Victorino (2002), Lima et al. (2004). Castro et al. (2004), Euclides, Ferreira e Filho (2006), Oliveira (2011).

Assim, este estudo demonstra que adotando a base mensal será possível um ganho expressivo da vazão máxima permissível para a outorga, na bacia estudada, principalmente para o critério adotados pelo IGAM (30% da $Q_{7,10}$).

4.2 Avaliação do impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mensais ao longo da hidrografia

4.2.1 Equações de regionalização

A análise das vazões de referência observadas e as estimadas pelo método tradicional, para cada uma das estações fluviométricas usadas no estudo, indicou que os modelos exponencial, logarítmico e recíproco apresentaram comportamentos anômalos, como vazões negativas e estimativas superiores ao dobro da vazão observada, ou, inferiores a metade do valor observado em mais de 50% das estações. Assim, os resultados obtidos através destes modelos foram descartados.

Já o modelo linear e potencial apresentaram comportamento semelhantes ao da vazão observada, sendo assim, foram analisados os melhores ajustes estatísticos, com base no maior coeficiente de determinação ajustado (R^2), e nos menores valores de erro padrão e amplitudes dos valores dos resíduos entre o valor observado e o estimado.

Analisando de forma conjunta todos os índices estatísticos, que foram testados para todas as variáveis explicativas (Área, Peq e Peq_{750}), indicou que os resultados obtidos neste trabalho, assim como os obtidos no estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no estado de Minas Gerais por GPRH e IGAM (2012) para a bacia do rio das Velhas, demonstram que o modelo potencial apresentou o melhor desempenho com a utilização da variável explicativa Peq_{750} .

Os valores dos índices estatísticos aplicados para a seleção da equação de regionalização e da variável explicativa estão apresentados na Tabela do Apêndice G.

Assim, foram selecionadas as equações apresentadas na Tabela 6 para regionalização da $Q_{7,10}$ e na Tabela 7 para regionalização da Q_{95} .

Tabela 6 – Equações utilizadas para a regionalização da área de estudo das $Q_{7,10}$ sazonais e anual

$Q_{7,10}$	Equação
Anual	$Q_{7,10} = 0,055078 \times P_{eq750}^{1,16303}$
Janeiro	$Q_{7,10} = 0,23581 \times P_{eq750}^{1,04937}$
Fevereiro	$Q_{7,10} = 0,24756 \times P_{eq750}^{1,00494}$
Março	$Q_{7,10} = 0,23629 \times P_{eq750}^{1,02770}$
Abril	$Q_{7,10} = 0,19731 \times P_{eq750}^{1,04964}$
Mai	$Q_{7,10} = 0,16006 \times P_{eq750}^{1,05815}$
Junho	$Q_{7,10} = 0,13332 \times P_{eq750}^{1,06977}$
Julho	$Q_{7,10} = 0,10760 \times P_{eq750}^{1,08885}$
Agosto	$Q_{7,10} = 0,08168 \times P_{eq750}^{1,11938}$
Setembro	$Q_{7,10} = 0,06386 \times P_{eq750}^{1,14706}$
Outubro	$Q_{7,10} = 0,06036 \times P_{eq750}^{1,17553}$
Novembro	$Q_{7,10} = 0,08490 \times P_{eq750}^{1,16004}$
Dezembro	$Q_{7,10} = 0,20145 \times P_{eq750}^{1,08442}$

Tabela 7 – Equações utilizadas para a regionalização da área de estudo das Q_{95} sazonais e anual

Q_{95}	Equação
Anual	$Q_{95} = 0,100882 \times P_{eq750}^{1,10802}$
Janeiro	$Q_{95} = 0,24475 \times P_{eq750}^{1,05646}$
Fevereiro	$Q_{95} = 0,23975 \times P_{eq750}^{1,05049}$
Março	$Q_{95} = 0,23153 \times P_{eq750}^{1,06189}$
Abril	$Q_{95} = 0,19114 \times P_{eq750}^{1,05731}$
Mai	$Q_{95} = 0,14611 \times P_{eq750}^{1,06328}$
Junho	$Q_{95} = 0,13188 \times P_{eq750}^{1,06208}$
Julho	$Q_{95} = 0,11145 \times P_{eq750}^{1,07963}$
Agosto	$Q_{95} = 0,08320 \times P_{eq750}^{1,11318}$
Setembro	$Q_{95} = 0,07605 \times P_{eq750}^{1,12716}$
Outubro	$Q_{95} = 0,07473 \times P_{eq750}^{1,14881}$
Novembro	$Q_{95} = 0,10378 \times P_{eq750}^{1,13591}$
Dezembro	$Q_{95} = 0,21502 \times P_{eq750}^{1,08289}$

Após a obtenção das equações de regionalização foi possível estimar as vazões mínimas de referência para todos os trechos da hidrografia da bacia do rio das Velhas.

Com o objetivo minimizar o uso da extrapolação das equações de regionalização avaliou-se o comportamento físico das vazões mínimas de referência obtidas por meio das equações de regionalização, tanto na base anual quanto na base mensal. Os resultados obtidos demonstraram que as equações representam o comportamento fisiográfico da bacia, não sendo necessário a utilização da equação de ajuste.

4.2.2 Avaliação do impacto da substituição da $Q_{7,10}$ anual pela $Q_{7,10}$ mensal ao longo da hidrografia

Para a análise do impacto da substituição da $Q_{7,10}$ anual pela $Q_{7,10}$ mensal ao longo da hidrografia da bacia do rio das Velhas foram elaborados os mapas, apresentados nas figuras 23 a 28, que possibilitou a avaliação da diferença relativa entre a vazão mínima calculada em base mensal e a vazão mínima calculada em base anual.

De uma forma geral, foi possível verificar que houve um aumento expressivo da $DH\%$ em todos os meses, evidenciando assim um ganho na disponibilidade hídrica nesta bacia, ocorrendo variações dos valores de acordo com cada mês analisado e da localização do curso d'água.

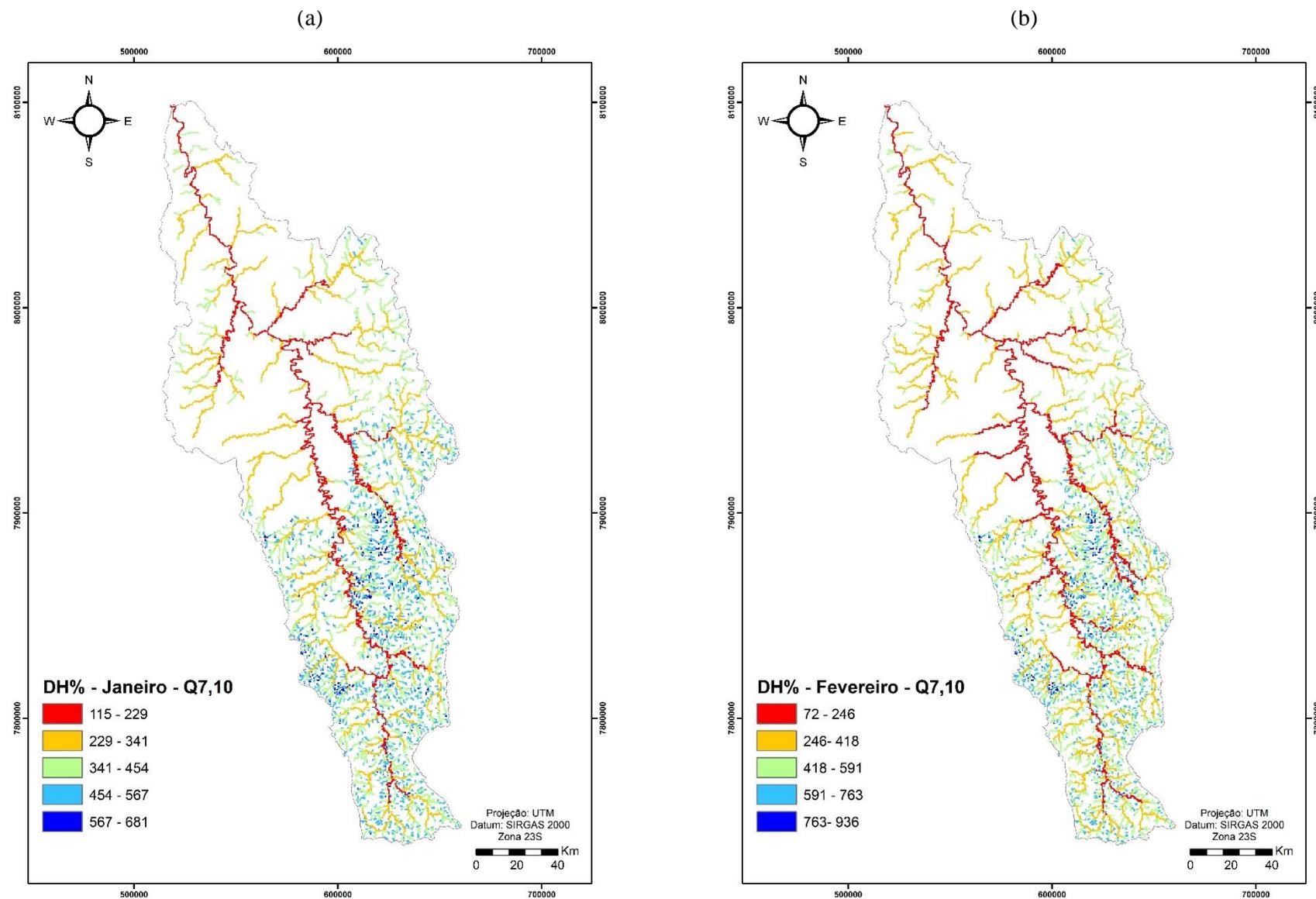
Figura 23 – Diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de janeiro e a $Q_{7,10}$ anual (a) e a diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de fevereiro e a $Q_{7,10}$ anual

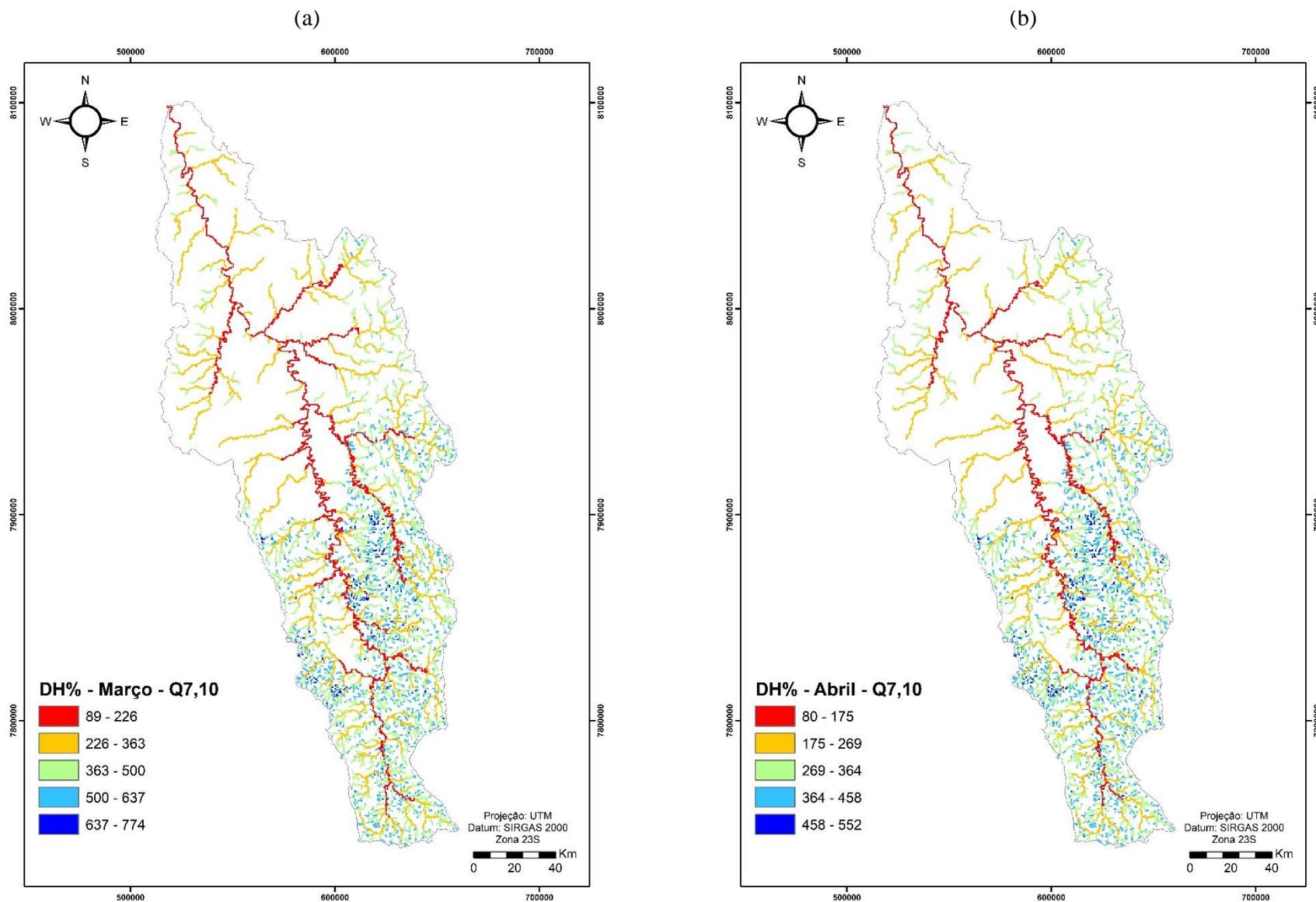
Figura 24 – Diferença relativa (DH%) entre a Q_{7,10} de março e a Q_{7,10} anual (a) e a diferença relativa entre a Q_{7,10} de abril e a Q_{7,10} anual

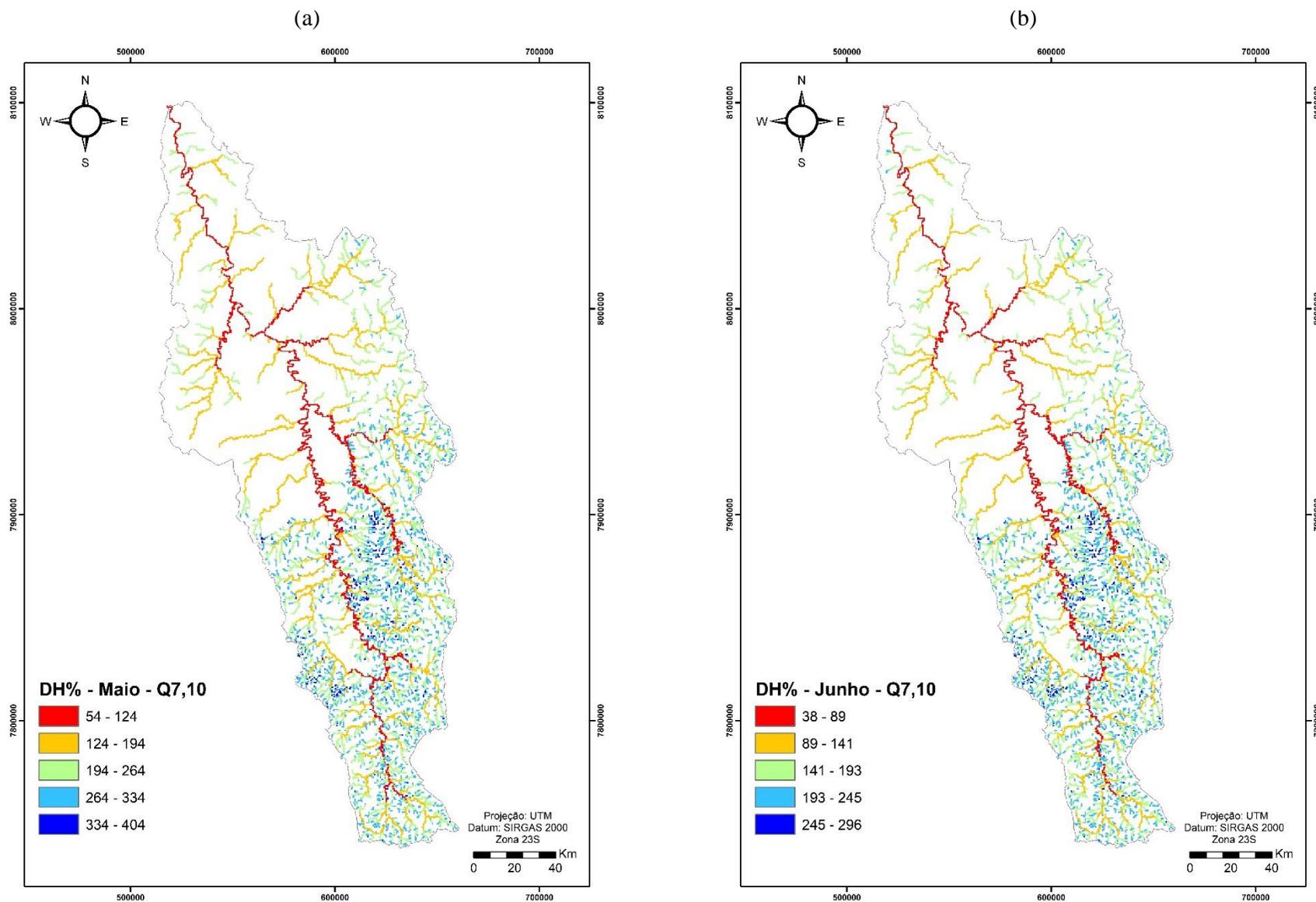
Figura 25 – Diferença relativa (DH%) entre a $Q_{7,10}$ de maio e a $Q_{7,10}$ anual (a) e a diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de junho e a $Q_{7,10}$ anual

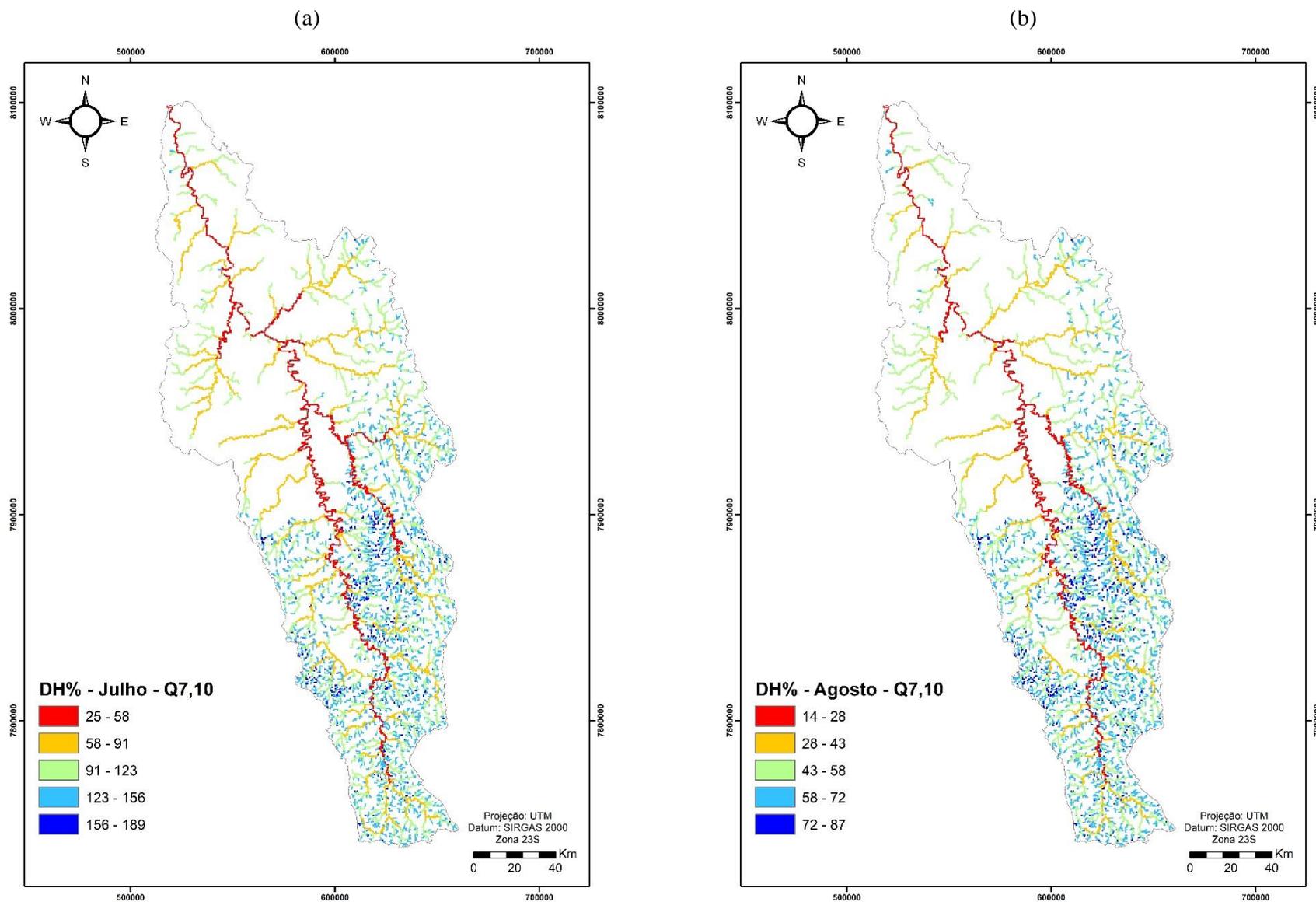
Figura 26 - Diferença relativa (DH%) entre a Q_{7,10} de julho e a Q_{7,10} anual (a) e a diferença relativa entre a Q_{7,10} de agosto e a Q_{7,10} anual

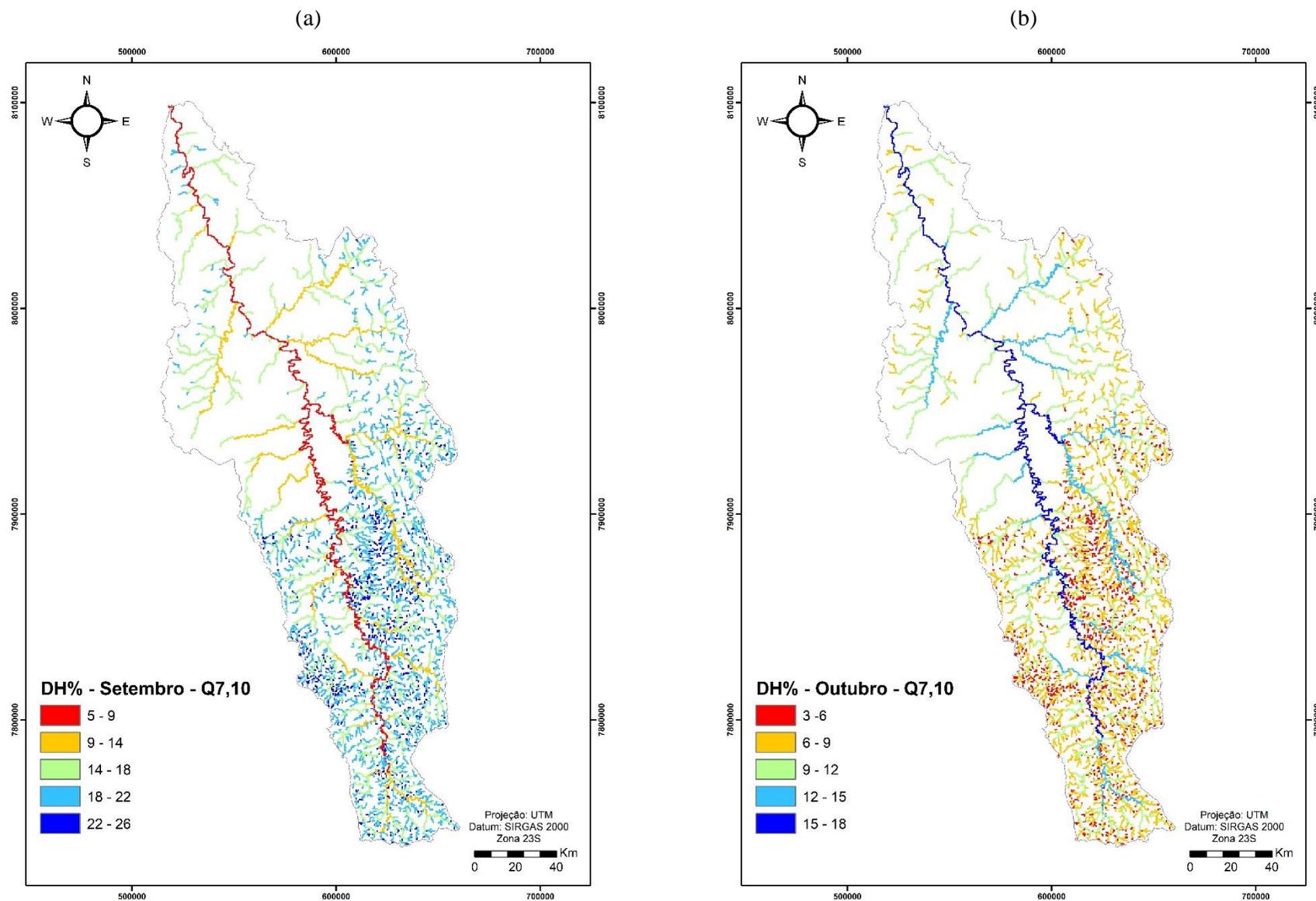
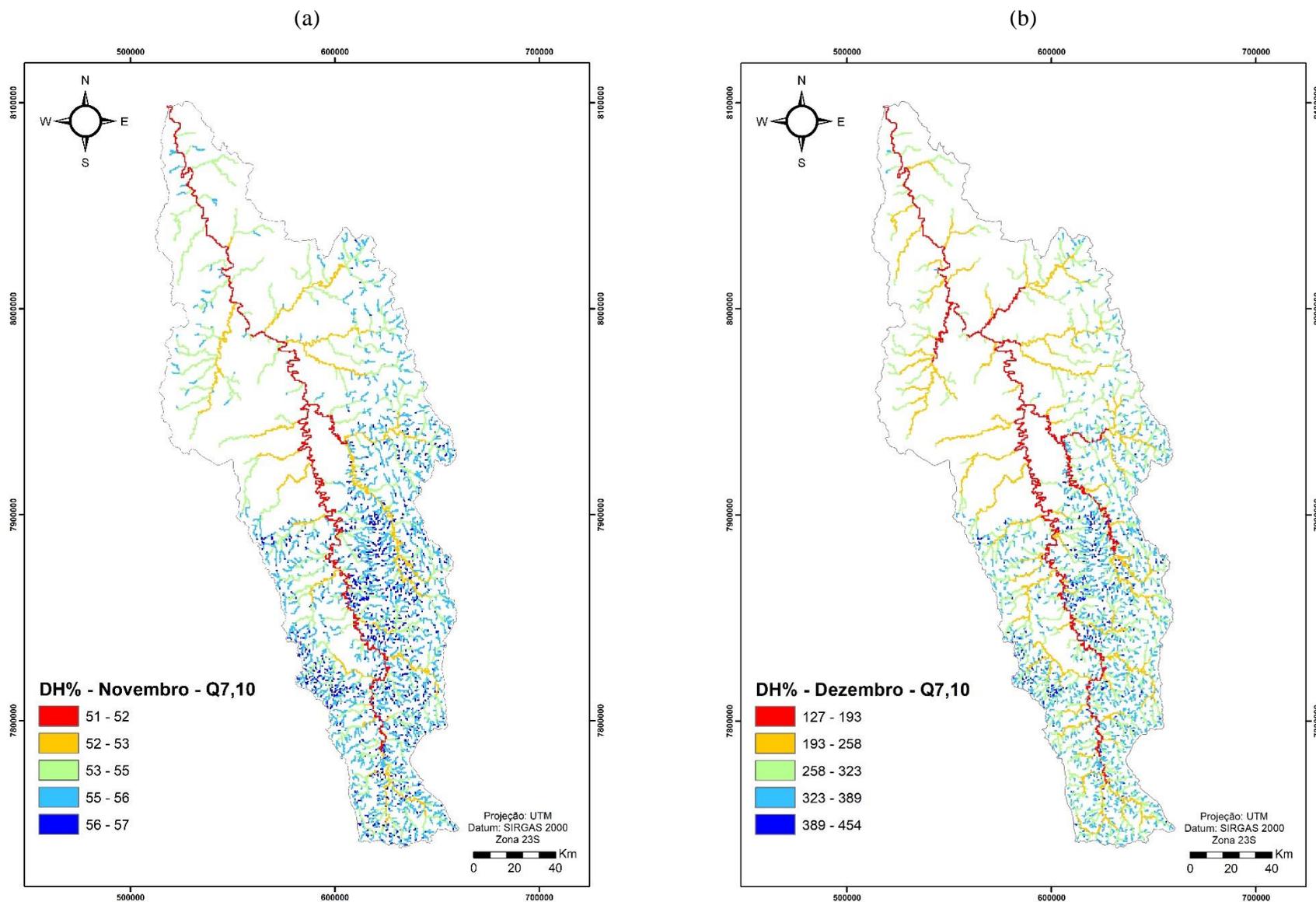
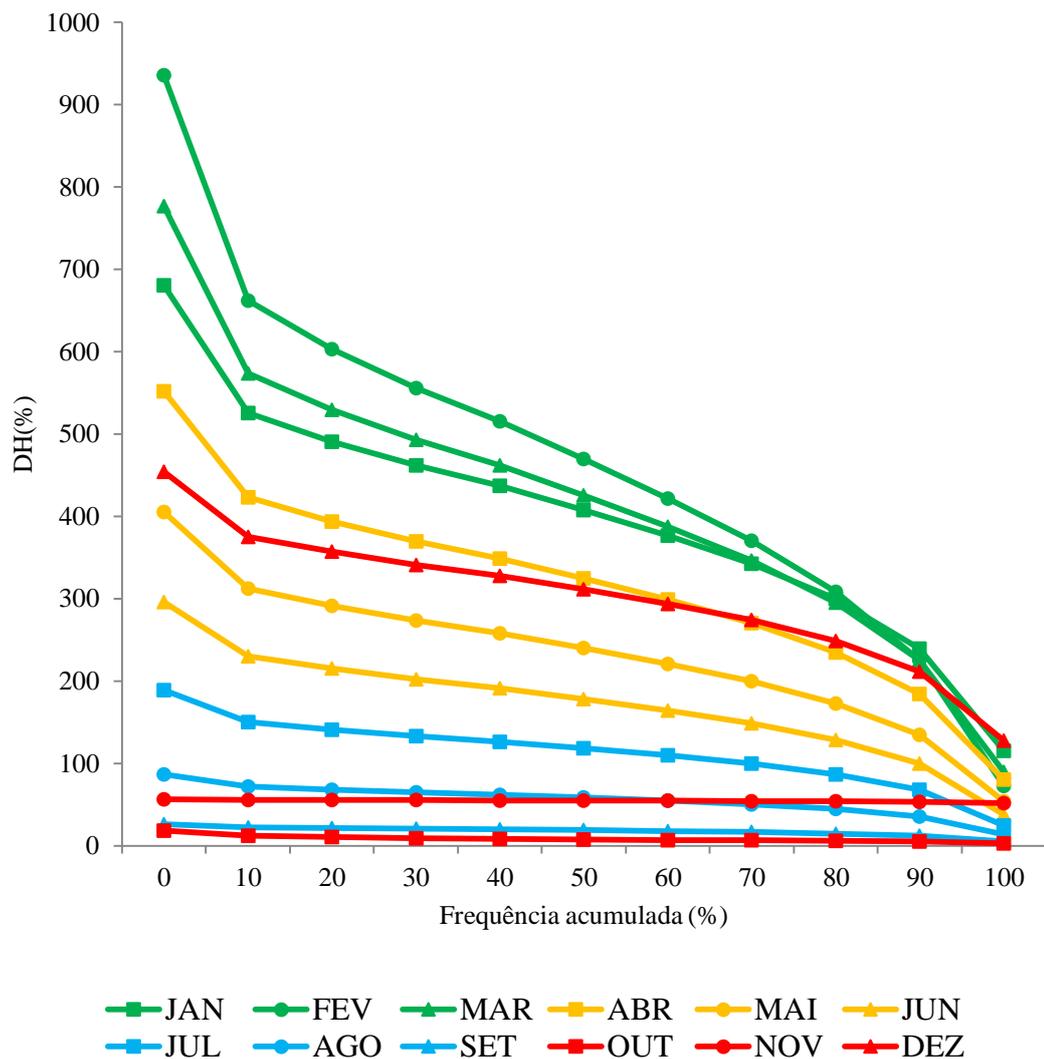
Figura 27 - Diferença relativa (DH%) entre a $Q_{7,10}$ de setembro e a $Q_{7,10}$ anual (a) e a diferença relativa entre a $Q_{7,10}$ de outubro e a $Q_{7,10}$ anual

Figura 28 - Diferença relativa (DH%) entre a Q_{7,10} de novembro e a Q_{7,10} anual (a) e a diferença relativa entre a Q_{7,10} de dezembro e a Q_{7,10} anual

Na figura 29 são apresentadas as curvas de frequência de ocorrência das diferenças relativas (DH%) entre as vazões $Q_{7,10}$ mensais e a $Q_{7,10}$ anual regionalizadas, ao longo da hidrografia da bacia em estudo.

Figura 29– Frequência de ocorrência das diferenças relativas (DH%) entre as $Q_{7,10}$ mensais e a $Q_{7,10}$ anual ao longo da hidrografia da bacia em estudo



Os maiores valores de DH% ocorreram no primeiro trimestre, variando entre 72 e 936% (Figuras 23a, 23b e 24a), sendo que o maior valor de DH% ocorreu no mês de fevereiro (Figura 23b), evidenciando que nestes meses ocorreram os maiores ganhos com a substituição do critério anual para o mensal.

No período compreendido entre os meses de janeiro a março foi o que ocorreu o decréscimo mais acentuado de $DH\%$. Já a partir do mês de agosto até o mês de novembro este decréscimo fica menos evidente.

No segundo trimestre do ano os valores de $DH\%$ variaram entre 38 e 552% (Figuras 24b, 25a e 25b). O mês de dezembro (Figura 28b) foi o único mês do quarto trimestre que apresentou valores na mesma faixa que o segundo trimestre.

Entre os meses de agosto, setembro, outubro e novembro foi o período em que ocorreram os menores valores de $DH\%$, variando entre 3% a 87% (Figuras 26b a 28a), demonstrando que ao longo do ano estes foram os meses em que ocorreram os menores ganhos na substituição dos critérios, com destaque para o mês de outubro (Figura 27b) que teve o menor valor de $DH\%$ do ano.

Em todos os meses, com exceção de outubro, os maiores ganhos de $DH\%$ ocorreram em cursos d'água nas regiões de cabeceira, posicionados a montante, onde, geralmente, estão concentradas as maiores precipitações.

Na curva de frequência (Figura 29) fica evidenciado que os maiores decréscimos de $DH\%$ ocorrem associados a uma frequência de 0 a 10%, principalmente entre os meses de dezembro a agosto, e posteriormente entre a frequência de 90 a 100%. Já nos meses de setembro a novembro os valores de $DH\%$ ficam praticamente constantes em todas as faixas de frequência.

De uma forma geral, a análise do $DH\%$ demonstrou que a substituição do critério anual para o mensal apresenta um aumento da vazão permissível para a outorga em todos os meses sendo este aumento mais evidente no primeiro trimestre.

4.2.3 Avaliação do impacto da substituição da Q_{95} anual pela Q_{95} mensal ao longo da hidrografia

Para a análise do impacto da substituição da Q_{95} anual pela Q_{95} mensal ao longo da hidrografia da bacia do rio das Velhas foram elaborados os mapas, apresentados nas Figuras 30 a 35, que possibilitou a avaliação da diferença relativa entre a vazão mínima calculada em base mensal e a vazão mínima calculada em base anual.

De uma forma geral, foi possível verificar que houve um aumento expressivo da $DH\%$ em metade dos meses. Já a outra metade dos meses evidenciou-se valores negativos, demonstrando que neste período não há ganho na substituição da Q_{95} anual pela Q_{95} mensal.

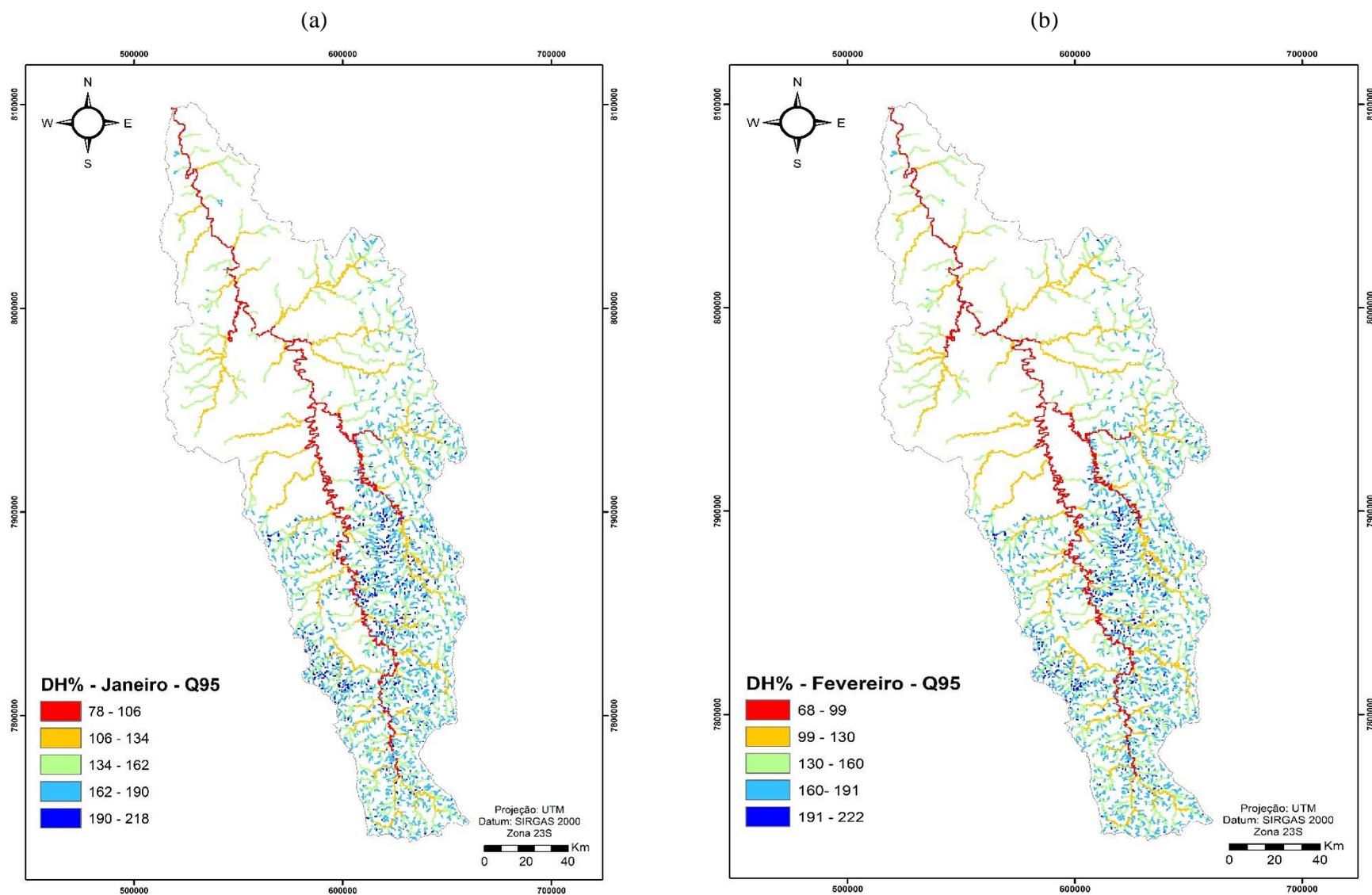
Figura 30 - Diferença relativa (DH%) entre a Q₉₅ de janeiro e a Q₉₅ anual (a) e a diferença relativa entre a Q₉₅ de fevereiro e a Q₉₅ anual

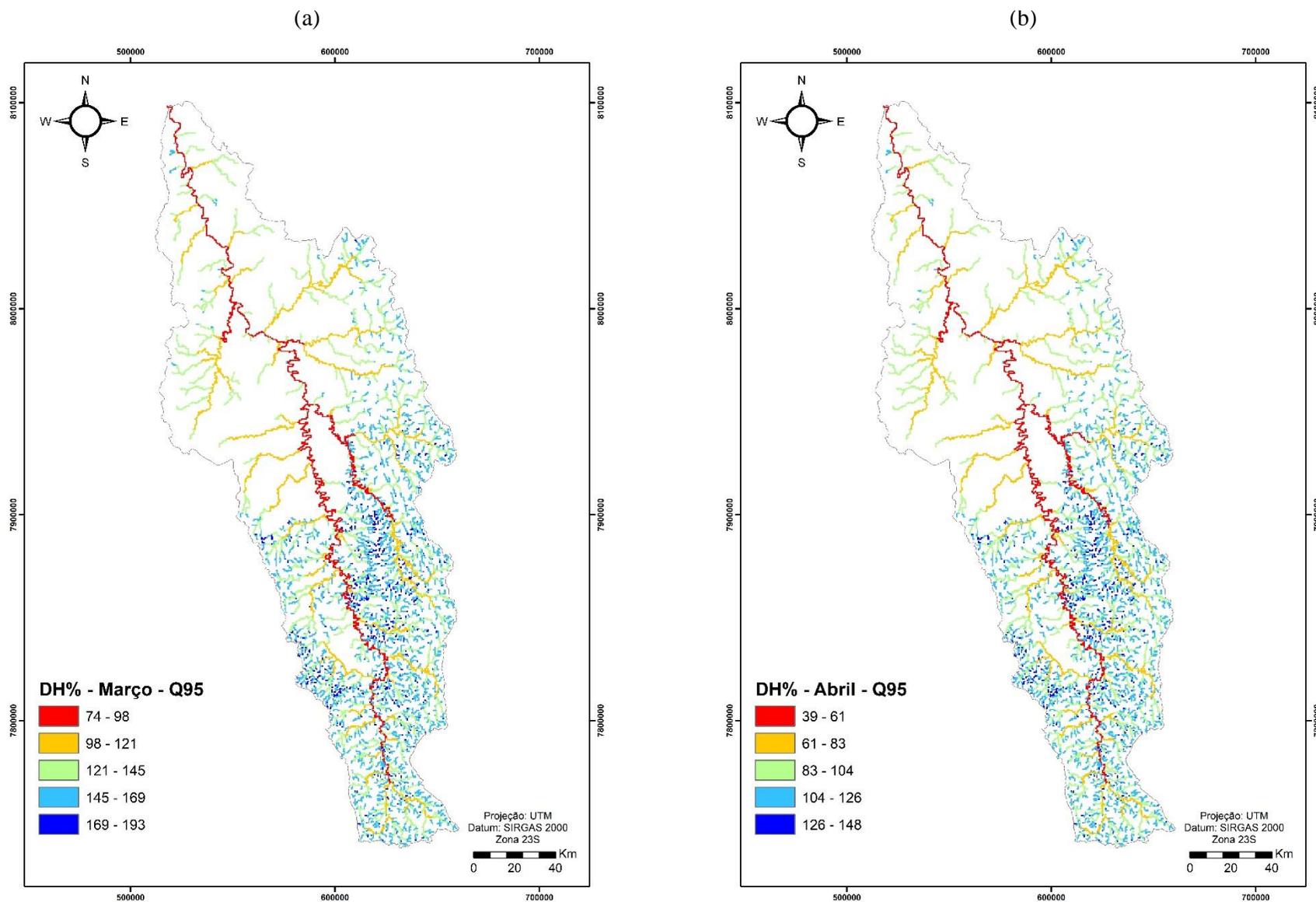
Figura 31 - Diferença relativa (DH%) entre a Q₉₅ de março e a Q₉₅ anual (a) e a diferença relativa entre a Q₉₅ de abril e a Q₉₅ anual

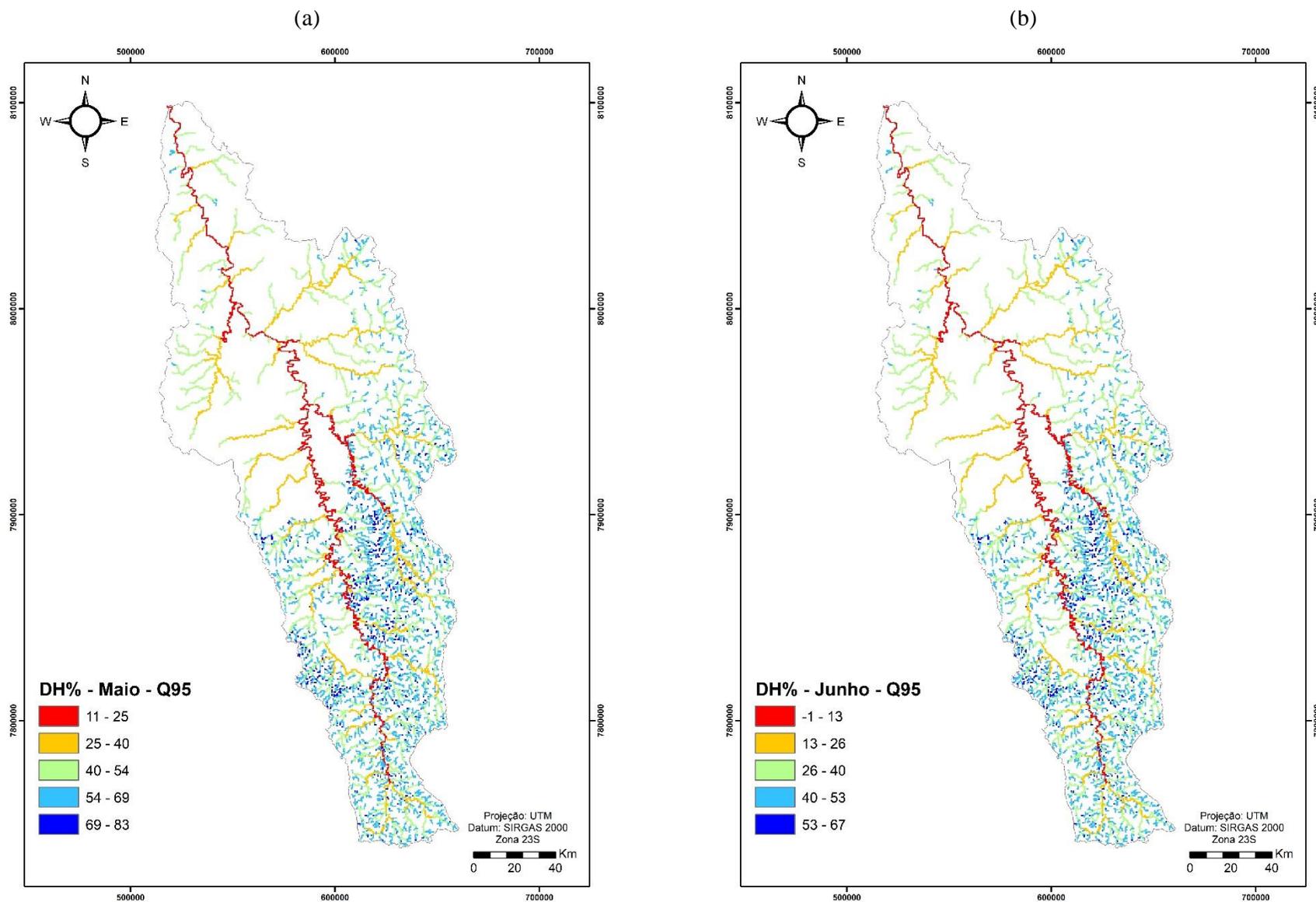
Figura 32 - Diferença relativa (DH%) entre a Q₉₅ de maio e a Q₉₅ anual (a) e a diferença relativa entre a Q₉₅ de junho e a Q₉₅ anual

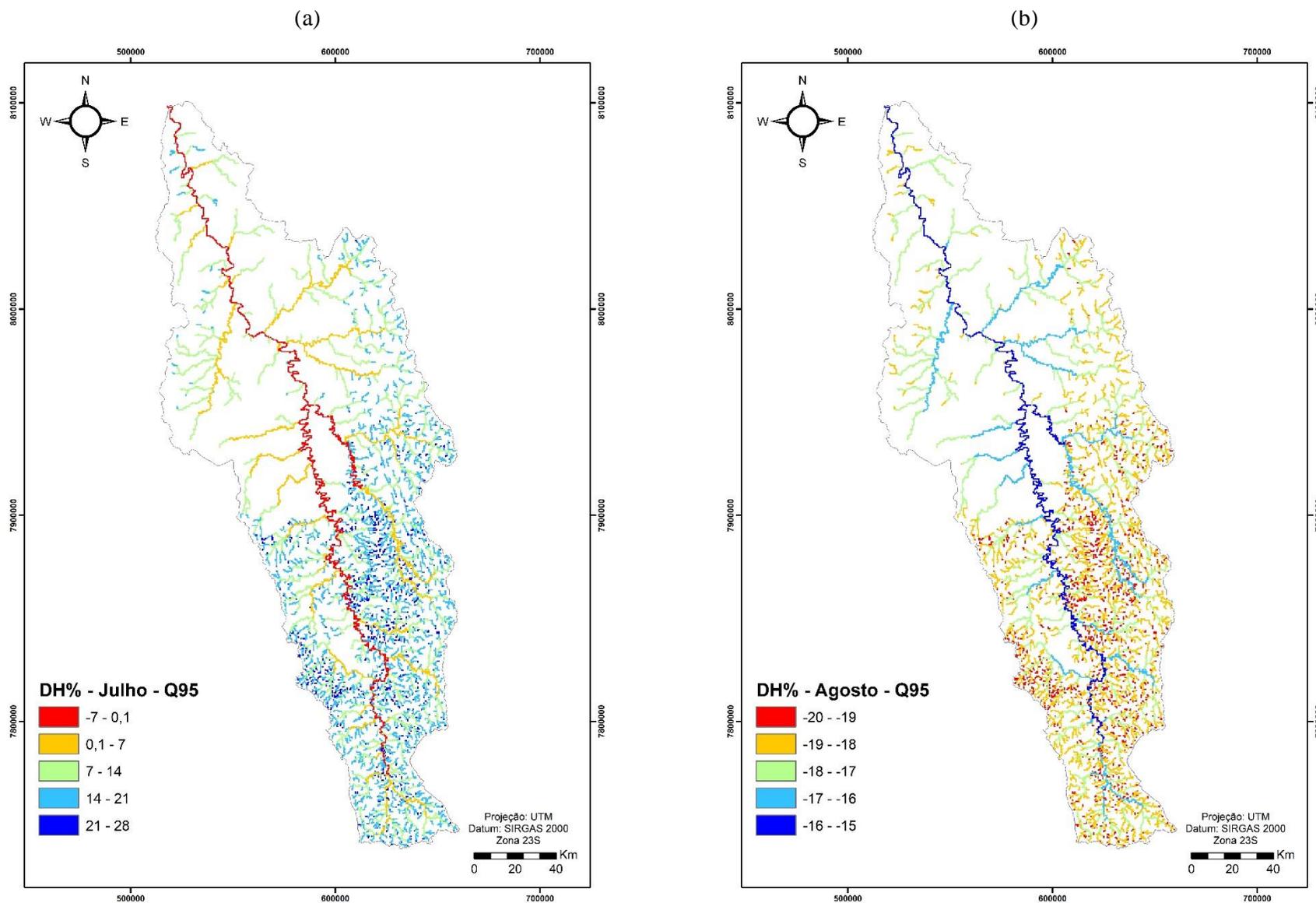
Figura 33 - Diferença relativa (DH%) entre a Q₉₅ de julho e a Q₉₅ anual (a) e a diferença relativa entre a Q₉₅ de agosto e a Q₉₅ anual

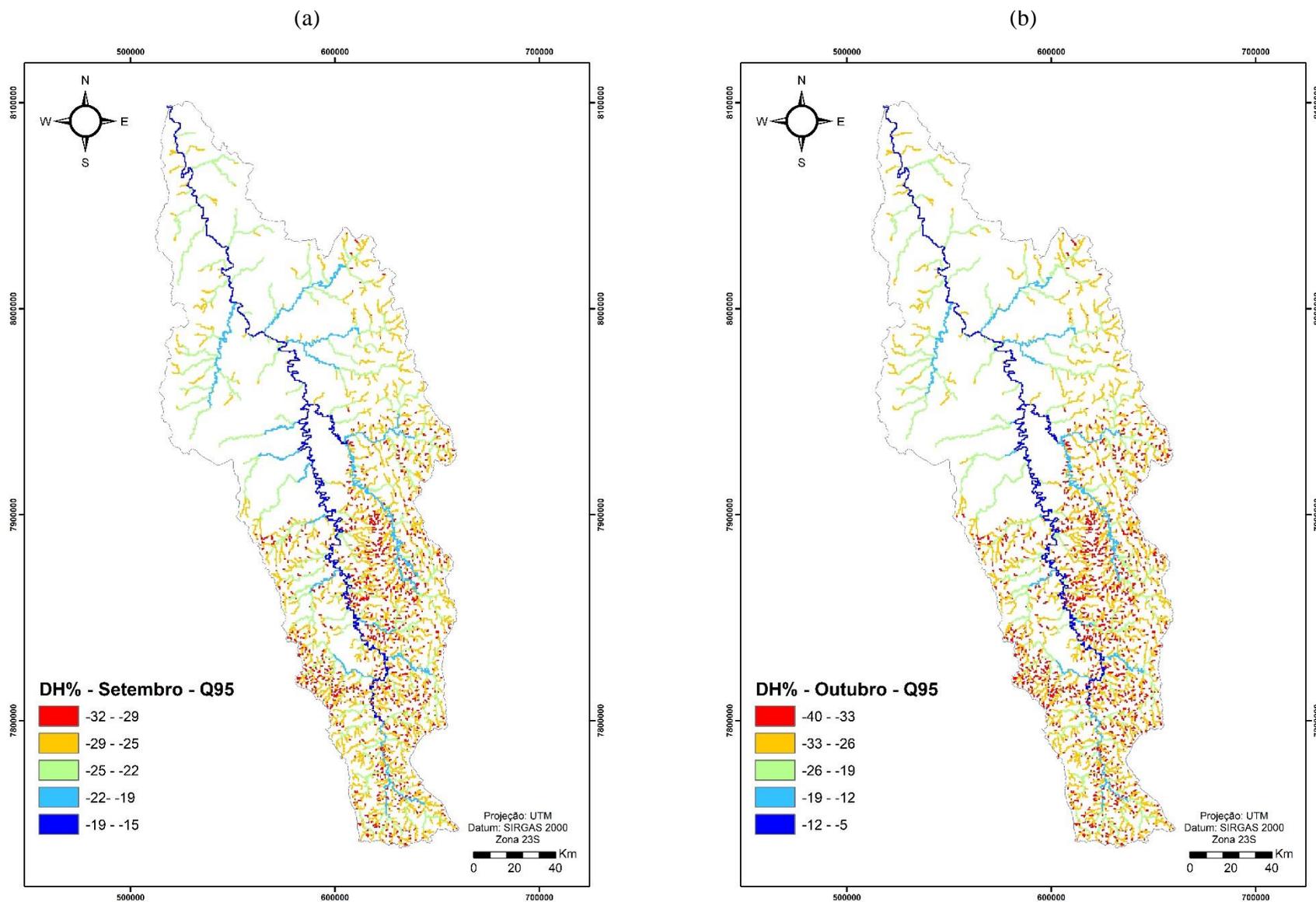
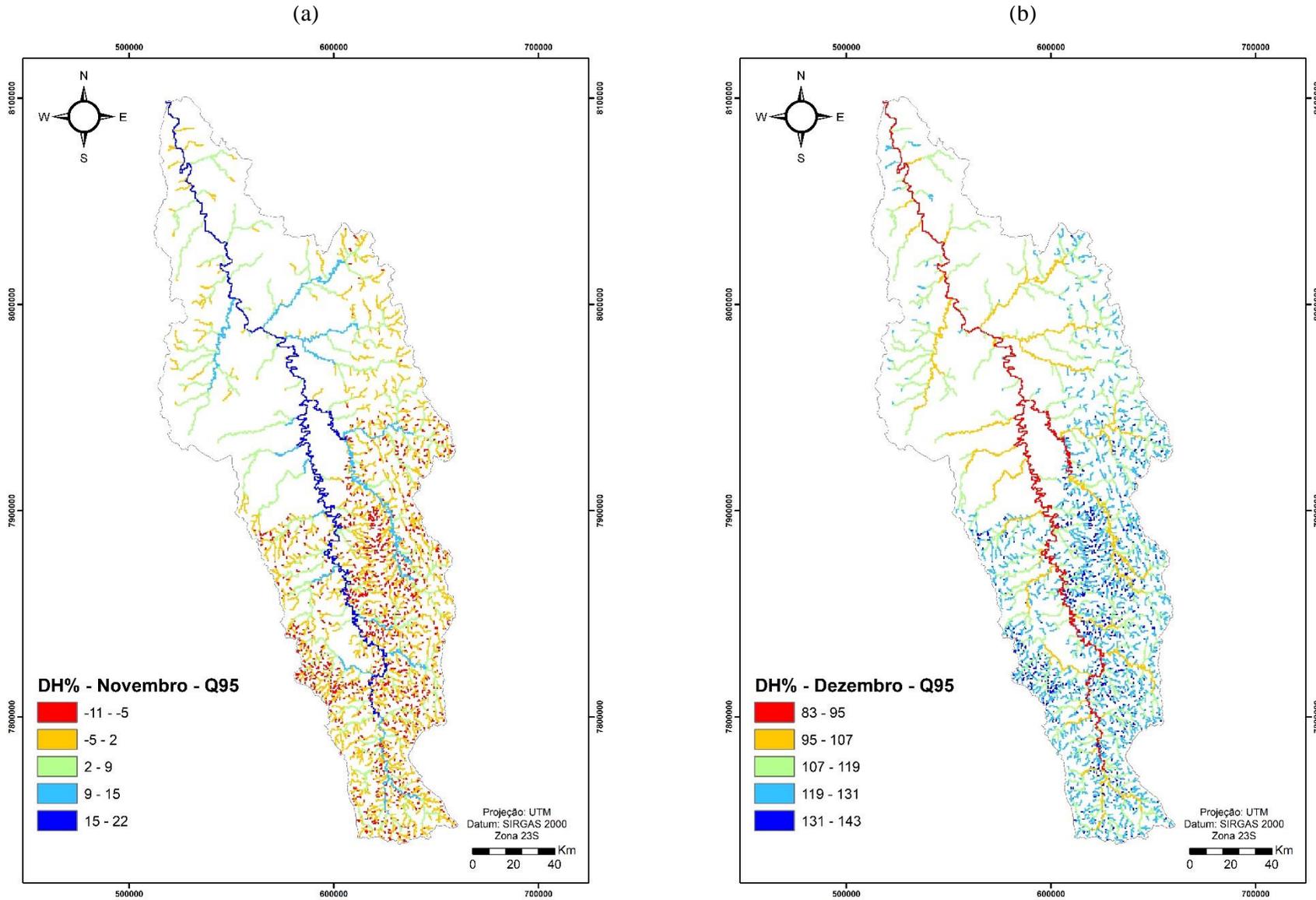
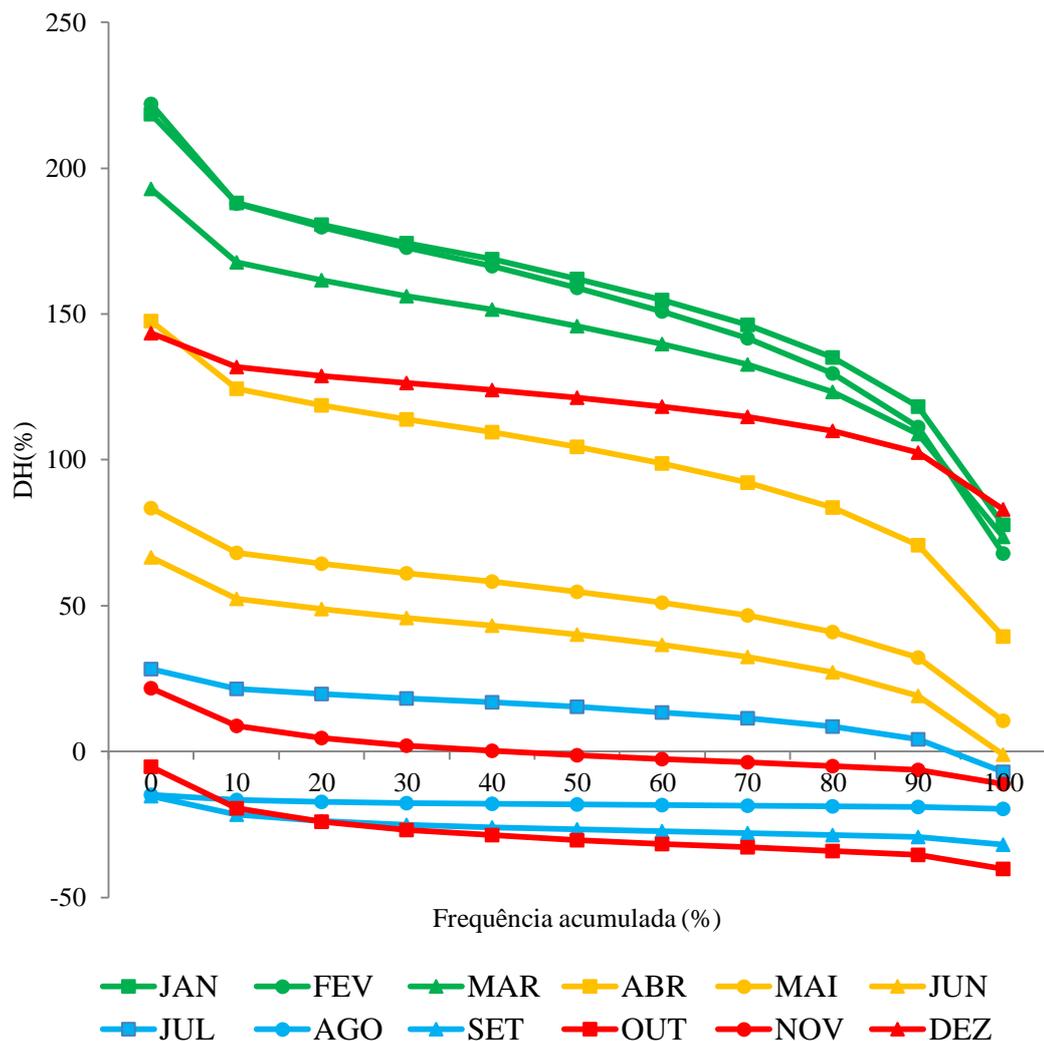
Figura 34 - Diferença relativa (DH%) entre a Q₉₅ de setembro e a Q₉₅ anual (a) e a diferença relativa entre a Q₉₅ de outubro e a Q₉₅ anual

Figura 35 - Diferença relativa (DH%) entre a Q₉₅ de novembro e a Q₉₅ anual (a) e a diferença relativa entre a Q₉₅ de dezembro e a Q₉₅ anual



Na figura 36 são apresentadas as curvas de frequência de ocorrência das diferenças relativas ($DH\%$) entre as vazões Q_{95} mensais e a Q_{95} anual regionalizadas, ao longo da hidrografia da bacia em estudo.

Figura 36 – Frequência de ocorrência das diferenças relativas ($DH\%$) entre as Q_{95} mensais e a Q_{95} anual ao longo da hidrografia da bacia em estudo



Os maiores valores de $DH\%$ ocorreram no primeiro trimestre, variando entre 68 e 222% (Figuras 30a, 30b e 31a), sendo que o maior valor de $DH\%$ ocorreu no mês de fevereiro (Figura 30b), evidenciando que nestes meses ocorreram os maiores ganhos da substituição do critério anual para o mensal, com destaque para o mês de fevereiro.

Nos meses de abril e maio os valores de $DH\%$ variaram entre 11 e 148% (Figuras 31b e 32a).

Entre os meses compreendidos entre junho a novembro foi o período em que ocorreram os menores valores de $DH\%$, variando entre -40% a 67% (Figuras 32b a 35a), sendo que os meses de agosto, setembro e outubro apresentaram valores negativos em 100% dos trechos, evidenciando assim que a substituição da metodologia do cálculo da vazão mínima de referência e a substituição do critério anual pelo mensal não indica um aumento na disponibilidade hídrica nesta bacia. Já a partir do mês de dezembro os valores voltam a ser positivos, variando entre 83 a 143% (Figura 35b).

Foi possível verificar que em todos os meses onde ocorreram os maiores ganhos de $DH\%$ estes ocorreram em cursos d'água nas regiões de cabeceira, posicionados a montante.

A análise do $DH\%$ para Q_{95} demonstrou que a substituição do critério anual para o mensal apresenta um expressivo aumento da vazão permissível para a outorga somente em alguns meses. Nos demais meses ocorrem uma redução de $DH\%$, variando de -40 a -1%, o que demonstra que mesmo tendo valores negativos a magnitude dessa variação é compensada nos meses de maior disponibilidade, chegando a um $DH\%$ aproximadamente de até 222% em alguns trechos.

Comparando a $DH\%$ da $Q_{7,10}$ com a da Q_{95} , a primeira apresenta somente valores positivos em 100% dos trechos e em 100% do tempo, além disso, apresenta os maiores valores de $DH\%$. Isso demonstra o quanto a $Q_{7,10}$ é restritiva em relação a Q_{95} e, se for considerado somente o período anual no cálculo da vazão mínima de referência, e o quanto a utilização desta base reduz o uso da água nos períodos de maior disponibilidade.

5 CONCLUSÃO

Comparando os critérios adotados pelo IGAM e pela ANA, em base anual e mensal, foi possível concluir que o volume permissível a ser outorgado pelo critério da ANA é superior ao volume permissível pelo IGAM, tanto na base anual quanto na mensal. Isso poderá influenciar em um aumento da parcela outorgável para aquele trecho em questão, e conseqüentemente reduzir um potencial conflito pelo uso da água.

Considerando o critério adotado pelo IGAM, a mudança da base anual para a base mensal permitiria um aumento do volume permissível para outorga, sendo aumento mais expressivo no período de dezembro a abril.

Já o critério utilizado pela ANA, calculada em base anual, apresenta ser mais restritivo quando comparado àquele calculado em base mensal, sendo mais restritivo nos meses de maior disponibilidade hídrica e menos restritivo nos meses de menor disponibilidade, demonstrando um desequilíbrio.

Em síntese, a utilização do critério em base mensal na bacia do rio das Velhas torna-se mais viável, utilizando de forma mais racional o volume de água disponível.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional das Águas. **SINGREH**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos/o-que-e-o-singreh.>>. Acesso em: 01 jul. 2018.
- ANA. Agência Nacional das Águas. **HIDROWEB v1.0.0.19**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf#>. Acesso em: 01 jul. 2018.
- ANA. Agência Nacional das Águas. **Caderno de capacitação em recursos hídricos**. Volume 6. Brasília. 2011. 54 p
- ANA. Agência Nacional das Águas. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Volume 6. Brasília. 2007. 126 p.
- ANA. Agência Nacional das Águas. **SISCORV 1.0: Sistema Computacional para Regionalização de Vazões**. Superintendência de Gestão da Informação (SGI); Universidade Federal de Viçosa. Brasília, 2013. 104 p.
- AGENDA 21. **Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento**. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1992. 475 p.
- ARAI, F. K. **CrITÉrios para concessão de outorga e eficiência do uso dos recursos hídricos pela irrigação**. 2014. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal Grande Dourados, Dourados, 2014.
- BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 4, n.1, p. 75-108, 2007.
- BAZZO, K. R.; GUEDES, H. A. S.; CASTRO, A. S. C.; SIQUEIRA, T. M.; GANDRA, C. F. A. T. Regionalização da vazão Q95: comparação de métodos para a bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. **Revista Ambiente Água**, v. 12, n. 5, p. 855-870, 2017.
- BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 149–160, 2003.
- BOF, L. H. N. **Análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. 2010. 99f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- BRAGA, B.; BARBOSA, P. S. F.; NAKAYAMA, P. T. Sistema de suporte à decisão em recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 73-95, 1998.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

- CALEGARIO, A. T. **Identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e comportamento das vazões mínima e média regionalizadas**. 2014. 97f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- CAMARGOS, L. M. M. **PLANO DIRETOR** de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas: resumo executivo. Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, Belo Horizonte, 2005. 228 p.
- CASTRO, L. M. A.; DINIZ M. G. M.; SILVA, A. G. Aplicação do instrumento da outorga no gerenciamento dos recursos hídricos em Minas Gerais: a bacia do ribeirão Entre Ribeiros. **VII Simpósio de Recursos Hídricos no Nordeste**, São Luiz, 2004.
- CATALUNHA, M. J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da Q_{7,10} para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual**. 2004. 165f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- COSTA, M. A. M. **Reflexões sobre a política participativa das águas: o caso CBH Velhas/MG**. 2008. 134f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- COUCEIRO, S. R. M.; HAMADA, N. Os instrumentos da política nacional de recursos hídricos na região norte do Brasil. **Oecologia Australis**, v. 15, n.4, p. 762-774, 2011.
- CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n.1, p. 111-124, 2008.
- EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga mensal para a agricultura irrigada no estado de Minas Gerais – Estudo de Caso. **Revista Item – Irrigação e Tecnologia Moderna**. Brasília, n. 71/72, p. 42-50, 2006.
- FALCO, A. L.; IDE, C. N.; ALMEIDA, I. K.; RIBEIRO, M. L.; IDE, W. R. Disponibilidade hídrica para outorga: influência da mensalidade. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília, 2015.
- FILHO, F. A. S. Modelo de Previsão de Vazões Sazonais e Interanuais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n.2, p. 61-74, 2004.
- FILZZOLA, B. R.; MARQUES, C. P. M.; LEMOS, R. S.; MAGALHÃES, A. P.; COTA, G. E. M. Considerações e reflexões sobre o quadro de crise no abastecimento público de água da região metropolitana na de Belo Horizonte – MG: O Caso da Bacia do Alto Rio das Velhas. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília, 2015.

GASQUES, A. C. F.; NEVES, G. L.; SANTOS, J. D.; MAUAD, F. F.; OKAWA, C. M. P. Regionalização de vazões mínimas: Breve revisão Teórica. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. Goiás, v. 14, n. 2, p. 60-70, 2018.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis** – An approach based on L-moments. Cambridge University Press, Cambridge, 1997. 224 P.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2012.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais**. Minas Gerais, 2010. 113 p.

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

KITE, G. W. **Frequency and risk analyses in hydrology**. 5. ed. Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications. 1988. 257p.

LEMOS, A. F. 2006. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do reservatório de Três Marias**. 157f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

LIMA, J. E. F. W.; SANO, E. E.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, E. C. Levantamento da área irrigada e estimativa do consumo de água por pivôs-centrais no distrito federal em 2002. In: **Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste**, Goiânia-GO, 2004.

LOPES, A. V.; FREITAS, M. A. S. A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos: experiências brasileiras. **REGA**, v. 4, n. 1, p. 5-28, 2007.

LOPES, T. R.; PRADO, G.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; ANTONIEL, L. S. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Ivaí – PR. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 188-201, 2016.

MACHADO, C. J. S. Recursos Hídricos e Cidadania no Brasil: Limites, Alternativas e Desafios. **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 6, n.2, p. 121-1136, 2003.

MAIA, J. L. **Estabelecimento de Vazões de Outorga na Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, com a Utilização de Mensalidade**. 116 f. Dissertação – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.

MARQUES, F. A. **Sistema de controle dinâmico para a gestão dos usos múltiplos da água**. 2010. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MEDEIROS, M. J. **Avaliação da vazão referencial como critério de outorga dos direitos de usos das águas na bacia do rio Paraopeba**. 240 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999**. Política Estadual de Recursos Hídricos.

MINAS GERAIS. **Resolução Conjunta SEMAD/IGAM nº 1.548, de 29 de março de 2012**. Vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado.

MENDES, L. A. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência**. 2007. 189 f. Dissertação (Programa de Mestrado, área de concentração em Recursos Hídricos) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MOREIRA, H. S. **Cenários de disponibilidade hídrica para concessão de outorga: estudo de caso da bacia Vertentes do Rio Grande**. 2018. 96f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

MOREIRA, H. S. **Cenários de disponibilidade hídrica para concessão de outorga: estudo de caso da bacia Vertentes do Rio Grande**. 2018. 96f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. 2006. 107f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

NOVAES, L. F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; SOBRINHO, T. A.; PANACHUKI, E. Integração de informações quali-quantitativas como ferramenta de gerenciamento de Recursos Hídricos. **Revista de Estudos Ambientais**. v. 13, n.1. p. 18-37, 2011.

PINHEIRO, M. C. **Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração**. 1 ed. Porto Alegre: ABRH, 2011. 308 p.

PDRH. **PLANO DIRETOR** de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas: relatório 02A, Diagnostico Geral. Consórcio Ecoplan Skill, Belo Horizonte, 2015. 233 p.

PDRH. **PLANO DIRETOR** de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas: resumo executivo. Consórcio Ecoplan Skill, Belo Horizonte, 2015. 1273.

POLETO, Cristiano. **Gestão de Recursos Hídricos**. Edição 1. Porto Alegre: Escola Técnica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 40p.

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

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; KOEZ, M. Estudo da Vazão em Cursos d'Água. Viçosa: Engenharia na Agricultura. **Caderno didático: 43**. Associação de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 151p.

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

PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A.; PRUSKI, P. L.; RODRIGUEZ, R. G. Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable. **Journal of Hydrology**, v. 476, p. 52–71, 2013.

RODRIGUEZ, R. G. **Proposta conceitual para regionalização de vazões: Estudo de caso da bacia do rio São Francisco**. 2008. 254 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SCHVARTZMAN, A. S.; NASCIMENTO, N. O.; SPERLING, M. V. Outorga e Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia do Rio Paraopeba, MG. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n.1, p. 103-122, 2002.

SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do Rio São Francisco. **Engenharia na agricultura**, v. 17, n. 5, p. 392-403, 2009.

SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Flexibilidade das Vazões Mínimas de Referência com a Adoção do Período Trimestral. **Engenharia na Agricultura**, v.19, n.3, p. 244-254, 2011.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. **Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos: uma das possíveis abordagens**. In: MACHADO, C. J. S. *Gestão das águas doces: usos múltiplos, políticas públicas e exercício da cidadania no Brasil*. 1 Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. Cap. 5, p. 135-178.

SILVA, T. C. S.; SILANS, A. P.; PEDROSA FILHO, L. A.; PAIVA, A. E. D. B.; BOOCHS, P.; BILLIB, M. Planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Gramame, uma bacia litorânea do nordeste Brasileiro. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 121-134, 2002.

SISCAH: **software livre**. Versão 1.0. Viçosa: UFV. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

SISCORV: **software livre**. Versão 1.0. Viçosa: UFV. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

SOUSA, H. T.; PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; CECON, P. R.; SOUZA, J. R. C. **SisCaH 1.0: Sistema computacional para análises hidrológicas**. Brasília: Agência Nacional das Águas – ANA, 2009. 59 p.

SOUSA, H. T. **Sistema computacional para regionalização de vazões**. 2009. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

TUCCI, C. E. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 7ª reimpressão da 4 ed. Porto Alegre: ABRH, 2015. 943p.

TUCCI, C. E. **Regionalização de Vazões**. 1 reimpressão da 1 ed. Porto Alegre: ABRH, 2017. 256p.

TUCCI, C. E.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. Cenário da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “Visão mundial da água”. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 31-43, 2000.

TUCCI, C. E.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. 156p.

TUNDISI, J.G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **REVISTA USP**, n.70, p. 24-35, 2006.

VEZZA, P.; COMOGLIO, C.; ROSSO, M.; VIGLIONE, A. Low flows regionalization in orth-Western Italy. **Water Resources Management**, v.24, p.4049-4074, 2010.

VICTORINO, V. I. P. Uma visão histórica dos recursos hídricos na cidade de São Paulo. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 51-68, 2002.

WOLFF, W. **Avaliação e nova proposta de regionalização hidrológica para o Estado de São Paulo**. 113 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Diagrama de disponibilidade de dados de vazão no período de 1968 a 1986 nas quatorze estações fluviométricas utilizadas no estudo

Cód. da Estação	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
41199998																			
41250000																			
41260000																			
41300000																			
41340000																			
41380000																			
41410000																			
41440005																			
41600000																			
41650002																			
41818000																			
41890000																			
41940000																			
41990000																			

Legenda:  Anos com mais de 95% de dados

APÊNDICE B – Diagrama de disponibilidade de dados de vazão no período de 1987 a 2005 nas quatorze estações fluviométricas utilizadas no estudo

Cód. da Estação	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
41199998																			
41250000																			
41260000																			
41300000																			
41340000																			
41380000																			
41410000																			
41440005																			
41600000																			
41650002																			
41818000																			
41890000																			
41940000																			
41990000																			

Legenda:  Anos com mais de 95% de dados

APÊNDICE C – Valores de $Q_{7,10}$ (m^3s^{-1}) mensais e anual para as estações fluviométrica utilizadas no estudo

Estação	Anual	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
41410000	23,12	46,15	40,29	40,58	39	34,17	31,35	28,46	22,5	24,16	26,88	32,71	49,39
41440005	0,75	1,66	1,67	1,7	1,39	1,25	1,13	0,99	0,88	0,83	0,81	0,93	1,17
41600000	24,37	63,03	40,8	53,36	46,52	39,2	34,75	32,13	32,17	25,78	27,5	37,03	50,22
41650002	32,35	72,16	60,18	64,71	62,55	53,97	48,48	43,45	38,5	34,64	35,49	38,16	62,37
41818000	41,54	72,76	83,54	70,94	73,19	62,4	54,89	50,77	45,8	43,53	48,57	66,21	89,23
41890000	0,8	2,95	2,41	3,07	2,51	2,11	1,56	1,34	1,01	0,83	0,67	1,12	4,21
41940000	0,13	2,55	2,05	2,02	2,1	1,21	0,83	0,47	0,34	0,17	0,21	0,52	2,27
41990000	41,38	105,79	75,94	101,84	94,08	74,98	61,78	55,66	47,6	43,22	47,78	66,86	136,99
41199998	10,93	19,48	16,89	16,9	14,38	12,82	12,79	12,59	12,03	11,92	12,25	13,33	16,16
41250000	1,26	3,42	3,36	2,93	3,04	2,44	2,34	2,09	1,66	1,38	1,31	1,62	2,83
41260000	17,66	40,42	35,47	35,79	27,84	26,56	24,66	22,18	20,56	18,36	20,55	23,4	30,28
41300000	1,41	4,53	4,38	4,55	3,79	3,15	2,6	2,33	1,81	1,58	1,69	2,17	4,43
41340000	18,43	33,25	29	28,6	27,71	25,63	24,64	21,29	20,61	20,48	23,53	29,07	37,89
41380000	0,92	2,33	2,47	2,42	2,18	1,88	1,61	1,4	1,14	1,01	1,12	1,46	2,94

APÊNDICE D – Valores de Q_{95} (m^3s^{-1}) mensais e anual para as estações fluviométrica utilizadas no estudo

Estação	Anual	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
41410000	28,80	43,50	44,70	44,30	36,97	27,10	26,50	25,90	25,38	24,74	27,80	33,80	51,40
41440005	1,00	1,61	1,54	1,74	1,43	1,21	1,10	1,02	0,83	0,83	0,86	0,92	1,38
41600000	32,33	57,97	54,13	56,82	44,85	36,40	32,51	31,98	28,41	27,01	30,72	37,03	55,28
41650002	41,80	85,70	71,54	87,20	65,20	52,40	48,50	43,20	36,60	35,40	35,40	43,20	65,35
41818000	54,10	87,99	87,97	87,99	75,45	58,77	52,15	47,77	42,56	45,95	53,06	69,59	98,46
41890000	1,25	3,87	3,52	3,01	2,54	2,10	1,73	1,47	1,14	1,03	1,03	1,58	3,71
41940000	0,60	3,62	3,63	3,26	2,26	1,41	1,03	0,65	0,43	0,32	0,32	0,91	2,93
41990000	58,02	130,00	127,33	127,50	95,00	70,83	60,36	55,68	47,04	46,68	53,73	74,85	146,60
41199998	12,90	17,33	16,76	17,35	15,12	14,06	11,94	12,02	11,79	11,52	12,02	13,54	17,60
41250000	1,77	3,39	3,55	3,44	3,14	2,15	2,23	2,03	1,63	1,59	1,48	1,85	3,17
41260000	22,45	40,91	34,22	38,05	29,61	26,67	24,17	22,03	20,71	19,39	20,15	23,47	30,18
41300000	2,13	4,28	4,18	4,28	3,08	2,48	2,13	1,84	1,48	1,45	1,84	2,43	4,48
41340000	23,75	30,31	30,39	28,42	26,93	21,97	21,49	21,49	19,67	21,22	23,89	27,58	37,92
41380000	1,40	2,73	2,58	2,53	2,11	1,48	1,48	1,42	1,20	1,19	1,20	1,55	2,88

APÊNDICE E – Diferença relativa entre as vazões $Q_{7,10}$ mensais e anual das estações fluviométrica utilizadas no estudo

Estação	$Q_{7,10} - DH\%$											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
41410000	99,61	74,26	75,52	68,69	47,79	35,60	23,10	-2,68	4,50	16,26	41,48	113,62
41440005	121,33	122,67	126,67	85,33	66,67	50,67	32,00	17,33	10,67	8,00	24,00	56,00
41600000	158,64	67,42	118,96	90,89	60,85	42,59	31,84	32,01	5,79	12,84	51,95	106,07
41650002	123,06	86,03	100,03	93,35	66,83	49,86	34,31	19,01	7,08	9,71	17,96	92,80
41818000	75,16	101,11	70,78	76,19	50,22	32,14	22,22	10,26	4,79	16,92	59,39	114,81
41890000	268,75	201,25	283,75	213,75	163,75	95,00	67,50	26,25	3,75	-16,25	40,00	426,25
41940000	1861,54	1476,92	1453,85	1515,38	830,77	538,46	261,54	161,54	30,77	61,54	300,00	1646,15
41990000	155,65	83,52	146,11	127,36	81,20	49,30	34,51	15,03	4,45	15,47	61,58	231,05
41199998	78,23	54,53	54,62	31,56	17,29	17,02	15,19	10,06	9,06	12,08	21,96	47,85
41250000	171,43	166,67	132,54	141,27	93,65	85,71	65,87	31,75	9,52	3,97	28,57	124,60
41260000	128,88	100,85	102,66	57,64	50,40	39,64	25,59	16,42	3,96	16,36	32,50	71,46
41300000	221,28	210,64	222,70	168,79	123,40	84,40	65,25	28,37	12,06	19,86	53,90	214,18
41340000	80,41	57,35	55,18	50,35	39,07	33,70	15,52	11,83	11,12	27,67	57,73	105,59
41380000	153,26	168,48	163,04	136,96	104,35	75,00	52,17	23,91	9,78	21,74	58,70	219,57

APÊNDICE F – Diferença relativa entre as vazões Q₉₅ mensais e anual das estações fluviométrica utilizadas no estudo

Estação	Q ₉₅ - DH%											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
41410000	51,04	55,21	53,82	28,38	-5,90	-7,99	-10,07	-11,88	-14,11	-3,47	17,36	78,47
41440005	61,85	54,82	74,88	43,37	21,59	10,84	2,81	-17,17	-17,17	-13,76	-7,63	38,15
41600000	79,29	67,42	75,73	38,73	12,57	0,53	-1,09	-12,13	-16,45	-4,98	14,53	70,98
41650002	105,02	71,16	108,61	55,98	25,37	16,03	3,35	-12,44	-15,31	-15,31	3,35	56,33
41818000	62,64	62,60	62,64	39,47	8,63	-3,60	-11,69	-21,32	-15,06	-1,92	28,63	82,00
41890000	210,43	182,74	141,65	103,53	68,62	38,84	17,66	-8,51	-17,17	-17,17	27,13	197,47
41940000	502,48	503,66	441,61	276,09	135,27	71,05	7,65	-29,12	-46,42	-46,42	51,43	387,69
41990000	124,06	119,46	119,75	63,74	22,07	4,03	-4,03	-18,92	-19,54	-7,39	29,01	152,67
41199998	34,32	29,97	34,54	17,24	8,99	-7,45	-6,85	-8,59	-10,68	-6,85	4,95	36,46
41250000	91,53	100,56	94,20	77,40	21,58	25,99	14,69	-7,91	-10,17	-16,23	4,52	79,35
41260000	82,21	52,44	69,48	31,88	18,80	7,65	-1,87	-7,76	-13,65	-10,24	4,54	34,42
41300000	101,46	96,80	101,46	44,85	16,75	0,00	-13,32	-30,16	-31,67	-13,32	14,12	111,01
41340000	27,62	27,94	19,67	13,37	-7,52	-9,53	-9,53	-17,18	-10,68	0,58	16,11	59,65
41380000	94,64	84,54	80,71	50,71	5,71	5,71	1,43	-14,29	-15,00	-14,36	10,71	105,71

APÊNDICE G – Valores dos índices estatísticos aplicados para seleção da equação de regionalização potencial ($Q_{7,10}$ e Q_{95}) e da variável explicativa

	$Q_{7,10}$			Q_{95}		
	R^2	Erro Padrão	Amplitude do Resíduo	R^2	Erro Padrão	Amplitude do Resíduo
Anual	0,72875	0,99857	123,4890	0,84494	0,67276	32,7399
Janeiro	0,91999	0,44024	10,1900	0,9556	0,32446	5,1310
Fevereiro	0,90005	0,47597	12,6268	0,96283	0,29415	4,2754
Março	0,9095	0,46109	12,1974	0,9434	0,37041	6,7602
Abril	0,9313	0,40574	9,1945	0,9364	0,39237	8,1792
Mai	0,89467	0,51587	17,0748	0,90833	0,48027	12,7158
Junho	0,86215	0,60683	25,3537	0,88984	0,53084	17,3495
Julho	0,81827	0,72624	43,7968	0,85313	0,63519	28,8486
Agosto	0,79845	0,79505	54,3444	0,82702	0,72087	40,3770
Setembro	0,7406	0,95614	102,2674	0,80346	0,78833	54,2200
Outubro	0,75871	0,93483	86,7751	0,80514	0,80514	58,0790
Novembro	0,83733	0,72439	40,1704	0,89064	0,56546	20,9122
Dezembro	0,94163	0,38445	8,8681	0,95461	0,33641	6,1935

APÊNDICE H – Coeficientes de determinação obtidos em bases mensal e anual, pelo ajuste estatístico dos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco para $Q_{7,10}$ e Q_{95} , utilizando a variável independente área

	$Q_{7,10}$					Q_{95}				
	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
Anual	0,8162	0,6422	0,4657	0,8632	0,0859	0,85661	0,75789	0,53257	0,86272	0,2622
Janeiro	0,87075	0,84292	0,57072	0,85328	0,34644	0,92843	0,89827	0,6285	0,81064	0,34193
Fevereiro	0,82152	0,81868	0,56493	0,83761	0,34617	0,95933	0,90456	0,64053	0,80995	0,33825
Março	0,90919	0,83662	0,59166	0,83893	0,34948	0,92448	0,87985	0,62888	0,80716	0,36543
Abril	0,92027	0,86073	0,60904	0,84004	0,34871	0,91776	0,86818	0,61231	0,83268	0,36355
Mai	0,88733	0,81774	0,57605	0,85493	0,32467	0,88389	0,83494	0,58139	0,83832	0,36022
Junho	0,84694	0,77707	0,542	0,8651	0,28687	0,85604	0,81176	0,56425	0,85018	0,33624
Julho	0,84435	0,73179	0,51994	0,8617	0,2015	0,85161	0,7705	0,53949	0,86167	0,27242
Agosto	0,81145	0,7093	0,5	0,85989	0,17994	0,8236	0,74012	0,50987	0,87226	0,2277
Setembro	0,80773	0,65186	0,46938	0,86384	0,10204	0,82849	0,71628	0,5038	0,86508	0,17948
Outubro	0,81416	0,66546	0,47608	0,86411	0,12938	0,85051	0,7149	0,50962	0,85877	0,17246
Novembro	0,8661	0,74926	0,53128	0,84445	0,23943	0,90219	0,81022	0,56828	0,83902	0,31191
Dezembro	0,97491	0,88422	0,62862	0,79025	0,28266	0,97885	0,8956	0,64419	0,78431	0,3143

APÊNDICE I – Coeficientes de determinação obtidos em bases mensal e anual, pelo ajuste estatístico dos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco para $Q_{7,10}$ e Q_{95} , utilizando a variável independente Peq

	$Q_{7,10}$					Q_{95}				
	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
Anual	0,85528	0,68984	0,51457	0,87377	0,10107	0,89171	0,80287	0,58366	0,86936	0,29932
Janeiro	0,90096	0,88219	0,62098	0,85753	0,38856	0,94707	0,92844	0,67667	0,80503	0,38036
Fevereiro	0,85681	0,86001	0,61611	0,84296	0,38988	0,97567	0,93496	0,68876	0,80303	0,37632
Março	0,93446	0,8742	0,64143	0,83931	0,39242	0,94346	0,91266	0,67772	0,80139	0,40792
Abril	0,94528	0,89679	0,65923	0,83744	0,39083	0,9418	0,90326	0,6622	0,82965	0,4068
Mai	0,9177	0,85733	0,62693	0,85649	0,36651	0,91178	0,873	0,63132	0,83957	0,40442
Junho	0,88253	0,82085	0,59323	0,87145	0,32621	0,88824	0,85212	0,61508	0,85381	0,37955
Julho	0,88011	0,77724	0,57035	0,86859	0,23144	0,88606	0,8136	0,59033	0,86782	0,3101
Agosto	0,84998	0,75631	0,55042	0,86963	0,20759	0,86217	0,78567	0,56062	0,88279	0,26074
Setembro	0,84757	0,70007	0,51865	0,87537	0,11952	0,86655	0,76243	0,55432	0,87444	0,20691
Outubro	0,85381	0,71491	0,52616	0,87564	0,15096	0,88649	0,76125	0,56021	0,8661	0,19911
Novembro	0,89924	0,79478	0,58246	0,84953	0,27424	0,93062	0,85146	0,61918	0,83989	0,35281
Dezembro	0,98754	0,91488	0,67642	0,78259	0,31539	0,99058	0,92647	0,69232	0,77574	0,35032

APÊNDICE J – Coeficientes de determinação obtidos em bases mensal e anual, pelo ajuste estatístico dos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco para $Q_{7,10}$ e Q_{95} , utilizando a variável independente Peq_{750}

	$Q_{7,10}$					Q_{95}				
	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
Anual	0,90492	0,74961	0,58518	0,8818	0,12452	0,93469	0,85687	0,65662	0,87226	0,35508
Janeiro	0,93682	0,92614	0,69199	0,85739	0,45045	0,96486	0,95901	0,74342	0,79248	0,43625
Fevereiro	0,90038	0,90773	0,68854	0,84448	0,45445	0,98926	0,96569	0,75528	0,78859	0,43162
Março	0,96222	0,91641	0,71132	0,8342	0,45573	0,96192	0,94775	0,74559	0,78891	0,47
Abril	0,97247	0,93659	0,72943	0,82877	0,45266	0,96758	0,94126	0,73188	0,82039	0,47013
Mai	0,95336	0,90278	0,6988	0,8531	0,42854	0,94384	0,91538	0,70162	0,83564	0,46949
Junho	0,92668	0,87275	0,66627	0,87421	0,38497	0,92727	0,89832	0,68711	0,85311	0,44371
Julho	0,92453	0,83224	0,6425	0,87209	0,27667	0,92847	0,86442	0,66281	0,87023	0,36649
Agosto	0,89904	0,81395	0,62294	0,87681	0,24959	0,91113	0,84033	0,63348	0,89069	0,31051
Setembro	0,89856	0,76056	0,5899	0,88473	0,14648	0,91438	0,81858	0,62689	0,88083	0,24852
Outubro	0,90412	0,77728	0,59855	0,88483	0,18413	0,9305	0,81796	0,63273	0,86978	0,23963
Novembro	0,9384	0,84985	0,65546	0,85019	0,32671	0,9624	0,89905	0,69106	0,83521	0,41358
Dezembro	0,99502	0,94612	0,74237	0,76696	0,36317	0,99665	0,9581	0,75854	0,75906	0,40282

APÊNDICE K – Coeficientes das equações de regionalização obtidos para a $Q_{7,10}$ e Q_{95} para variável Peq_{750}

	$Q_{7,10}$ Coeficientes		Q_{95} Coeficientes	
	a	b	a	b
Anual	0,05508	1,16303	0,10088	1,10802
Janeiro	0,23581	1,04937	0,24475	1,05646
Fevereiro	0,24756	1,00494	0,23975	1,05049
Março	0,23629	1,02770	0,23153	1,06189
Abril	0,19731	1,04964	0,19114	1,05731
Mai	0,16006	1,05815	0,14611	1,06328
Junho	0,13332	1,06977	0,13188	1,06208
Julho	0,10760	1,08885	0,11145	1,07963
Agosto	0,08168	1,11938	0,08320	1,11318
Setembro	0,06386	1,14706	0,07605	1,12716
Outubro	0,06036	1,17553	0,07473	1,14881
Novembro	0,08490	1,16004	0,10378	1,13591
Dezembro	0,20145	1,08442	0,21502	1,08289

APÊNDICE L – Vazões específicas de imposição para minimização do risco de superestimativa nas regiões de extrapolação das equações

	$q_{7,10}$ (L s ⁻¹ Km ⁻²)												
	Anual	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
41410000	3,27	6,52	5,69	5,73	5,51	4,83	4,43	4,02	3,18	3,41	3,80	4,62	6,98
41440005	3,15	6,97	7,02	7,14	5,84	5,25	4,75	4,16	3,70	3,49	3,40	3,91	4,92
41600000	3,03	7,83	5,07	6,63	5,78	4,87	4,32	3,99	4,00	3,20	3,42	4,60	6,24
41650002	3,02	6,74	5,62	6,05	5,85	5,04	4,53	4,06	3,60	3,24	3,32	3,57	5,83
41818000	2,50	4,38	5,03	4,27	4,41	3,76	3,31	3,06	2,76	2,62	2,93	3,99	5,38
41890000	0,56	2,08	1,70	2,16	1,77	1,49	1,10	0,94	0,71	0,58	0,47	0,79	2,96
41940000	0,06	1,23	0,99	0,98	1,01	0,58	0,40	0,23	0,16	0,08	0,10	0,25	1,10
41990000	1,56	3,99	2,87	3,84	3,55	2,83	2,33	2,10	1,80	1,63	1,80	2,52	5,17
41199998	7,05	12,57	10,90	10,90	9,28	8,27	8,25	8,12	7,76	7,69	7,90	8,60	10,43
41250000	1,78	4,83	4,75	4,14	4,29	3,45	3,31	2,95	2,34	1,95	1,85	2,29	4,00
41260000	4,73	10,84	9,51	9,60	7,46	7,12	6,61	5,95	5,51	4,92	5,51	6,27	8,12
41300000	2,28	7,33	7,09	7,36	6,13	5,10	4,21	3,77	2,93	2,56	2,73	3,51	7,17
41340000	3,79	6,84	5,97	5,88	5,70	5,27	5,07	4,38	4,24	4,21	4,84	5,98	7,80
41380000	1,63	4,14	4,39	4,30	3,87	3,34	2,86	2,49	2,02	1,79	1,99	2,59	5,22