

JOSIANE ROSA SILVA DE OLIVEIRA

OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUAS
SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIBEIRÃO ENTRE RIBEIROS

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

O48o
2011

Oliveira, Josiane Rosa Silva de, 1981-
Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas
superficiais na bacia do ribeirão Entre Ribeiros / Josiane Rosa
Silva de Oliveira. – Viçosa, MG, 2011.
ix, 85f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Fernando Falco Pruski.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 59-65.

1. Água - Uso. 2. Recursos hídricos. 3. Bacias hidrográficas.
4. Hidrologia. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 553.7

JOSIANE ROSA SILVA DE OLIVEIRA

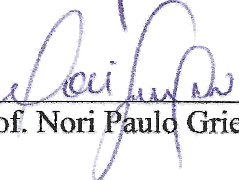
OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUAS
SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIBEIRÃO ENTRE RIBEIROS

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


APROVADA: 28 de fevereiro de 2011



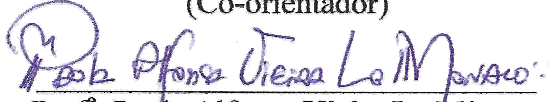
Prof. Antônio Teixeira de Matos



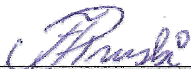
Prof. Nori Paulo Griebeler



Prof. Mauro Aparecido Martinez
(Co-orientador)



Prof.^a Paola Alfonsa Vieira Lo Mônaco



Fernando Falco Pruski
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me iluminar em mais esta etapa da vida.

A Jaci e Elizete, meus pais, pelo amor, pela dedicação e pelo exemplo.

Às minhas irmãs Juliana e Joyce, pelo amor, pela amizade e pela convivência e paciência nos momentos difíceis.

Ao Professor Fernando Falco Pruski, pela orientação, pelos ensinamentos, pela confiança, pela compreensão e pela amizade.

Aos professores Mauro Aparecido Martinez e Eloy Lemos de Mello pelo auxílio na elaboração deste trabalho.

À Lívia, ao Pedro e ao Luciano pela grande ajuda na realização deste trabalho.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), em especial aos da “salinha”, Heber, João e Luiz, pelo convívio, pela amizade e por todos os momentos vividos.

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

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

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pelo apoio financeiro.

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) pela colaboração para a realização deste trabalho.

Às amigas de república pela amizade fraterna e pela convivência maravilhosa.

Aos amigos e alunos de Florestal pelo apoio e incentivo.

À todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, o meu sincero agradecimento.

BIOGRAFIA

JOSIANE ROSA SILVA DE OLIVEIRA, filha de Jaci Antônio de Oliveira e Elizete Rosa Silva de Oliveira, nasceu em Santos Dumont / MG em 11 de abril de 1981.

Em agosto de 2007, concluiu o curso de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa - UFV.

Em agosto de 2008 iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na área de Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Viçosa - UFV, submetendo-se à defesa de dissertação em fevereiro de 2011.

CONTEÚDO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Escassez hídrica	3
2.2. Gestão de recursos hídricos.....	6
2.3. Vazões de referência e critérios para o processo de outorga	7
2.4. Variação temporal e espacial da disponibilidade hídrica.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Área de estudo.....	11
3.2. Demandas de uso da água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros	14
3.3. Quantificação da vazão disponível para outorga na bacia do ribeirão Entre Ribeiros	14
3.3.1. Dados utilizados no estudo e seleção do período base.....	15
3.3.2. Obtenção da vazão mínima de referência ($Q_{7,10}$).....	17
3.3.3. Regionalização de vazões	18
3.4. Avaliação do impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mensais na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros	23
3.5. Avaliação do impacto do uso de diferentes critérios de outorga na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros.....	24
3.5.1. Critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual.....	25
3.5.2. Critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ mensal	26
3.5.3. Critério baseado no uso de 50% da $Q_{7,10}$ (anual e mensal).....	26
3.5.4. Regularização de vazões	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. Demandas de uso da água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros	28

4.2. Vazão mínima de referência, anual e mensal, na bacia do ribeirão Entre Ribeiros...	33
4.2.1. Equações de regionalização	33
4.2.2. Impacto da substituição da $Q_{7,10}$ anual pelas $Q_{7,10}$ mensais na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros.....	34
4.3. Impacto do uso dos critérios de outorga baseados no uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual, 30% da $Q_{7,10}$ mensal e 50% da $Q_{7,10}$ anual e mensal na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros	44
4.4. Regularização de vazões	55
5. CONCLUSÕES	57
6. REFERÊNCIAS.....	59
APÊNDICES.....	66
APÊNCIDE A	67
APÊNCIDE B	69
APÊNCIDE C	71
APÊNDICE D	76
APÊNDICE E	77

RESUMO

OLIVEIRA, Josiane Rosa Silva de. M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do ribeirão Entre Ribeiros.** Orientador: Fernando Falco Pruski. Co-orientadores: Eloy Lemos de Mello e Mauro Aparecido Martinez.

Para o planejamento e gestão dos recursos hídricos é de fundamental importância que se tenha um conhecimento apropriado tanto da disponibilidade hídrica como das demandas pelo uso da água em uma bacia. Quando existe um desequilíbrio entre estas, são evidenciadas situações de escassez hídrica e conflitos entre os usuários. A outorga de direito de uso da água, um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, tem como finalidade ajustar demandas e disponibilidades e garantir o atendimento aos usos atuais e futuros da água, em quantidade e qualidade adequadas. A concessão de outorgas é condicionada à disponibilidade hídrica da bacia. Os critérios para concessão de outorgas a fio d'água são baseados no uso de percentuais das vazões mínimas observadas em períodos de estiagem (vazões de referência). Entretanto, principalmente em locais com grande variação sazonal das disponibilidades, a utilização de pequenos percentuais de vazões calculadas para períodos críticos do ano, restringe o maior uso da água em meses fora do período de estiagem. Considerando que a sazonalidade da disponibilidade e o uso de critérios menos restritivos constituem alternativas que podem proporcionar melhor uso da água e, conseqüentemente, a redução de conflitos, atuais e potenciais, objetivou-se com o presente trabalho caracterizar as demandas de uso da água; quantificar a vazão de referência, em bases anual e mensal, e avaliar a disponibilidade hídrica; avaliar o impacto do uso de diferentes critérios de outorga na disponibilidade hídrica; e identificar trechos na hidrografia onde é necessário a implantação de reservatórios de regularização; sendo feito um estudo de caso da bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Para quantificar as retiradas

de água na bacia foi feita uma consulta ao arquivo físico do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e para quantificar a disponibilidade foi feita a regionalização da vazão de referência, obtida em bases anual e mensal. De posse dos dados de demandas e disponibilidades na bacia, foi feita a avaliação do impacto da substituição das vazões anuais pelas mensais e do uso de diferentes critérios de outorga na disponibilidade hídrica da bacia. Foram avaliados: o critério atual, baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual, e os critérios propostos, baseados no uso de 30% da $Q_{7,10}$ mensal e de 50% da $Q_{7,10}$ anual e mensal. Quando, mesmo após o uso do critério de 50% da $Q_{7,10}$ anual, a disponibilidade natural não foi suficiente para atender as demandas, foi realizado uma análise para identificação dos trechos onde é necessário a instalação de reservatórios de regularização de vazões afim de que não haja excedência das demandas em relação às disponibilidades na bacia. Com base nos resultados obtidos constatou-se que: a) as demandas estão mais concentradas nas partes Sul e Leste da bacia e os valores associados a elas apresentam expressiva variação ao longo do ano; b) a substituição da $Q_{7,10}$ anual pelas $Q_{7,10}$ mensais, em geral, resulta no aumento da disponibilidade hídrica ao longo do ano; c) grande parte dos trechos da hidrografia com outorgas a montante apresentam o somatório das vazões demandadas maior que 30% da $Q_{7,10}$ anual em todos os meses, sendo a excedência maior em fevereiro e menor em outubro; d) a mudança do critério de 30% para 50% da $Q_{7,10}$ anual promoveu aumentos que variaram de 5% (em agosto) a 170% (em fevereiro); e) o uso do critério de 30% da $Q_{7,10}$ mensal proporcionou, ao longo do ano, aumentos de até 209% no percentual de trechos em que o somatório das outorgas não superou a vazão máxima outorgável, com exceção dos meses de outubro e novembro; f) o aumento no número trechos com somatório das demandas menor que disponibilidade obtido com o uso de 50% da $Q_{7,10}$ mensal foi menor nos meses de setembro, outubro e novembro, correspondendo a, em média, 17% e maior nos demais meses, variando de 33% no mês de agosto e a 265% no mês de fevereiro; e g) mesmo adotando 50% da $Q_{7,10}$ mensal, ainda foram evidenciados trechos em que o somatório das demandas a montante supera a disponibilidade, tendo sido evidenciado que a implantação de nove reservatórios de regularização resulta em atendimento a todas as demandas, sem provocar a excedência da vazão máxima outorgável na bacia.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Josiane Rosa Silva de. M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, February, 2011. **Optimization of the use of available surface waters in the Entre Ribeiros river basin.** Adviser: Fernando Falco Pruski. Co-Advisers: Eloy Lemos de Mello and Mauro Aparecido Martinez.

For planning and management of water resources it is of fundamental importance to have a proper knowledge of both water availability and demands of a basin. When there is an imbalance among these factors situations of water scarcity and conflicts between users are evident. Granting of the right to use water, an instrument of the National Policy of Water Resources, aims to adjust demands and availability to ensure compliance with current and future water uses, in terms of adequate quantity and quality. Granting of water use is dependent on availability of water in the basin. The criteria for conceding water use grants are based on percentage of use of minimum flows observed during periods of drought (reference flows). However, especially in areas with high seasonal variation, the use of small percentages of the calculated flows for critical periods of the year restricts the greater use of water in months outside of the drought period. Considering that seasonal availability and use of less stringent criteria are alternatives that may provide better water use, and consequent reduction of current and potential conflicts, the objective of the present study is to characterize the demands of water use; quantify reference flow, annual and monthly bases, and address water availability; assess the impact of using different licensing criteria for water availability; and identify regions in the hydrography where implementation of regularization is necessary, performing a case study for the Entre Ribeiros river basin. To quantify the removal of water from the basin, archives of the Minas Gerais Institute of Water Management (IGAM) were consulted and to quantify availability, the regionalization of the reference flow was performed, obtained in annual and monthly bases. From the

demand and availability data of the basin, evaluation of substituting annual flows by monthly flows was performed, as well as the use of different granting criteria on water availability of the basin. Evaluated were the: current criteria, based on using 30% of the annual $Q_{7,10}$ and the proposed criteria, based on the use of 30% of monthly $Q_{7,10}$ and 50% of the annual and monthly $Q_{7,10}$. Even after using the criterion of 50% of the annual $Q_{7,10}$ the natural availability was not sufficient to meet the demands, and an analysis was conducted to identify the regions where flow regulating reservoirs are needed as long as there is no absence of demands in relation to availability in the basin. Based on the results obtained, it can be concluded that: a) the demands are more concentrated in the southern and eastern regions of the basin and the associated values present significant variation over the year; b) substitution of annual $Q_{7,10}$ for monthly $Q_{7,10}$ generally results in an increase in water availability along the year; c) most of the hydrography regions with licensing of water use presented a sum of flow demands greater than 30% of the annual $Q_{7,10}$ in all months, with greatest values in February and lowest in October; d) changing the criteria of 30% to 50% of the annual $Q_{7,10}$ promoted increases ranging from 5% (in August) to 170% (in February), e) using the criterion of 30% of the monthly $Q_{7,10}$ resulted in increases up to 209% along the year in the regions in which the sum of licenses did not surpass the maximum flow allowed, with exception of the months of October and November; f) the increase in regions with total demands less than availability obtained with use of 50% of the monthly $Q_{7,10}$ was lower in the months of September, October and November, representing an average of 17% and higher in other months, ranging from 33% in August to 265% in February, and g) even when adopting 50% of the monthly $Q_{7,10}$, there were still regions where the sum of demands surpasses availability, however the implementation of nine regulation reservoirs resulted in meeting all the demands without exceeding the maximum flow granted for the basin.

1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento de fundamental importância para a vida, sendo o desenvolvimento social, econômico e cultural de uma região dependente da disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para atender todas as demandas. Entretanto, a água não está disponível de forma equilibrada no continente, apresentando grande variação espacial e temporal.

Estes fatos, associados ao crescente consumo de água para satisfazer seus múltiplos usos, tem feito com que a disponibilidade hídrica seja insuficiente para atender a todas as demandas e para manter as condições ambientais mínimas necessárias para o desenvolvimento sustentável, caracterizando situação de escassez hídrica, causando impactos ambientais negativos e contribuindo para a ocorrência de conflitos entre usuários.

Em diversas regiões do Brasil tem sido evidenciadas situações de escassez hídrica, como é o caso da bacia do ribeirão Entre Ribeiros, afluente do rio Paracatu, que teve expressivo aumento da demanda pelo uso da água, principalmente devido à expansão das áreas irrigadas, após os incentivos governamentais ocorridos na década de 70. A bacia do Entre Ribeiros sofre uma crise hídrica e apresenta situação preocupante (DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO ENTRE RIBEIROS, 2003).

Problemas advindos dos conflitos pelo uso da água, como os já evidenciados na bacia do ribeirão Entre Ribeiros e em diversas outras bacias brasileiras, remetem a necessidade de planejamento e aprimoramento da forma de gerenciar e normatizar o uso da água de modo a garantir a oferta deste recurso para a atual e para as futuras gerações.

Nesse sentido, um grande avanço foi a promulgação da Lei 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual possui como um de seus instrumentos de gestão a outorga de direito de uso da água.

A outorga de direito de uso da água tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. A magnitude da vazão ou do volume a ser outorgado é determinada de acordo com os critérios adotados pelos órgãos gestores, respeitando a dominialidade dos corpos hídricos

O Estado de Minas Gerais adota, para outorgas a fio d'água, o critério de 30% da $Q_{7,10}$ anual, ou seja, a vazão permissível é de no máximo 30% da vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), estimadas em base anual. O critério adotado por Minas é o mais restritivo entre aqueles utilizados nos diversos Estados brasileiros, podendo dificultar, em alguns momentos, o deferimento de processos em situações que ainda há grande disponibilidade hídrica na bacia, além do fato de que o uso de vazões de referência para outorga estimadas considerando o período anual restringe o uso da água a um valor não evidenciado na maior parte do ano em regiões com grande variabilidade sazonal de vazões.

Deste modo, o presente trabalho foi fundamentado na hipótese de que a sazonalidade da disponibilidade e o uso de critérios menos restritivos constituem alternativas que podem proporcionar melhor uso da água na bacia do Entre Ribeiros e, conseqüentemente, a redução de conflitos, atuais e potenciais nesta bacia. Desta forma, este trabalho foi desenvolvido visando a proposição de alternativas para melhorar o aproveitamento das águas superficiais nesta bacia.

Os objetivos específicos foram:

- caracterizar as demandas de uso da água;
- avaliar a disponibilidade hídrica e quantificar a vazão de referência ($Q_{7,10}$), em bases anual e mensal;
- avaliar o impacto do uso de diferentes critérios de outorga na disponibilidade hídrica da bacia; e
- identificar trechos na hidrografia onde existe a necessidade de implantação de reservatórios.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Escassez hídrica

A demanda por recursos hídricos para os diversos usos (abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria, geração de energia, aquíicultura, preservação ambiental etc.) tem aumentado nas últimas décadas, sendo associado principalmente ao crescimento populacional (GLENNON, 2005). De acordo com as previsões das Nações Unidas, nos próximos 30 anos a população mundial será de nove bilhões de pessoas, aumento de dois bilhões em relação à população atual (UNITED NATIONS, 2008). No Brasil, as mesmas previsões estimam que a população aumente 12%, tendo um adicional de 24,7 milhões de pessoas.

Quanto maior o crescimento populacional maior também é a demanda pelo uso da água, sobretudo, em consequência da alta demanda por alimentos, cujo nível de produção é determinado pelas práticas agrícolas utilizadas (TILMAN *et al.*, 2002), dentre elas, a irrigação, que é responsável pelo consumo de expressiva fatia do total da água usada pelo homem (GETIRANA *et al.*, 2007).

Quando existe abundância, a água pode ser tratada como um bem livre, sem valor econômico. Porém, com o crescimento da demanda começam a surgir conflitos entre os usuários e a água passa a ser escassa, precisando ser gerida como um bem econômico.

A escassez está associada a uma situação em que a disponibilidade hídrica é insuficiente para atender as demandas e para manter as condições ambientais mínimas necessárias para o desenvolvimento sustentável. A escassez também pode decorrer de aspectos qualitativos, quando a poluição afeta de tal forma a qualidade que os padrões excedem aos admissíveis para determinados usos.

Existem vários indicadores de situações que caracterizam escassez dos recursos hídricos, incluindo a relação entre o volume de água retirada e o volume de água potencialmente disponível e a quantidade de água disponível por pessoa anualmente (ARNELL, 2004).

Uma abordagem popular tem sido a de classificar os países de acordo com a quantidade de recursos anuais de água disponível por pessoa. Falkenmark *et al.* (1989) propuseram uma classificação fundamentada na comparação dos dados de disponibilidade de recursos nacionais de países que estavam passando por problemas relacionados à água. De acordo com a classificação proposta por estes autores, quando se tem disponibilidade maior que $1.700 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ não existe escassez, para disponibilidades da ordem de 1.000 a $1.700 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a escassez é moderada, de 500 a $1.000 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ é alta e quando a disponibilidade é menor que $500 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ é caracterizada uma situação de escassez extrema.

Entretanto, são classificações baseadas em índices numéricos simples que dão apenas indicações das pressões parciais sobre os recursos hídricos em um país ou região. O Brasil, que lidera a lista de membros das Nações Unidas, na classe dos países mais ricos em água doce no mundo (REBOUÇAS, 2003), tem a maior média de longo período do mundo, cerca de $179.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (ANA, 2009), para uma população de 191,5 milhões de habitantes (IBGE, 2009). Isto indica que, em geral, a disponibilidade é da ordem de $29.500 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no entanto, o país apresenta, em diversas regiões de seu território, problemas gerados pela crescente demanda pelo recurso. Tais problemas, unidos às questões de qualidade da água, são as principais origens dos conflitos entre os usuários.

Apesar de ser considerado rico em disponibilidade hídrica, por possuir, em valores globais, uma grande oferta de recursos hídricos, o Brasil possui acentuada diferença entre suas regiões (ANA, 2009). Enquanto a região Norte tem 68,5% dos recursos hídricos, com 7% da população nacional, o Sudeste tem apenas 6% do total das águas para abastecer 42,6% da população total (EUCLYDES *et al.*, 2005) e, além desta variável distribuição espacial, existe também a variação temporal da disponibilidade.

Desse modo, a caracterização de situações de escassez depende da disponibilidade e da demanda local, ao longo do ano, e de como é feita a gestão das águas. As bacias hidrográficas localizadas em áreas que apresentam uma combinação de baixa disponibilidade e grande utilização dos recursos hídricos apresentam situações de escassez (PNRH, 2006).

No Brasil, o setor de irrigação é o que possui a maior parcela de vazão de retirada (cerca de 47% do total) e a maior vazão de consumo (69%) (ANA, 2009). Nas regiões em que a irrigação é prática intensiva e a disponibilidade de água é restrita são observados conflitos entre irrigantes, fazendo com que, em muitos casos, a água se torne fator limitante para o desenvolvimento sustentável.

Em algumas sub-bacias do rio São Francisco, como a do Paracatu, a implementação de vários projetos de irrigação sem a prévia quantificação do volume de água possível de ser usado provoca a falta de água para consumo humano, de animais e da fauna silvestre, causando sérios impactos ambientais nas citadas regiões e conflitos entre os usuários (RAMOS e PRUSKI, 2003).

A bacia do Paracatu, situada no Médio São Francisco, embora represente apenas 7,3% da área da bacia do São Francisco, drenando uma área de, aproximadamente, 45.600 km², apresenta a maior proporção de contribuição (20,8%) para a formação da vazão do rio São Francisco (PRUSKI *et al.*, 2007).

De acordo com Rodriguez *et al.* (2007), na bacia do Paracatu, a vazão média anual consumida pela irrigação apresentou, no período de 1970 a 1996, acentuada tendência de crescimento, tendo aumentado, na seção correspondente à estação Porto Alegre, cerca de 62 vezes. Tal crescimento foi determinado principalmente pelo aumento da área irrigada, que, para o mesmo período, cresceu 75 vezes. Ainda segundo esses autores, as vazões médias mensais retiradas pela irrigação, na bacia do Paracatu, apresentam grande variação ao longo do ano, decorrentes das expressivas mudanças das variáveis climáticas que interferem diretamente na disponibilidade natural de água ao longo do tempo.

Entre as sub-bacias do rio Paracatu que estão em situação preocupante se destaca a sub-bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Conforme o Diagnóstico Ambiental da Bacia do Ribeirão Entre Ribeiros (2003), a bacia sofre uma crise no que diz respeito à disponibilidade hídrica, apresentando um quadro crescente de escassez. Santos (2007) evidenciou que esta bacia apresenta trajetória de escassez crônica de água, supressão quase integral da vegetação e conflitos entre os produtores. O autor associa estes fatos ao modelo de desenvolvimento adotado desde 1970, com incentivos governamentais e financiamentos para a expansão das áreas irrigáveis, que cresceram sem a observância de aspectos ambientais e técnicos e inclusive desprovidas de outorga para captação hídrica. Pruski *et al.* (2007) evidenciaram que, nesta bacia, a irrigação é responsável por mais de 92% do total consumido e que, mais especificamente na seção correspondente à estação Fazenda Barra da Égua, a vazão estimada como de retirada pela irrigação, na

área de contribuição correspondente a esta seção, no mês de maior requerimento de irrigação (agosto), representou, em 1996, 87,1% da $Q_{7,10}$, o que reforça a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias e da proposição e inserção de alternativas que visem o planejamento e a gestão dos recursos hídricos na bacia.

2.2. Gestão de recursos hídricos

Durante muito tempo o planejamento e a gestão de recursos hídricos não tinham importância relevante, dada a idéia de abundância da água. No Brasil, até os anos 70, as questões relacionadas à administração dos problemas de recursos hídricos eram consideradas a partir das perspectivas dos setores usuários da água, ou segundo políticas específicas de combate aos efeitos das secas e das inundações. Ainda não se observavam preocupações relacionadas às necessidades de conservação e preservação, principalmente em razão da abundância relativa de água no país e da percepção de que se tratava de um recurso renovável e, portanto, infinito (PNRH, 2006).

A preocupação com aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos no Brasil começou a surgir com o processo de industrialização do país e aumentou com o crescimento da demanda de água pelos diversos setores de usuários, tais como a produção de alimentos e de biocombustíveis, que tem um forte impacto na disponibilidade de água, sobretudo nos aspectos quantitativos, e o crescimento industrial e a produção de minérios, que causam impacto mais relevante nos aspectos qualitativos.

O crescimento da demanda por água aumenta a necessidade de planejamento e de gestão dos recursos hídricos, a fim de ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais, para permitir a convivência dos usos atuais e futuros da água sem conflitos (SILVA, 2004).

Nesse contexto, está inserida a Lei Federal nº 9.433, promulgada em 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), tendo como principal objetivo assegurar, à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água, em quantidade e qualidade adequadas aos respectivos usos. Esta lei tem como princípios básicos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a consideração dos múltiplos usos da água, o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico e a necessidade da consideração da gestão descentralizada e participativa desse recurso (BRASIL, 1997).

Um dos instrumentos adotados pela PNRH para dar suporte à gestão dos recursos hídricos é a outorga de direito de uso da água. Condicionado à disponibilidade

hídrica, o direito de uso dos recursos hídricos é conferido aos usuários por meio da outorga, sendo o elemento central do controle para o uso racional dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A competência para a emissão dos atos de outorga obedece a dominialidade constitucionalmente estabelecida (artigos 20, III; 26, I c/c 32 § 1º CF/88); assim, a outorga das águas superficiais é de competência da União, dos Estados e do Distrito Federal; e a das águas subterrâneas, dos Estados e do Distrito Federal.

A autoridade pública outorga o uso da água de tal modo que permita seu emprego produtivo bem como assegure ao gestor o controle quantitativo e qualitativo do seu uso. No entanto, poucos avanços têm sido evidenciados no intuito de integrar os diversos fatores requeridos no processo de outorga e facilitar a ação dos órgãos gestores e comitês de bacias (OLIVEIRA, 2008).

2.3. Vazões de referência e critérios para o processo de outorga

O estabelecimento dos critérios de outorga de direito de uso das águas, além de estar vinculado à disponibilidade hídrica, é dependente dos sistemas jurídicos e econômicos locais (SILVA *et al.*, 2006).

Nos rios do domínio da União, a Agência Nacional de Águas (ANA) detém a competência legal para conceder a outorga de direito de uso aos usuários. Nos rios do domínio dos Estados, os órgãos gestores de recursos hídricos estaduais são competentes para outorgar o uso de suas águas. Entretanto, muitos estados brasileiros não estabelecem a vazão máxima outorgável, sendo que, quando a mesma é definida, esta se baseia no uso de uma porcentagem da vazão de referência (RODRIGUES *et al.*, 2006).

A vazão de referência para o processo outorga (CRUZ E TUCCI, 2005; CRUZ, 2001; RIBEIRO, 2000; SILVEIRA *et al.*, 1998; KELMAN, 1997) é o valor de vazão que representa o limite superior de utilização da água em um curso de água e, normalmente é baseado em vazões de estiagem ou em vazões com alta probabilidade de superação. Somente certo percentual dessas vazões deve ser utilizado, sendo o restante considerado como vazão necessária para a manutenção do meio biótico (vazão residual ou vazão ecológica).

A análise das vazões mínimas observadas nos períodos de estiagem, também designados de períodos críticos, define a disponibilidade natural dos recursos hídricos, enquanto a disponibilidade potencial é determinada pela vazão média de longa duração

As vazões mínimas, caracterizadas pela magnitude, duração e frequência, utilizadas para concessão de outorgas a fio d'água são geralmente representadas pela vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) ou pelas vazões cujas probabilidades de superação são de 90% (Q_{90}) ou 95% (Q_{95}), enquanto que para concessão em barramentos é utilizada a vazão média de longa duração (Q_{mld}), que é a máxima vazão possível de ser regularizada, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração.

A ANA utiliza como critério de outorga, o uso de até 70% da Q_{95} , podendo variar em função das peculiaridades de cada região, não ultrapassando o limite de 20% para cada usuário individual. Já nos estados, dentre os que adotam critérios para outorga, cada um tem usado valores particulares pragmáticos para o estabelecimento das vazões de referência para outorga sem, no entanto, apresentar justificativas da adoção desses valores (CRUZ, 2001).

O Estado de Minas Gerais estabelece a vazão máxima outorgável, em condições ditas a fio d'água, em 30% da $Q_{7,10}$ (SCHVARTZMAN *et al.*, 1999). Quando do uso de práticas de regularização, a vazão residual não deve ser inferior a 70% da $Q_{7,10}$. O Estado de Minas Gerais, ao estabelecer tal critério, o mais restritivo entre aqueles utilizados nos diversos Estados brasileiros, reduz o uso da água a uma situação crítica que só ocorrerá durante 7 dias uma vez a cada 10 anos, ou seja, nos outros 9 anos e nos 358 dias restantes desse ano crítico, estar-se-á deixando passar para jusante vazões superiores a 70% de $Q_{7,10}$ (EUCLYDES *et al.*, 2006). O uso deste critério pode dificultar, em alguns momentos, o deferimento de processos em que ainda há grande disponibilidade hídrica na bacia (CASTRO *et al.* (2004),

Conforme Castro *et al.* (2002), existem bacias hidrográficas onde a demanda de água é elevada, principalmente, em regiões propícias ao desenvolvimento espontâneo ou provocado por programas governamentais de agricultura irrigada. Nessas situações, a prática tem demonstrado que a aplicação do limite de 30% da $Q_{7,10}$ impossibilita a adequada concessão de outorga aos usuários existentes. Além disso, conforme Medeiros e Naghettini (2001), o fato de esse valor ser calculado com base na análise dos períodos críticos de estiagem, mantido fixo ao longo de todo o ano, tem restringido um maior uso da água em meses fora do período de estiagem.

Ribeiro e Lanna (2003) afirmam que, apesar do significativo número de estudos no tema “outorga dos direitos de uso da água no país”, ainda existem vários desafios a serem vencidos, sejam nos aspectos teóricos e de concepção ou nos aspectos práticos de operacionalização dos sistemas de outorga. Dentre esses desafios poderiam ser citados:

a definição do valor adequado para a vazão máxima outorgada, a inexistência de dados fluviométricos nas bacias hidrográficas, o desconhecimento sobre usuários e respectivas demandas, as dificuldades na definição dos sistemas subterrâneos, o desenvolvimento de metodologias específicas para o estabelecimento dos valores adequados a serem outorgados como vazão

2.4. Variação temporal e espacial da disponibilidade hídrica

Para subsidiar o processo de outorga é fundamental o conhecimento da disponibilidade hídrica e suas variações espaciais e temporais ao longo da hidrografia.

Em muitos locais o regime de chuvas faz com que a disponibilidade hídrica varie expressivamente ao longo do ano e, conforme Medeiros e Naghettini (2001), o fato de o valor a ser outorgado, mantido fixo durante todo o ano, ser calculado com base na análise dos períodos críticos de estiagem, tem restringido um maior uso da água em meses fora do período de estiagem, além de causar incertezas no processo de outorga em regiões com grande variabilidade sazonal de vazões (BOF *et al.*, 2009).

Em simulações realizadas para a região hidrográfica do Baixo Rio Grande, pertencente ao Estado de Minas Gerais, Euclides *et al.* (2006) evidenciaram, considerando os valores de $Q_{7,10}$ correspondentes a dois períodos determinados do ano (período seco e período chuvoso), que o uso do critério da outorga sazonal, permitiu aumentar a vazão outorgada em até 61,80%.

Cruz (2007), ao avaliar as disponibilidades hídricas para outorga definidas por curvas de permanência que considerem a sazonalidade das vazões na bacia do rio Santa Maria, no Rio Grande do Sul, verificou que foram expressivas as diferenças de vazões outorgáveis entre os diversos meses. Deste modo, o autor ressalta a importância da adoção de valores mensais para a concessão de outorga, uma vez que este critério permite ao usuário planejar o quanto irá gastar de água em cada mês, de modo a otimizar seu uso.

Em estudo realizado para a bacia do rio Paracatu, afluente do São Francisco, Bof (2010) concluiu que a utilização de critérios baseados no uso das vazões mensais em substituição às anuais apresenta um alto potencial para o aumento do uso dos recursos hídricos em condições a fio d'água, sem que isso incorra em aumento do risco de dasabastecimento.

Os dados temporais de vazão podem ser obtidos diretamente ou indiretamente através do monitoramento em estações fluviométricas e pluviométricas,

respectivamente. No entanto, segundo Minella (2004) há uma grande dificuldade de obtenção das variáveis hidrológicas no Brasil, por não existir um programa eficiente de coleta e armazenamento de dados, sendo escassos e descontínuos os dados existentes.

Para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados uma técnica utilizada é a regionalização de vazões, considerada uma ferramenta de suma importância no gerenciamento dos recursos hídricos e definida como um processo de transferência de informações hidrológicas de uma seção com dados obtidos de uma estação fluviométrica para outras seções sem a presença de estação fluviométrica e, por conseguinte, sem dados hidrológicos (FILL, 1987).

A regionalização permite ajustar um modelo de regressão entre os dados de vazão obtidos nas estações fluviométricas e as características físicas e climáticas da bacia, sendo o modelo gerado utilizado para prever a vazão em locais sem dados hidrológicos. A seleção de um número representativo de estações fluviométricas e de séries históricas não muito curtas e com poucas falhas é de grande importância para a obtenção de resultados mais fidedignos (OLIVEIRA, 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do ribeirão Entre Ribeiros, um dos principais afluentes da bacia do rio Paracatu, apresenta pequena variação da proporção de contribuição para a formação da vazão deste rio ao longo do ano e igual a 8% (BRASIL, 1996). Esta sub-bacia está localizada entre os paralelos 16° 30' e 17° 16' de latitude Sul e os meridianos 46° 15' e 47° 05' de longitude Oeste. A sub-bacia do Entre Ribeiros abrange aproximadamente 3.973 km², situados integralmente no Estado de Minas Gerais (Figura 1), dentro dos limites territoriais dos municípios de Paracatu e Unaí, fazendo parte da mesorregião Noroeste do Estado (Figura 2).

O clima na bacia do Entre Ribeiros é predominantemente tropical chuvoso, com a ocorrência de dois períodos distintos no ano, verão chuvoso e inverno seco. A precipitação média anual está em torno de 1.100 a 1.600 mm, distribuídas desigualmente ao longo do ano, estando, entre os meses de novembro e março, acumulados 81% das chuvas que ocorrem durante o ano (DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO ENTRE RIBEIROS, 2003)

A evapotranspiração potencial média anual é de 1.140 mm com valores mensais variando de um mínimo, de 50 a 80 mm, nos meses de junho e julho, a um máximo, de 90 a 163 mm, nos meses de outubro a março (BRASIL, 1996).

O balanço hidroclimático apresentado por Brasil (1996) mostrou que, durante o período de maio a setembro ocorre déficit hídrico em toda a bacia, enquanto nos meses de dezembro a fevereiro ocorre excesso hídrico.

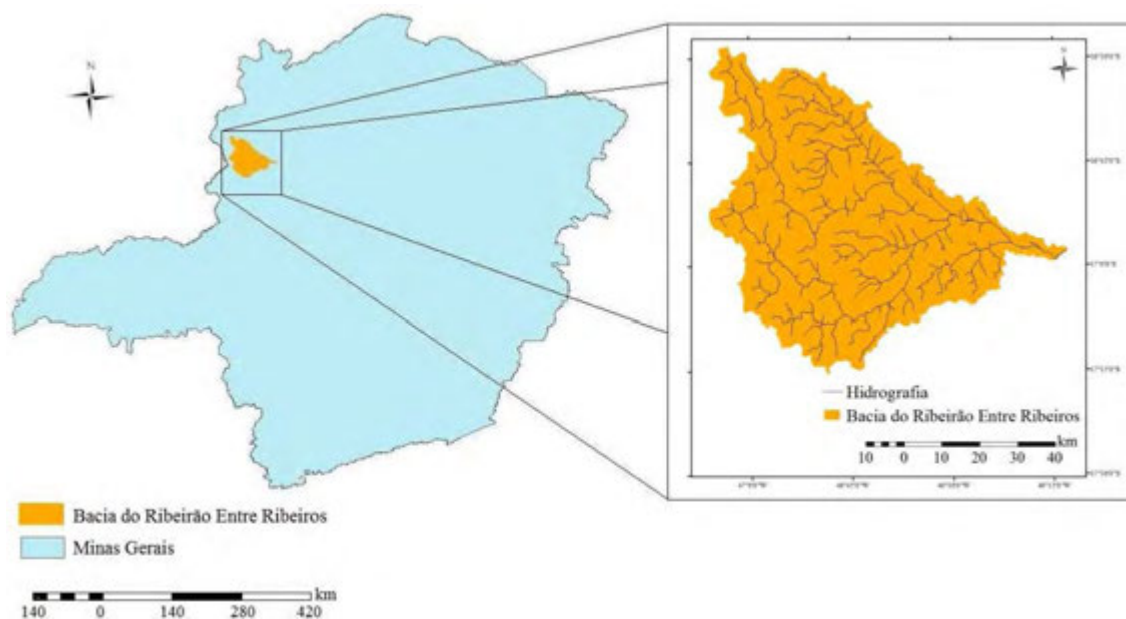


Figura 1 – Representação geográfica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros.

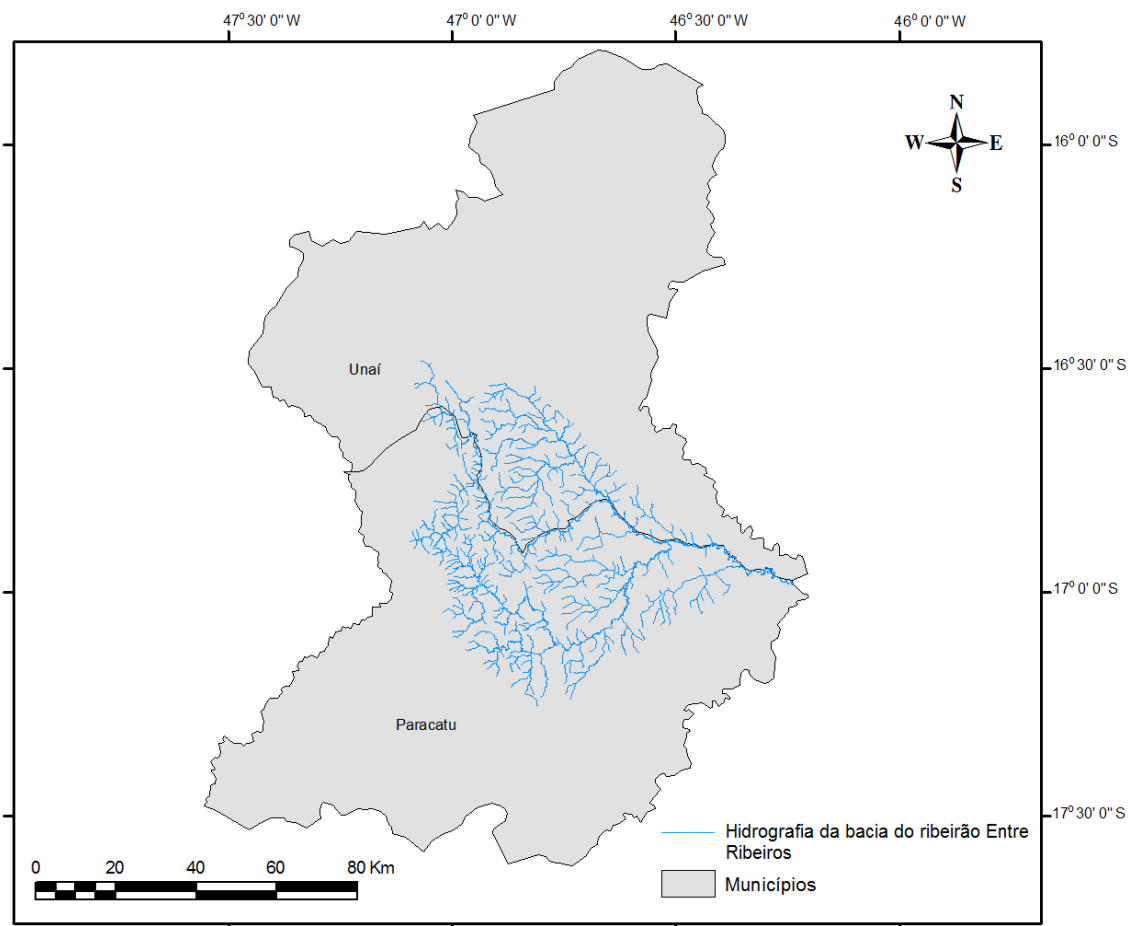


Figura 2 – Representação da hidrografia da bacia do ribeirão Entre Ribeiros, inserida nos municípios de Paracatu e Unai.

O principal uso da água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros é a irrigação. As vazões consumidas pela irrigação, no ano de 1996, ano do último Censo Agropecuário publicado, na área de drenagem correspondente à estação Barra da Égua, representaram mais de 91% do total consumido na bacia, seguido pelo abastecimento animal, com 7,9%, e abastecimento rural, com 0,5% (RODRIGUEZ, 2007).

Quanto ao escoamento das águas, a região da bacia do Entre Ribeiros é bem drenada, e tem como principais cursos d'água o ribeirão do Carmo, o ribeirão da Aldeia, o ribeirão Santa Rita, o córrego da Conceição, o córrego Boa Esperança, o ribeirão São Pedro, o córrego Vereda Grande e o ribeirão Entre Ribeiros (Figura 3).

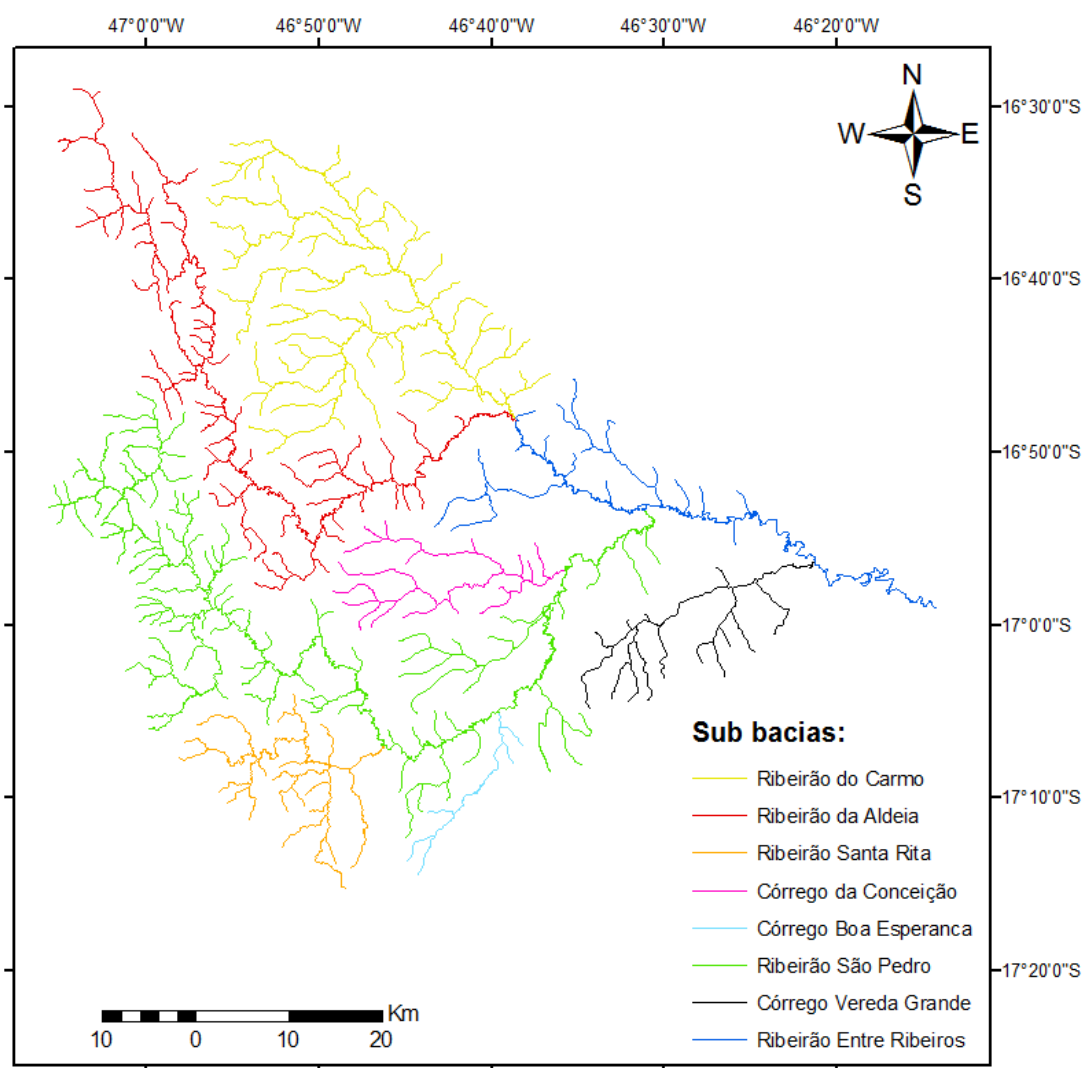


Figura 3 – Principais sub-bacias na bacia do ribeirão Entre Ribeiros.

3.2. Demandas de uso da água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros

Para quantificar os usos de água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros foram consideradas no estudo as outorgas superficiais, a fio d'água e em barramentos, emitidas pelo órgão responsável pela concessão de direito de uso dos recursos hídricos em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

Os dados referentes às outorgas foram obtidos por consulta aos processos de outorga, disponíveis para acesso no arquivo físico do IGAM, no prédio do Sistema Estadual de Meio Ambiente, SISEMA-Gameleira, em Belo Horizonte. Foram consultados os processos relativos às outorgas válidas e concedidas até junho de 2010, quando foi feita a consulta aos arquivos.

Utilizando as coordenadas geográficas de cada seção da hidrografia com outorga foram inseridos pontos ao longo da hidrografia da Base Hidrográfica Topologicamente Consistente Ottocodificada do Estado de Minas Gerais (BHTCOMG), cedida pelo IGAM. A cada ponto de outorga foram associados os valores demandados em cada mês ao longo do ano, considerando que todas as retiradas são feitas a fio d'água, independente da condição real ser a fio d'água ou em barramento, durante 24 horas por dia e 30 dias por mês. Esta consideração foi feita com base no princípio da superposição das informações, ou seja, para fins de contabilização foi considerado que todas as outorgas aconteciam de forma simultânea ao longo da hidrografia.

As análises das demandas foram feitas em base mensal e foi considerado o valor total de demanda, em cada trecho da hidrografia, obtido a partir do somatório dos valores outorgados nos pontos a montante da confluência do trecho considerado com o trecho subsequente em cada mês.

3.3. Quantificação da vazão disponível para outorga na bacia do ribeirão Entre Ribeiros

A vazão mínima de referência foi caracterizada pela vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de retorno ($Q_{7,10}$), por ser esta a vazão mínima de referência no Estado de Minas Gerais, sendo quantificada em bases anual e mensal e obtidas usando técnicas de regionalização de vazões.

3.3.1. Dados utilizados no estudo e seleção do período base

Considerando a existência de apenas duas estações fluviométricas na bacia do Entre Ribeiros, para realização do estudo de regionalização de vazões foram utilizados dados consistidos de outras seis estações fluviométricas, situadas em sub-bacias próximas (Tabela 1 e Figura 4), escolhidas de acordo com os limites da região homogênea definida por Rodriguez (2008), e de 10 estações pluviométricas, selecionadas em áreas próximas à fronteira da bacia do Entre Ribeiros e com mais de 95% dos dados nas séries históricas (Tabela 2 e Figura 5).

Todas as estações selecionadas são pertencentes à rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA).

Após a obtenção das séries históricas de cada estação foi feita a análise de disponibilidade de dados em cada ano e, com base nesta análise, foi escolhido um período comum de estudo, denominado período base, que abrange a menor quantidade de falhas nas séries históricas. O período base adotado tanto para vazão como para precipitação foi de 1975 a 2005. No Apêndice A estão apresentados os diagramas de barras das estações em estudo.

Tabela 1 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Longitude (Oeste)	Latitude (Sul)	Curso d'água
42435000	Fazenda Barra da Égua	46°35'12"	16°52'28"	Ribeirão Barra da Égua
42440000	Fazenda Poções	46°49'04"	17°02'31"	Ribeirão São Pedro
42460000	Fazenda Limeira	47°13'58"	16°12'35"	Rio Preto
42490000	Unai	46°52'48"	16°20'58"	Rio Preto
42540000	Santo Antônio do Boqueirão	46°43'16"	16°31'47"	Rio Preto
42545500	Fazenda o Resfriado	46°39'46"	16°30'10"	Ribeirão Roncador
42546000	Fazenda Santa Cruz	46°44'52"	16°08'06"	Rio Salobro
42600000	Porto dos Poções	46°21'26"	16°50'23"	Rio Preto

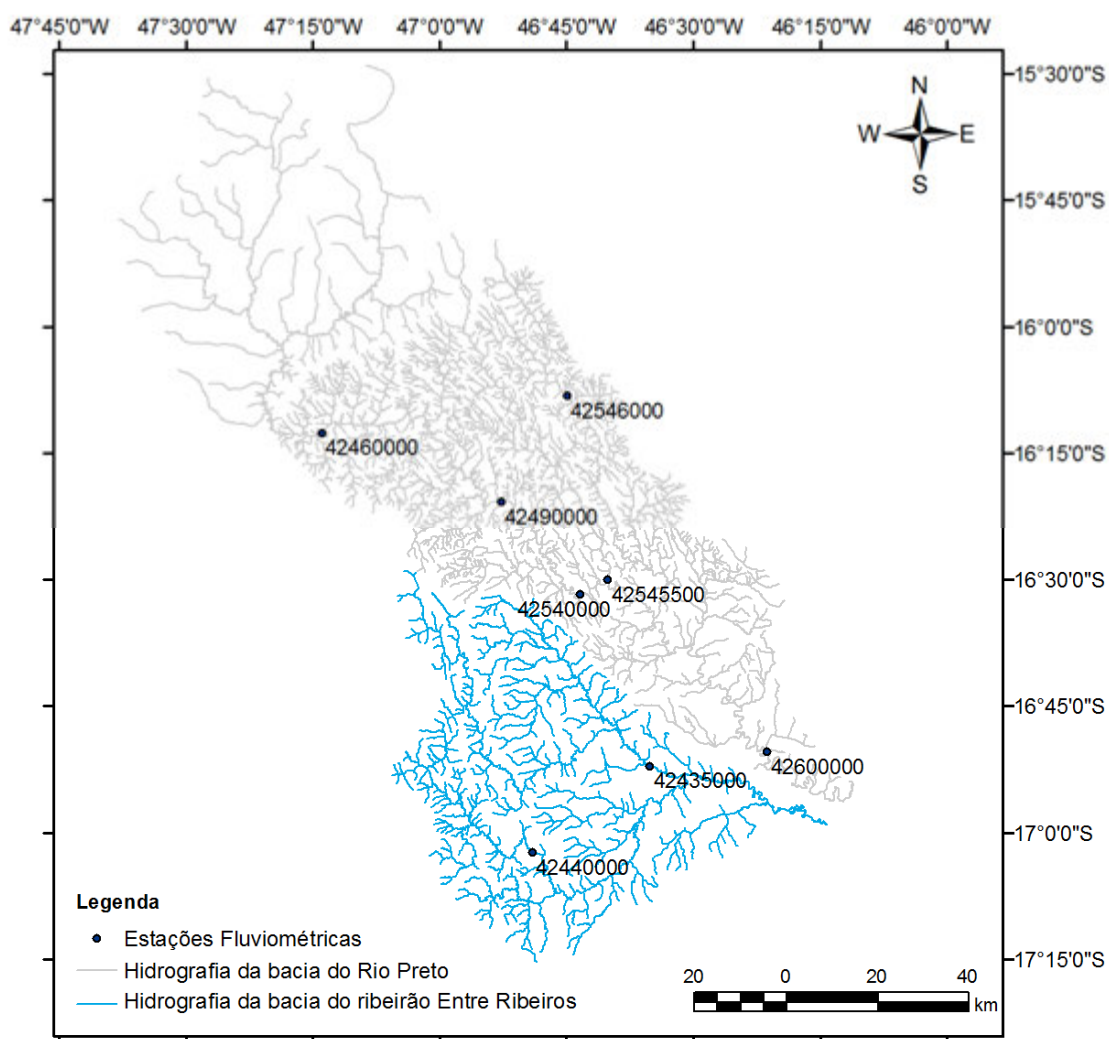


Figura 4 - Localização das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Tabela 2 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Longitude (Oeste)	Latitude (Sul)	Altitude (m)
1546005	Cabeceiras	46°55'29"	15°48'03"	900
1547002	Planaltina	47°36'47"	15°27'11"	1000
1645002	Santo Inácio	45°24'51"	16°16'54"	460
1646000	Porto dos Poções	46°19'20"	16°49'47"	540
1646001	Unai	46°53'23"	16°21'05"	-
1646003	Santo Antonio do Boqueirão	46°43'23"	16°31'45"	-
1647001	Ponte São Bartolomeu	47°48'04"	16°32'17"	790
1647002	Cristalina	47°36'22"	16°45'22"	1239
1746001	Porto da Extrema	46°00'45"	17°01'29"	510
1746002	Santa Rosa	46°28'30"	17°15'17"	490

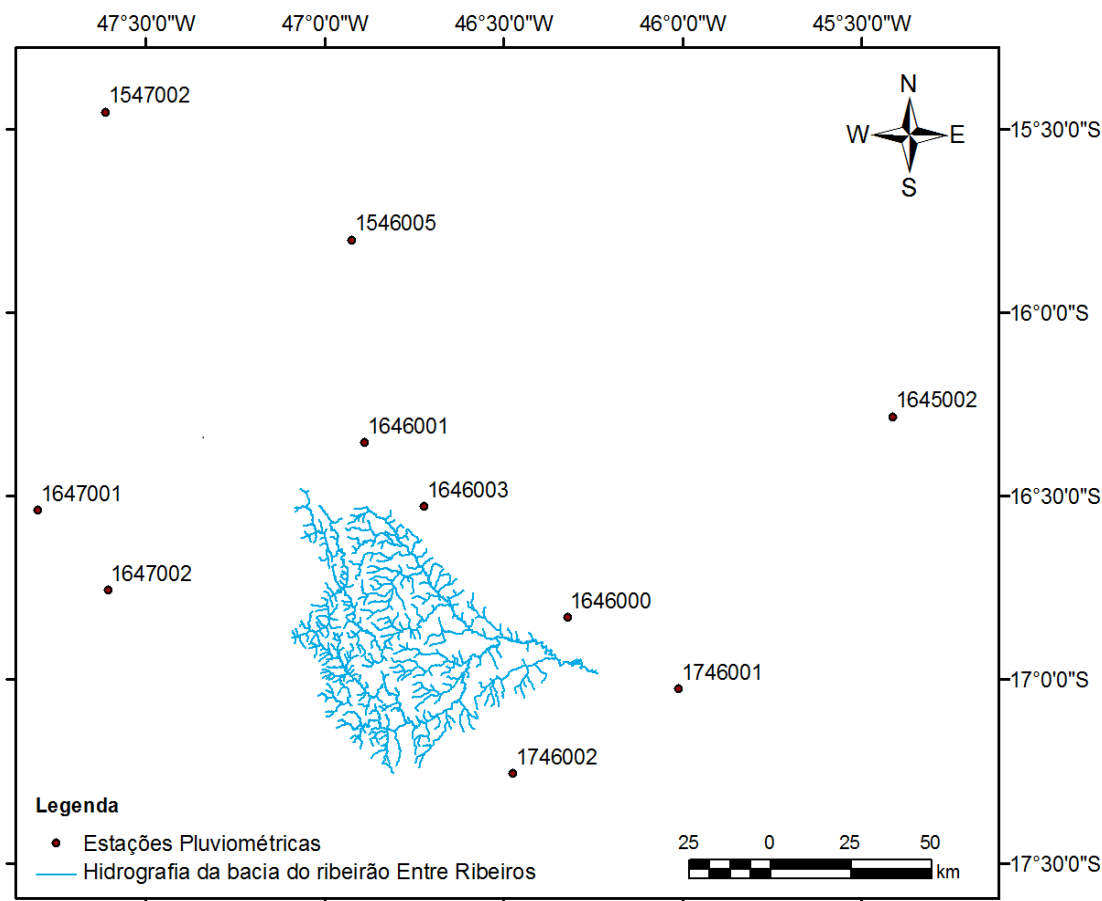


Figura 5 - Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

3.3.2. Obtenção da vazão mínima de referência ($Q_{7,10}$)

A estimativa da $Q_{7,10}$ foi realizada utilizando o programa SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUSA, 2009), considerando o início do ano hidrológico em janeiro (ano civil) e definindo um descarte dos anos com 5% ou mais de falhas nas séries históricas.

Para obtenção das vazões mínimas, o SisCAH utiliza as distribuições de densidade de probabilidade Logpearson 3, Pearson 3, Normal, Lognormal 2, e Weibull, sendo, para tais distribuições, a estimativa da magnitude de um evento com determinado período de retorno dada pela equação

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

em que:

M = magnitude do evento para o período de retorno estabelecido;

μ = média dos eventos;

- k = fator de frequência, calculado para cada tipo de distribuição, conforme metodologia descrita por Kite (1988); e
- σ = desvio padrão dos eventos.

No caso da estimativa da $Q_{7,10}$ anual, os eventos utilizados foram as menores médias de sete dias consecutivos (Q_7) observadas em cada ano do período base da série histórica de vazão. Já para a estimativa dos valores de $Q_{7,10}$ mensais foi obtido um valor de Q_7 para cada mês de cada ano do período base e o conjunto de todos os valores de Q_7 em cada mês constituiu uma nova série de eventos. Às séries de eventos de Q_7 (anual e mensais) aplicou-se a análise das distribuições de densidade de probabilidade, adotado um período de retorno de 10 anos na estimativa da variável de interesse $Q_{7,10}$.

A melhor estimativa correspondeu a distribuição de densidade de probabilidade que apresentou menor amplitude do intervalo de confiança dentre as estimativas obtidas por cada distribuição, sendo esta indicada automaticamente pelo SisCAH 1.0.

3.3.3. Regionalização de vazões

3.3.3.1. Variáveis dependentes

A variável dependente utilizada para a regionalização de vazões na bacia do Entre Ribeiros foi a vazão em estudo, ou seja, a vazão mínima de referência ($Q_{7,10}$) obtida para cada estação fluviométrica.

3.3.3.2. Variáveis independentes

As variáveis independentes utilizadas no estudo representam as características físicas e climáticas da bacia.

Como característica física da bacia foi utilizada a área de drenagem, por ser esta a característica física que mais interfere no processo de formação das vazões médias e mínimas (RIBEIRO *et al.*, 2005). A área de drenagem de cada trecho da hidrografia foi obtida na Base Hidrográfica Topologicamente Consistente Ottocodificada do Estado de Minas Gerais (BHTCOMG)

Como característica climática foi utilizada a precipitação média anual, tendo em vista o estudo realizado por Rodriguez (2008), que evidenciou que a consideração da

precipitação no estudo de regionalização de vazões na bacia do Paracatu permitiu uma melhor qualidade do ajuste.

Na Figura 6 é apresentado o mapa resultante da interpolação dos dados relativos à precipitação média anual, obtido pela interpolação dos dados das estações pluviométricas no período base, pelo método do inverso do quadrado da distância (IDW).

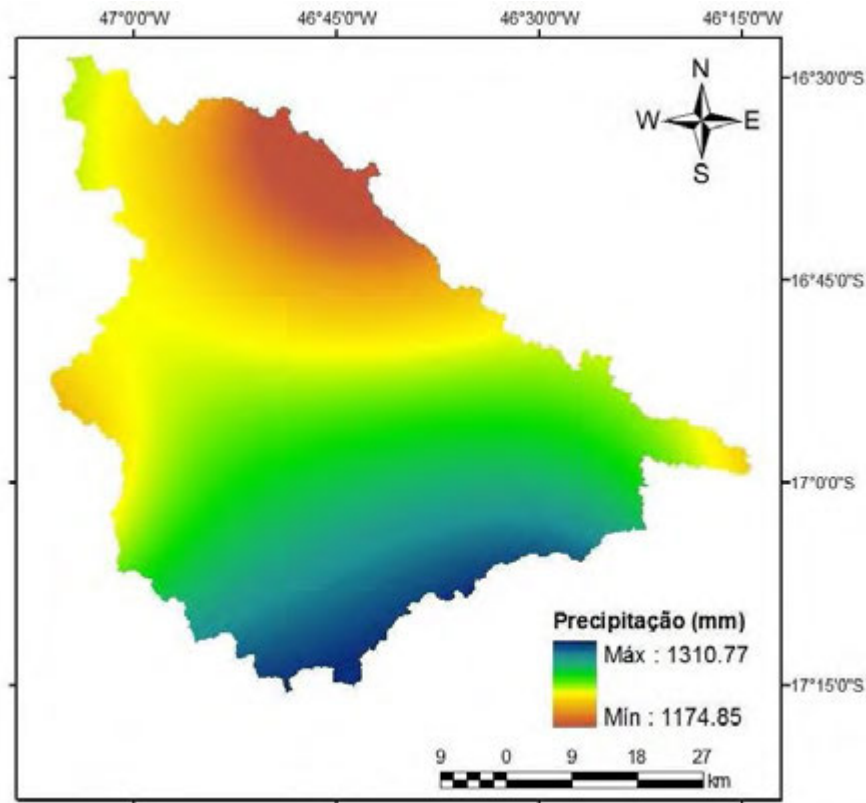


Figura 6 – Mapa da precipitação média anual na bacia do ribeirão Entre Ribeiros.

A precipitação média foi utilizada na obtenção da vazão equivalente ao total precipitado na bacia, que é uma variável que engloba precipitação média anual e área de drenagem, calculada pela equação

$$P_{eq} = \frac{P A}{31.536} \quad (2)$$

em que:

P_{eq} = vazão equivalente ao volume precipitado, $m^3 s^{-1}$;

P = precipitação média anual na área de drenagem considerada, $mm \text{ ano}^{-1}$; e

A = área de drenagem, km^2 .

O denominador (31.536) representa a conversão de milímetro para metro e de ano para segundos. A utilização da vazão equivalente proporciona uma representação bidimensional da relação entre a variável dependente (vazão) e as independentes (área de drenagem e precipitação média anual) e permite o ganho de um grau de liberdade na análise estatística.

Embora a precipitação média anual seja uma variável explicativa do processo de formação das vazões mínimas e médias, considera-se que esta não reflita efetivamente a contribuição para a formação destas vazões, pois para que haja a ocorrência do escoamento no leito do rio advindo da contribuição subterrânea, é necessário que, primeiramente, a precipitação venha suprir o déficit de água existente na zona de aeração do solo, que, por sua vez, depende das características do solo, da cobertura vegetal e do processo de evapotranspiração. Desse modo, Novaes (2005) propôs o conceito de inércia hídrica, que é a precipitação mínima necessária para garantir a recarga do lençol freático, e estimou que, para a bacia do Paracatu, a vazão deve se tornar nula no início do período de recessão para precipitações médias anuais inferiores a 750 mm.

Neste estudo, para a consideração da inércia hídrica foi subtraído o valor correspondente a 750 mm para cada pixel do mapa da precipitação média anual, sendo atribuído o valor zero quando a inércia foi maior que a precipitação. Assim, foi utilizada a equação

$$P_{eq750} = \frac{(P - 750) A}{31.536} \quad (3)$$

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

Desta forma, as variáveis independentes utilizadas 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}).

3.3.3.3. Método de regionalização

A regionalização das vazões foi feita utilizando o programa SisCoRV - Sistema Computacional para Regionalização de Vazões (SOUSA., 2009), empregando o Método

Tradicional por ter sido este o método que, no estudo de Rodriguez (2008), melhor representou o comportamento das vazões médias e mínimas na bacia do Paracatu.

Para o Método Tradicional, o SisCoRV permite a obtenção de equações de regionalização de vazões utilizando os seguintes modelos de regressão: linear (Equação 4), potencial (Equação 5), exponencial (Equação 6), logarítmico (Equação 7) e recíproco (Equação 8).

$$Q_{\text{lin}} = a + b X \quad (4)$$

$$Q_{\text{pot}} = a X^b \quad (5)$$

$$Q_{\text{exp}} = a e^{bX} \quad (6)$$

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

$$Q_{\text{rec}} = (a + bX)^{-1} \quad (8)$$

em que:

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

3.3.3.4. Critérios para a seleção das equações de regionalização

Uma vez obtidas as equações de regionalização, utilizando os diferentes modelos de regressão e as variáveis topológica e climáticas consideradas no estudo, procedeu-se a escolha do ajuste que melhor representou as condições hidrológicas da bacia do Ribeirão Entre Ribeiros, sendo este aplicado para a regionalização da variável dependente considerada ($Q_{7,10}$), para o período anual e mensal.

Para a escolha, foram analisados os melhores ajustes estatísticos, com base no maior coeficiente de determinação (R^2) e nos menores valores do erro relativo entre o valor observado e o estimado.

O erro relativo ou resíduo relativo representa o quanto a vazão estimada pela equação de regionalização se diferencia da vazão calculada com base nos dados observados nas estações em termos relativos e pode ser obtido pela equação

$$ER(\%) = \left[\frac{(Q_{obs} - Q_{reg})}{Q_{obs}} \right] 100 \quad (9)$$

em que:

Q_{obs} = vazão estimada com base nos dados observados na estação fluviométrica, $m^3 s^{-1}$; e

Q_{reg} = vazão estimada pela equação de regionalização, $m^3 s^{-1}$.

As equações de regionalização selecionadas foram inseridas no banco de dados da BHTCOMG, permitindo a quantificação da disponibilidade hídrica em cada trecho da hidrografia, considerando para tanto o ponto de confluência entre o trecho considerado e o trecho de jusante.

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

Segundo Tucci (2002), a regionalização de vazões não é um método seguro para a extrapolação hidrológica, devido à variabilidade das escalas dos processos hidrológicos. O autor ressalta que existe a tendência de utilização da regionalização de forma generalizada sem um questionamento maior da qualidade de seus resultados, o que pode comprometer o processo de tomada de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos, gerando conflitos.

Normalmente, recomenda-se que as equações obtidas na regionalização sejam aplicadas apenas dentro do intervalo das áreas de drenagem das estações fluviométricas utilizadas no estudo. Entretanto, a baixa densidade de estações em varias regiões do país faz com que seja necessária a extrapolação das equações de regionalização para além dos limites das áreas de drenagem de estações em estudo.

Rodriguez (2008) sugeriu uma alternativa para a estimativa das vazões mínimas nas regiões de cabeceira, locais onde, normalmente, as equações de regionalização tendem a superestimar os valores dessas vazões. Essa proposição utilizou o maior valor calculado do indicador do comportamento físico da vazão como o valor limite para os

indicadores estimados pelas equações, possibilitando uma extrapolação segura da regionalização.

Para as vazões mínimas o indicador utilizado neste estudo foi a vazão mínima específica ($q_{7,10}$). Sendo assim, quando a vazão específica mínima estimada pela equação de regionalização no trecho for maior que o maior valor de vazão específica calculado nas estações fluviométricas, a vazão mínima passa a ser estimada pela equação

$$Q_{7,10_ajust} = \frac{q_{7,10_lim} A}{1.000} \quad (10)$$

em que:

$$\begin{aligned} Q_{7,10_ajust} &= Q_{7,10} \text{ ajustada com base na vazão específica limite, } m^3 s^{-1}; \\ q_{7,10_lim} &= \text{máxima } q_{7,10} \text{ das estações fluviométricas, } L s^{-1} km^{-2}; \text{ e} \\ A &= \text{área de drenagem, } km^2. \end{aligned}$$

3.4. Avaliação do impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mensais na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros

A avaliação do impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mensais foi feita para cada uma das oito estações fluviométricas utilizadas e ao longo da hidrografia.

Para as estações fluviométricas utilizadas foram comparados os valores de $Q_{7,10}$ anuais e mensais, observando-se a variação da diferença relativa entre as vazões mensais e anual para cada uma das oito estações.

Para fazer a comparação entre as vazões mínimas anuais e mensais ao longo da hidrografia, as vazões regionalizadas obtidas nas bases anual e mensais foram espacializadas ao longo da BHTCOMG e a comparação foi realizada para cada trecho da hidrografia.

O processo para o cálculo das diferenças relativas entre as vazões foi realizado utilizando a equação

$$DH_{\%} = \frac{Q_{mensal} - Q_{anual}}{Q_{anual}} \times 100 \quad (11)$$

em que:

DH% = diferença relativa entre o critério mensal e anual, %;

Q_{mensal} = $Q_{7,10}$ obtida em base mensal, $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$; e

Q_{anual} = $Q_{7,10}$ obtida em base anual, $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$.

Os dados obtidos foram divididos em intervalos de classes e exibidos em mapas da hidrografia, onde os rios foram coloridos de acordo com a classe de diferença relativa em que se enquadraram.

Também foi realizada uma análise de frequência, relacionando as diferenças relativas com a ocorrência nos trechos da hidrografia, para verificar a distribuição dos valores de DH% na bacia, empregando o procedimento usado por Bof (2010).

3.5. Avaliação do impacto do uso de diferentes critérios de outorga na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros

Para a estimativa da vazão disponível para outorga são requeridas as informações sobre a vazão mínima de referência, da qual uma parte pode ser retirada, e informações sobre as outorgas já emitidas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho subsequente. Assim, a vazão disponível para outorga em um trecho i é expressa pela equação

$$Q_{\text{disp } i} = \frac{x Q_{7,10}}{100} - \sum Q_{\text{mt } i} \quad (12)$$

em que:

$Q_{\text{disp } i}$ = vazão disponível para outorga no segmento i , $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;







x = porcentagem da $Q_{7,10}$ permissível para outorga, %; e

$\sum Q_{\text{mt } i}$ = somatório das vazões já outorgadas a montante do segmento i , inclusive as vazões outorgadas no próprio segmento i , $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

A análise da situação de cada segmento da hidrografia em relação ao percentual da vazão de referência utilizado foi feita considerando as demandas e disponibilidades em cada trecho da hidrografia.

Foi analisada, para cada trecho e em cada mês, a relação entre o somatório das vazões outorgadas nos pontos a montante da confluência do trecho considerado com o trecho subsequente e a $Q_{7,10}$, calculada em bases anual e mensal.

Foram elaborados mapas nos quais os trechos foram coloridos de acordo com a proporção de utilização da $Q_{7,10}$. Para fins de caracterização dos segmentos da hidrografia utilizou-se a seguinte escala de cores:

	Trechos sem outorga ou não impactados por outorgas de montante.
	Vazão outorgada variando entre 0 e 30% da $Q_{7,10}$
	Vazão outorgada variando entre 30 e 50% da $Q_{7,10}$
	Vazão outorgada variando entre 50 e 100% da $Q_{7,10}$
	Vazão outorgada variando entre 100 e 200% da $Q_{7,10}$
	Vazão outorgada maior que 200% da $Q_{7,10}$

3.5.1. Critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual

A primeira análise realizada considerou o critério usado pelo IGAM para a concessão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos em Minas Gerais, que é baseado na Portaria nº 010/98, e que estipula, no parágrafo 1º do artigo 8º, que “até que se estabeleçam as diversas vazões de referência na Bacia Hidrográfica, será adotada a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência), para cada Bacia”, sendo esta calculada em uma base anual, e resolve no parágrafo 2º do mesmo artigo “fixar em 30% (trinta por cento) da $Q_{7,10}$, o limite máximo de derivações consuntivas a serem outorgadas na porção da bacia hidrográfica limitada por cada seção considerada, em condições naturais, ficando garantido a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da $Q_{7,10}$ ”.

Nesta análise foram confrontados os dados de demanda em cada mês com os valores de vazão disponíveis para serem outorgadas, de acordo com o critério de 30% da $Q_{7,10}$ anual. A análise foi feita trecho a trecho ao longo da hidrografia, visando avaliar a condição de déficit ou disponibilidade de vazão permissível para uso, considerando as vazões já outorgadas em relação às máximas permissíveis.

3.5.2. Critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ mensal

Uma vez que a disponibilidade de água varia expressivamente ao longo do ano, a utilização do critério baseado no uso das vazões mínimas anuais implica numa restrição única ao longo de todo o ano, quando, na verdade, esta restrição é específica para um período, sendo que, mesmo neste período, a disponibilidade pode ser aumentada pela consideração da sazonalidade de variação das vazões.

Dessa forma, a segunda análise foi feita confrontando os valores mensais de demanda com os valores de vazão disponível para ser outorgada nos meses correspondentes. Foi mantido o critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$, usado para outorga no Estado de Minas Gerais, porém, nesta análise, foi utilizada a $Q_{7,10}$ calculada em base mensal.

3.5.3. Critério baseado no uso de 50% da $Q_{7,10}$ (anual e mensal)

Tendo em vista a alegação de que o critério utilizado no Estado de Minas Gerais, o mais restritivo do país, impõe limites muito baixos para o uso da água, restringindo o desenvolvimento econômico e social, e o fato de que a própria legislação mineira abre a possibilidade de que o valor de vazão mínima de referência possa ser alterado, procedeu-se a análise do uso do critério baseado em 50% da $Q_{7,10}$.

O critério baseado no uso de 50% da $Q_{7,10}$ é atualmente usado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) para concessão de outorgas no Estado de São Paulo, de acordo com a Lei no 9.034 de 27 de dezembro de 1994, e é considerado o segundo critério mais restritivo dentre aqueles utilizados pelos órgãos gestores em todo o país. Este critério, apesar de ter a $Q_{7,10}$ como vazão mínima de referência, que é a mesma usada pelo IGAM, é um pouco menos restritivo ao considerar 50% ao invés de apenas 30% desta vazão.

As análises baseadas neste critério consideraram, assim como para o critério usado pelo IGAM, as disponibilidades anual e mensal. O impacto da substituição do uso do critério de 30% da $Q_{7,10}$ pelo critério de 50% da $Q_{7,10}$, tanto em uma base anual como em uma mensal, foi avaliado pela comparação das alterações ocorridas na situação de cada trecho.

3.5.4. Regularização de vazões

O aumento dos valores de vazão disponível para outorga também pode ser obtido por meio da regularização de vazões. Sendo assim, para os trechos onde, mesmo após a aplicação do critério de uso de 50% da $Q_{7,10}$ mensal, o somatório das vazões outorgadas a montante de cada trecho superou a vazão máxima outorgável, foram analisados os valores demandados em cada trecho de outorga e a influência exercida pelas outorgas deste trecho sobre a situação de cada trecho de jusante caso houvesse a instalação de barramentos visando a regularização de vazões para atendimentos às demandas no trecho analisado.

Foi feita a simulação da presença de reservatórios nos trechos com disponibilidade insuficiente para atender as demandas na condição de retiradas a fio d'água, considerando a instalação de um barramento que atendesse as outorgas do trecho e, a cada barramento simulado, uma nova análise da situação de cada trecho a jusante em relação à vazão disponível para outorga foi feita. No trecho em que foi simulada a presença de barramento, as outorgas que, numa primeira análise, estavam sendo consideradas como retiradas a fio d'água deixaram de ser contabilizadas no acúmulo das outorgas dos próximos trechos analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Demandas de uso da água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros

Na Figura 7 é apresentada a espacialização dos pontos de outorga ao longo da hidrografia da bacia do ribeirão Entre Ribeiros e no Apêndice B estão apresentados os dados de vazão em cada mês, associados a cada uma destas outorgas.

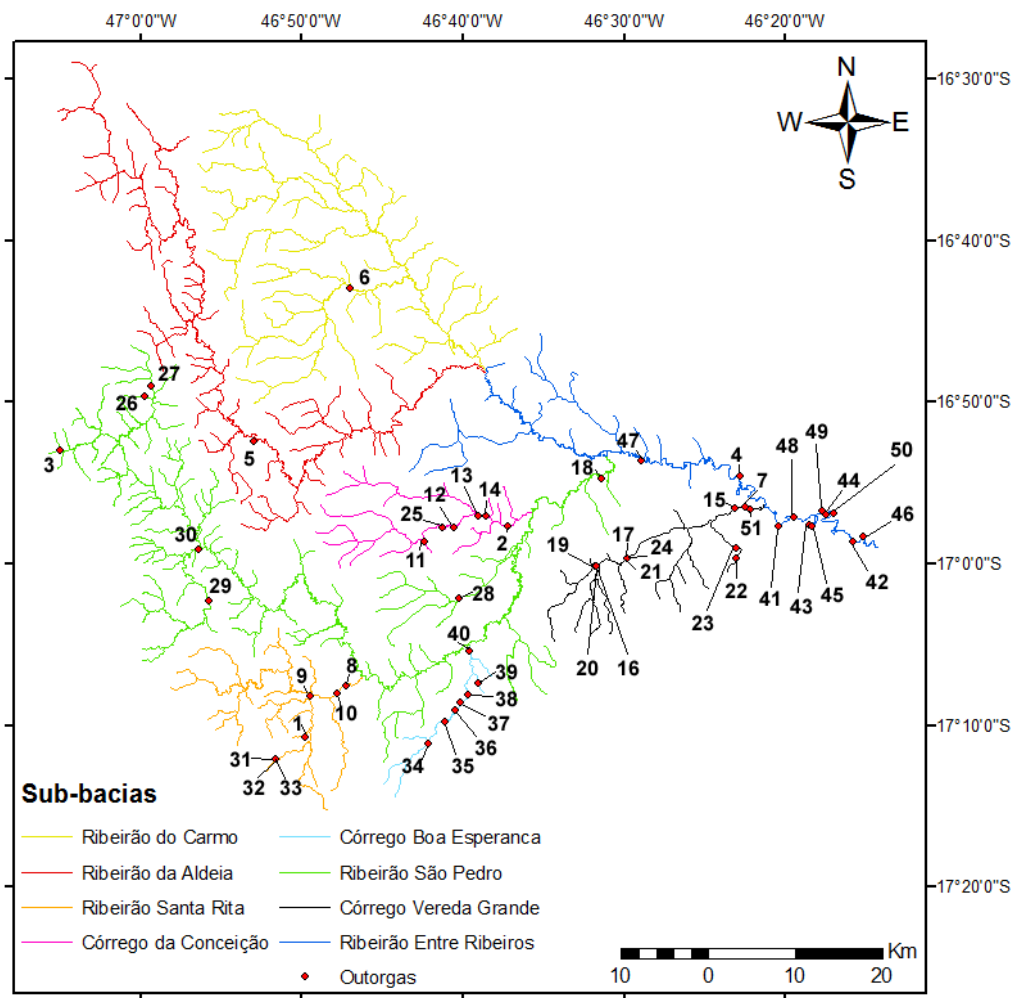


Figura 7 – Pontos de outorga ao longo da hidrografia da bacia do Entre Ribeiros.

Na Figura 7 observa-se que as outorgas estão mais concentradas nas partes Sul e Leste da bacia e estão localizados principalmente nas sub-bacias do ribeirão São Pedro, do córrego da Conceição, do córrego Boa Esperança, do córrego Vereda Grande, do ribeirão Santa Rita e do ribeirão Entre Ribeiros.

Tal concentração pode ser justificada pelas políticas públicas de ocupação do cerrado que favoreceram o desenvolvimento da região, principalmente após a década de 70, com incentivos do governo e por meio de acordos bilaterais, tais como o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER).

No âmbito do PRODECER I, instalado nos municípios de Iraí de Minas, Coromandel e Paracatu, a Companhia de Promoção Agrícola (CAMPO), do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, coordenou e executou a implantação dos Projetos de Colonização Paracatu-Entre Ribeiros (PCPERs I, II, III e IV), sendo o ribeirão Entre Ribeiros fonte de abastecimento para o PCPER I (BRITO *et al.*, 2003) e, para os outros projetos de colonização, a água utilizada para irrigação é retirada do rio Paracatu (Figura 8). Segundo Santos (2007) há uma maior susceptibilidade à escassez hídrica para os produtores do PCPER I, pelo fato deste ser abastecido pelo Entre Ribeiros, onde a oferta hídrica é expressivamente inferior à do rio Paracatu.

Além das retiradas no PCPER I, há o impacto de uma grande quantidade de outorgas existentes nas áreas de contribuição dos tributários do Entre Ribeiros, sobretudo nos cursos d'água ribeirão Santa Rita, córrego Boa Esperança, córrego da Conceição e córrego Vereda Grande, gerando reflexos na disponibilidade hídrica de toda bacia.

Santos (2007) cita que o consumo anual calculado para o Entre Ribeiros chega a 130,4 milhões de m³, o que corresponde a 15,8% do que é ofertado na bacia, indicando a necessidade de medidas que otimizem o uso da água neste curso d'água e nos trechos de montante, além de criar condições de aumento de produção de água e de regularização de vazões.

Na Figura 7 pode ser observado também que muitas das seções com outorga estão localizados em regiões de cabeceiras, onde grandes demandas, associadas à baixa disponibilidade, fazem com que sejam evidenciadas situações de escassez durante grande parte do ano. Brasil (2004) relaciona os conflitos e as evidências de agravamento dos mesmos tanto a práticas perdulárias de utilização de água em áreas de baixa disponibilidade (cabeceiras) quanto à ausência da gestão adequada dos recursos hídricos. Além disso, há ainda o fato de que o período de maior demanda pelos recursos hídricos geralmente coincide com o período de menor disponibilidade.

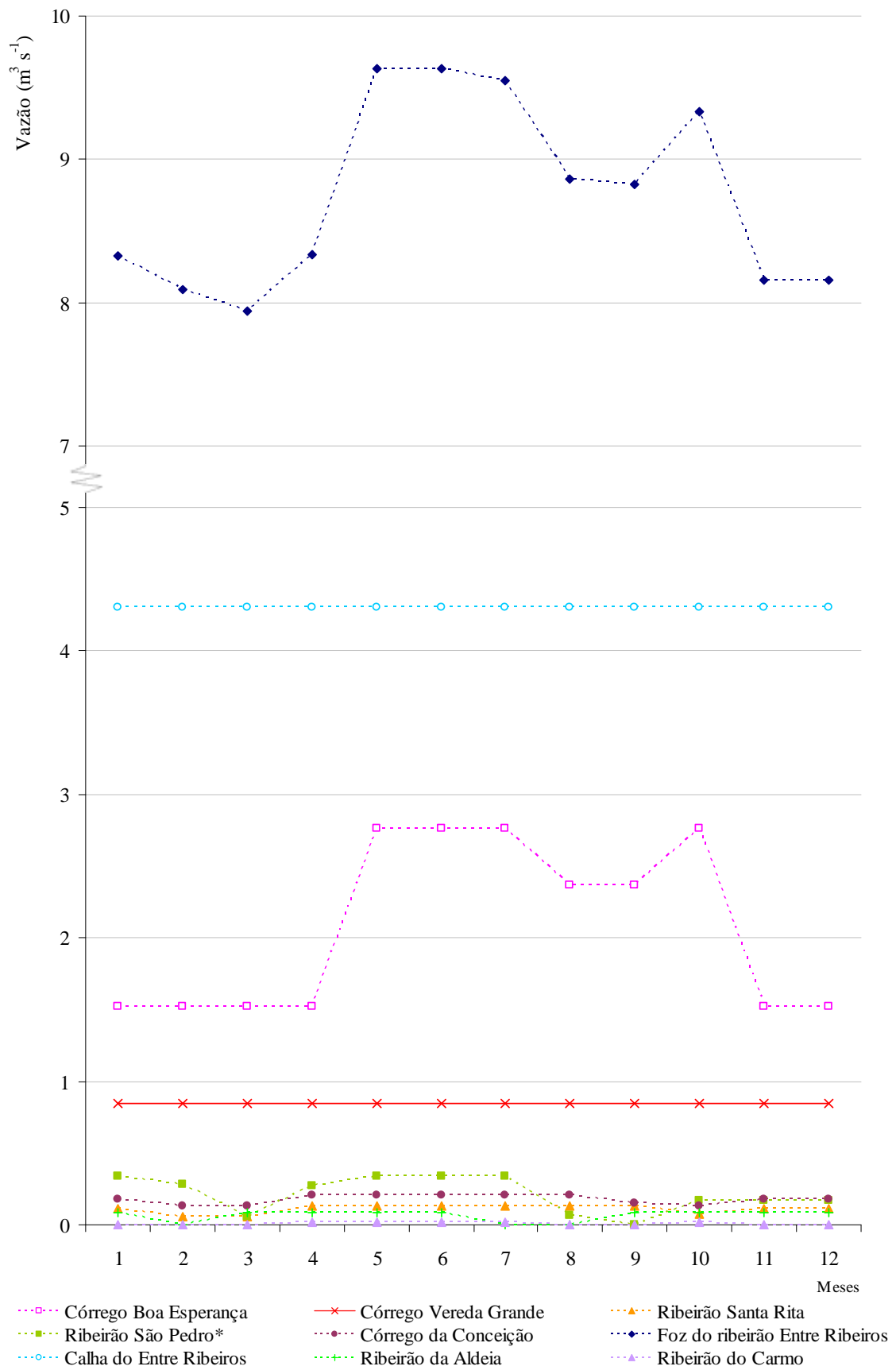
Na região em estudo, a sazonalidade das demandas por recursos hídricos ocorre em grande parte da bacia, apresentando maiores valores e variações entre os meses de abril e outubro e é relativamente menor e mais constante nos demais meses do ano.



Figura 8– Imagem de satélite da área do PCPER I, próxima a foz do Entre Ribeiros.

Fonte: Google Earth (2003), adaptado.

Na Figura 9 está representada a variação da demanda durante o ano, na calha e foz do Entre Ribeiros e na foz das principais sub-bacias, obtida pelo somatório de todas as retiradas ao longo da hidrografia até a seção considerada, em cada mês.



*O acúmulo das outorgas foi feito até a confluência com o ribeirão Santa Rita

Figura 9 – Variação das demandas ao longo do ano, na calha e foz do Entre Ribeiros e na foz das principais sub-bacias da bacia do Entre Ribeiros.

Nesta figura os marcadores representam os valores das demandas em cada mês e se referem a valores discretos. As linhas ligando os marcadores não indicam continuidade de valores, mas são utilizadas nesta figura para auxiliar à análise da variação da demanda. A área sob as linhas representa uma aproximação do volume demandado na área a montante da seção considerada, caso os valores outorgados fossem utilizados 24 horas por dia e 30 dias por mês.

A totalização das outorgas nas confluências é um reflexo da situação da região, dando uma indicação da utilização da água na bacia e permitindo a identificação da existência ou não de sazonalidade das demandas ao longo do ano, bem como da sua amplitude de variação.

Na bacia do Entre Ribeiros pode ser observado que a maior parte das sub-bacias analisadas tem valores de demandas acumuladas variáveis ao longo do ano, principalmente entre os meses de maio e outubro, quando a amplitude da variação é maior.

Os valores demandados na seção correspondente a foz da sub-bacia do Vereda Grande e na calha do ribeirão Entre Ribeiros não apresentam variação ao longo do ano, sendo iguais a 0,8 e 4,3 m³ s⁻¹, respectivamente. Em todas as outras sub-bacias foi evidenciada a existência de sazonalidade das demandas.

Em algumas seções, como, por exemplo, na confluência do Ribeirão São Pedro com o Ribeirão Santa Rita, as variações são bastante expressivas e a relação entre os valores mensais da maior e da menor demanda no ano é de 5,7, indicando que existe grande sazonalidade da demanda nesta sub-bacia.

Na sub-bacia do córrego Boa Esperança o valor de demandas acumuladas é alto e variável, entre os meses de maio e outubro, apresentando relação de 1,8 entre a maior e a menor demanda no ano. Já as sub-bacias do Santa Rita e do Conceição apresentam menores vazões demandadas, porém apresentam grande variação sazonal destas vazões, com relação entre a maior e a menor demanda no ano de 2,2 e 1,6, respectivamente. Na foz do Entre Ribeiros esta relação corresponde a 1,2 e o valor das vazões é alto, variando de 7,9 a 9,3, por corresponder ao somatório das vazões demandadas ao longo de toda a hidrografia de sua bacia.

Nas sub-bacias do ribeirão da Aldeia e do ribeirão do Carmo os valores de demanda são baixos em relação às demais, mas também apresentam variações ao longo do ano, além de meses em que não são feitas retiradas.

A alta e variável demanda nas sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros pode ser associada ao grande número de outorgas necessário ao suprimento artificial de chuvas

nos meses de abril a outubro devido à sua ausência ou baixa incidência. Sendo a irrigação o maior segmento usuário de água na bacia, o aumento da demanda neste período pode ser associado ao período em que ocorrem os maiores déficits hídricos na bacia e à necessidade de superar este fator ambiental limitante, inerente ao regime climatológico do Noroeste do estado de Minas Gerais (SANTOS, 2007).

4.2. Vazão mínima de referência, anual e mensal, na bacia do ribeirão Entre Ribeiros

4.2.1. Equações de regionalização

Com base nos critérios de seleção dos modelos analisados foram selecionadas as equações para a regionalização da $Q_{7,10}$ anual e mensais apresentadas na Tabela 3. Os coeficientes de variação e os resíduos obtidos para cada modelo estão apresentados no Apêndice C.

Tabela 3 – Equações utilizadas para a regionalização da $Q_{7,10}$, anual e mensal

		Equação
	Anual	$Q_{7,10} = 0,2193 P_{eq\ 750}^{1,1071}$
$Q_{7,10}$	Janeiro	$Q_{7,10} = 0,1952 P_{eq\ 750}^{1,0861}$
	Fevereiro	$Q_{7,10} = 0,1982 P_{eq\ 750}^{1,1544}$
	Março	$Q_{7,10} = 0,1794 P_{eq\ 750}^{1,1953}$
	Abril	$Q_{7,10} = 0,1641 P_{eq\ 750}^{1,1605}$
	Maiο	$Q_{7,10} = 0,1434 P_{eq\ 750}^{1,1280}$
	Junho	$Q_{7,10} = 0,1429 P_{eq\ 750}^{1,0646}$
	Julho	$Q_{7,10} = 0,1451 P_{eq\ 750}^{1,0030}$
	Agosto	$Q_{7,10} = 0,1453 P_{eq\ 750}^{1,9634}$
	Setembro	$Q_{7,10} = 0,1187 P_{eq\ 750}^{1,9959}$
	Outubro	$Q_{7,10} = 0,0841 P_{eq\ 750}^{1,1547}$
	Novembro	$Q_{7,10} = 0,1458 P_{eq\ 750}^{1,1125}$
	Dezembro	$Q_{7,10} = 0,1232 P_{eq\ 750}^{1,9697}$

Ao inserir as equações selecionadas no banco de dados da BHTCOMG foi possível estimar a $Q_{7,10}$ em todos os trechos da hidrografia da bacia do ribeirão Entre RIBEIROS.

A análise do comportamento físico das vazões obtidas por meio das equações de regionalização que teria como objetivo impor um limite a extrapolação das equações, indicou a inexistência de regiões de imposição, tanto para os estudos feitos em base anual como para os feitos em base mensal. As vazões específicas testadas na imposição de restrições para minimização do risco de superestimativa nas regiões de extrapolação das equações estão apresentadas no apêndice C.

4.2.2. Impacto da substituição da $Q_{7,10}$ anual pelas $Q_{7,10}$ mensais na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre RIBEIROS

4.2.2.1. Nas seções correspondentes às estações fluviométricas.

Na Figura 10 é mostrada a média dos valores de diferença relativa (DH%) entre as vazões $Q_{7,10}$ anual e mensais obtidos nas seções correspondentes às oito estações fluviométricas utilizadas no estudo e o gráfico das normais climatológicas da precipitação média, no período de 1961 a 1990, na estação Paracatu.

Os valores de DH% de cada uma das estações fluviométricas estão apresentados no Apêndice D.

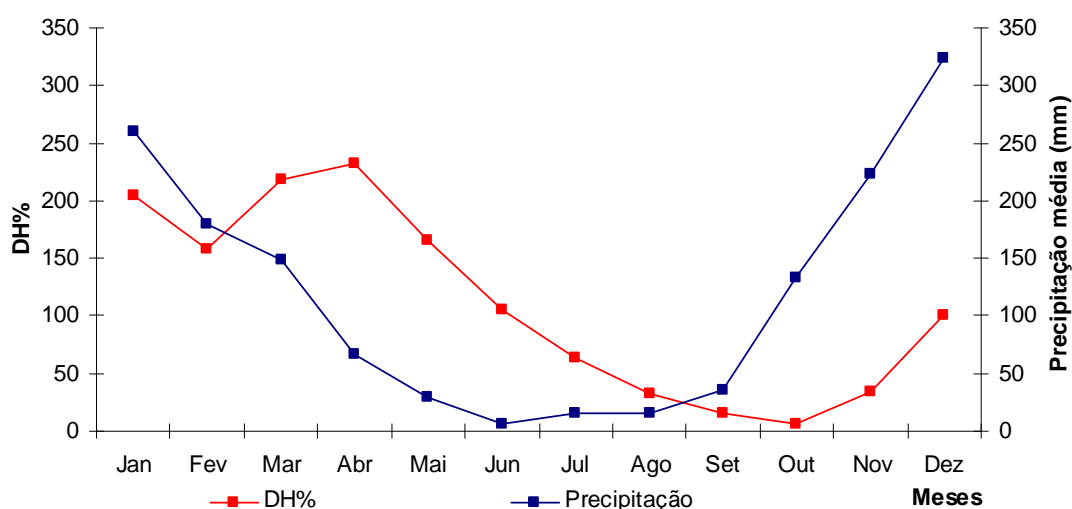


Figura 10 – Média dos valores de diferença relativa (DH%) entre as vazões $Q_{7,10}$ anual e mensais obtidos nas seções correspondentes às oito estações fluviométricas utilizadas no estudo e gráfico das normais climatológicas da precipitação média (1961-1990) da estação Paracatu.

Pode ser observado nesta Figura que os valores médios de DH% nas seções correspondentes às estações fluviométricas apresentam variações acentuadas ao longo do ano, com diferença relativa sempre positiva, apresentando no período de dezembro a junho valores de DH% maiores que 100%, assinalando o potencial de substituição da base de cálculo da vazão de referência anual para uma base mensal, permitindo, assim, um aumento do uso dos recursos hídricos em condições a fio d'água.

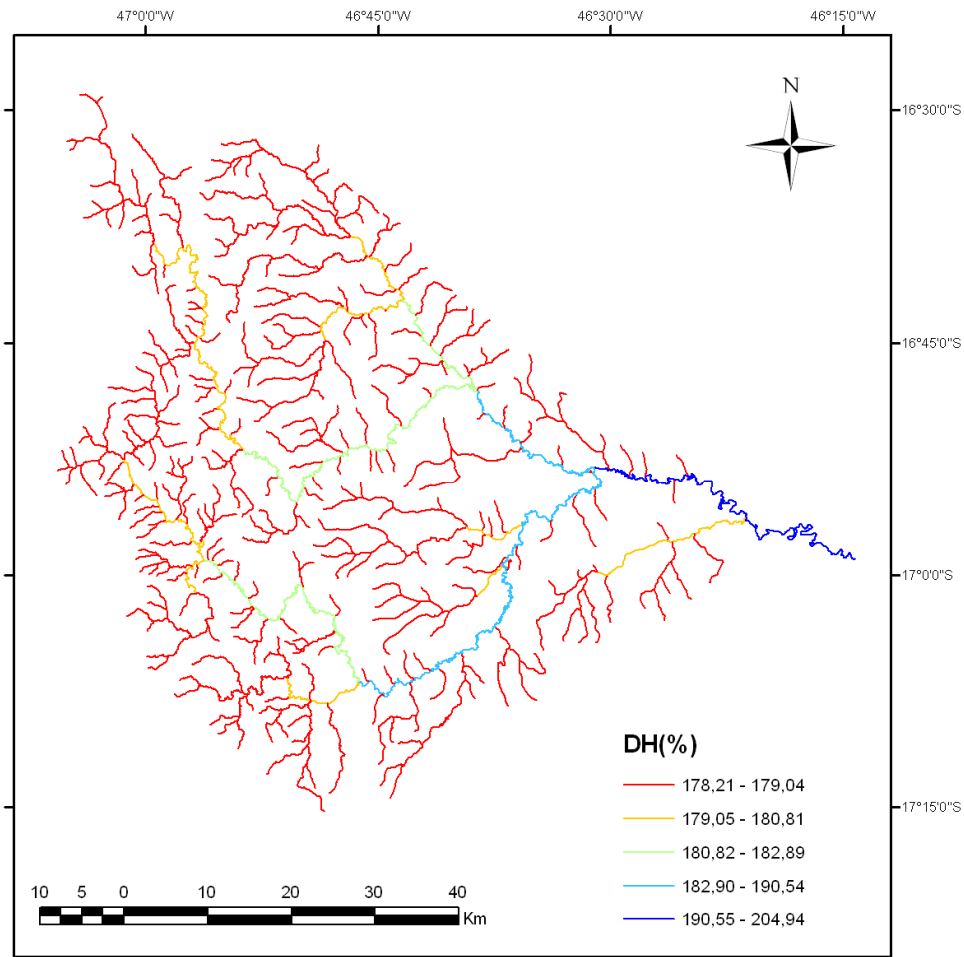
Observando a Figura 10, pode-se inferir que no período de novembro a abril há um crescimento das vazões mínimas e, fazendo uma associação com os dados médios de precipitação, é verificado que existe uma defasagem do início do período chuvoso em relação ao início do aumento das vazões mínimas. Esta defasagem acontece, pois a ocorrência do escoamento no leito do rio é advinda da contribuição subterrânea, que só se inicia depois que a precipitação venha suprir o déficit de água existente na zona de aeração do solo, que, por sua vez, depende do processo de evapotranspiração e das características estruturais e texturais do solo. Observa-se ainda que após o mês de novembro há um aumento expressivo das vazões mínimas e, até o mês de março, é verificado um balanço hídrico positivo para sobrelevação do lençol freático na bacia.

Nesta Figura pode ser observado também que no período entre os meses de abril e setembro ocorrem os menores valores de precipitação média, coincidindo com o período que apresenta os maiores valores de demanda de água na bacia e, sendo assim, mesmo que pequeno, o aumento da disponibilidade hídrica durante estes meses é de grande importância.

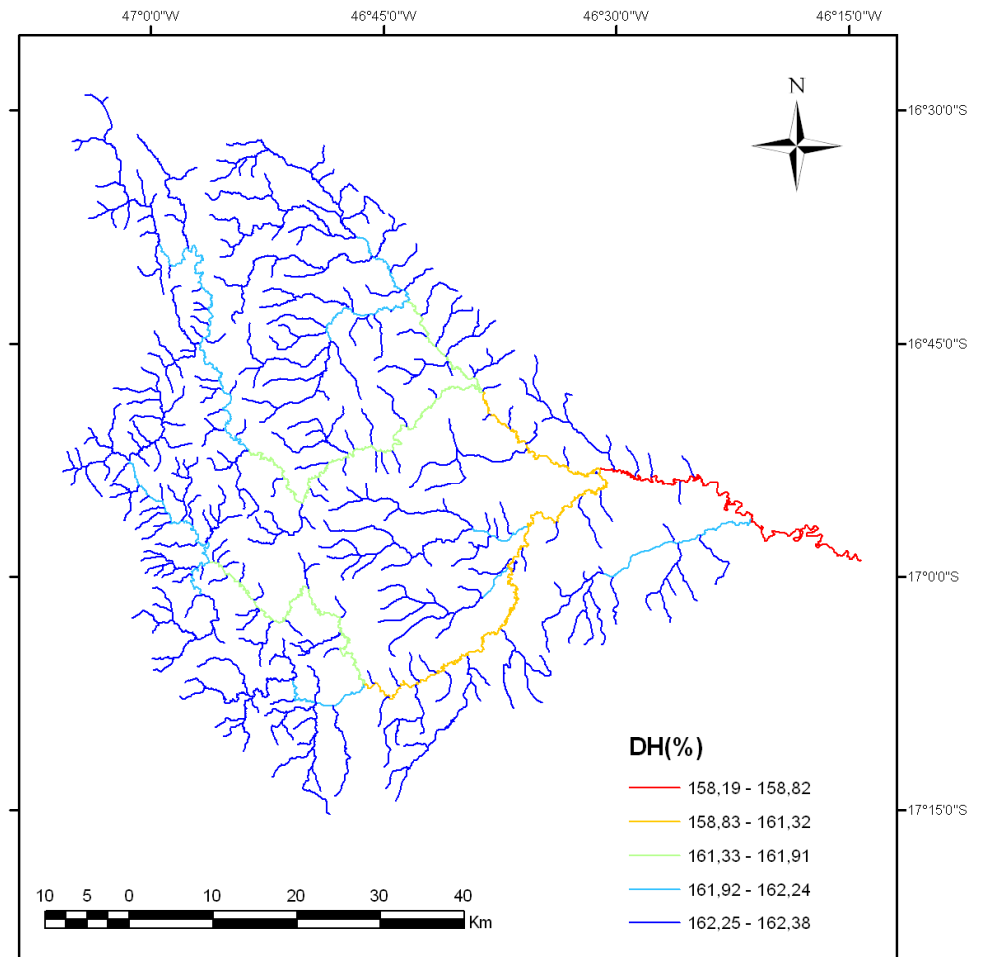
4.2.2.1. Ao longo da hidrografia.

Para avaliar o impacto da substituição da $Q_{7,10}$ anual pelas $Q_{7,10}$ mensais na disponibilidade hídrica ao longo da hidrografia da bacia do ribeirão Entre Ribeiros foram elaborados os mapas de diferença relativa entre a vazão mensal e a vazão anual apresentados nas Figuras 11 a 16.

Na análise dos mapas pode ser observado que, com exceção do mês de novembro, há um aumento expressivo da DH%, sendo as variações dos valores de DH% altamente dependentes do mês e da posição do trecho considerado.

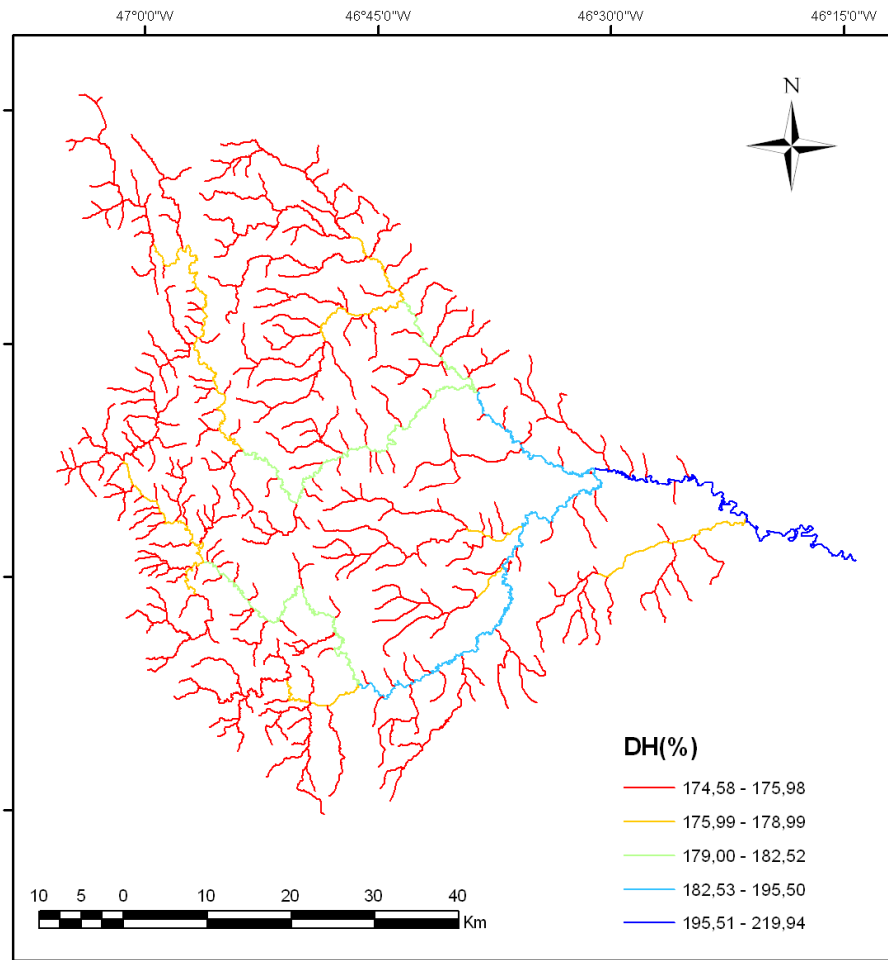


(a)

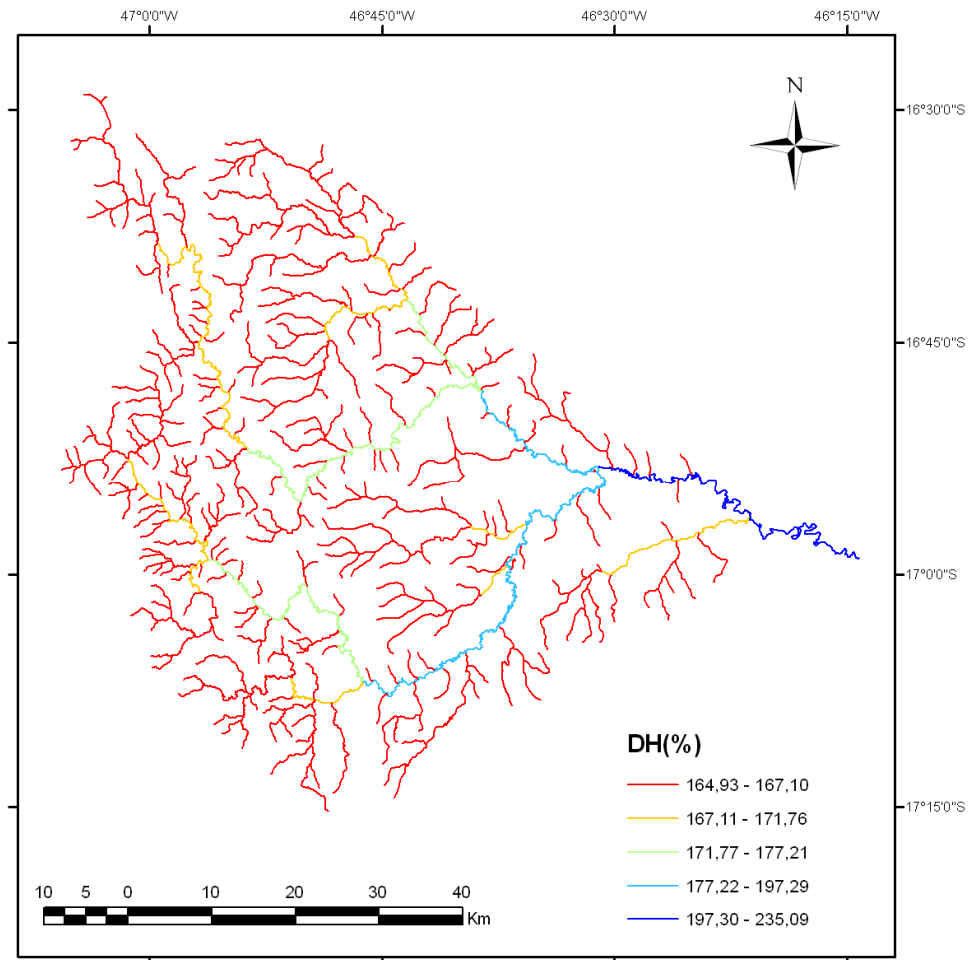


(b)

Figura 11 - Diferenças relativas entre a $Q_{7,10}$ de janeiro e a $Q_{7,10}$ anual (a) e entre a $Q_{7,10}$ de fevereiro e a $Q_{7,10}$ anual (b).



(a)



(b)

Figura 12 - Diferenças relativas entre a $Q_{7,10}$ de março e a $Q_{7,10}$ anual (a) e entre a $Q_{7,10}$ de abril e a $Q_{7,10}$ anual (b).

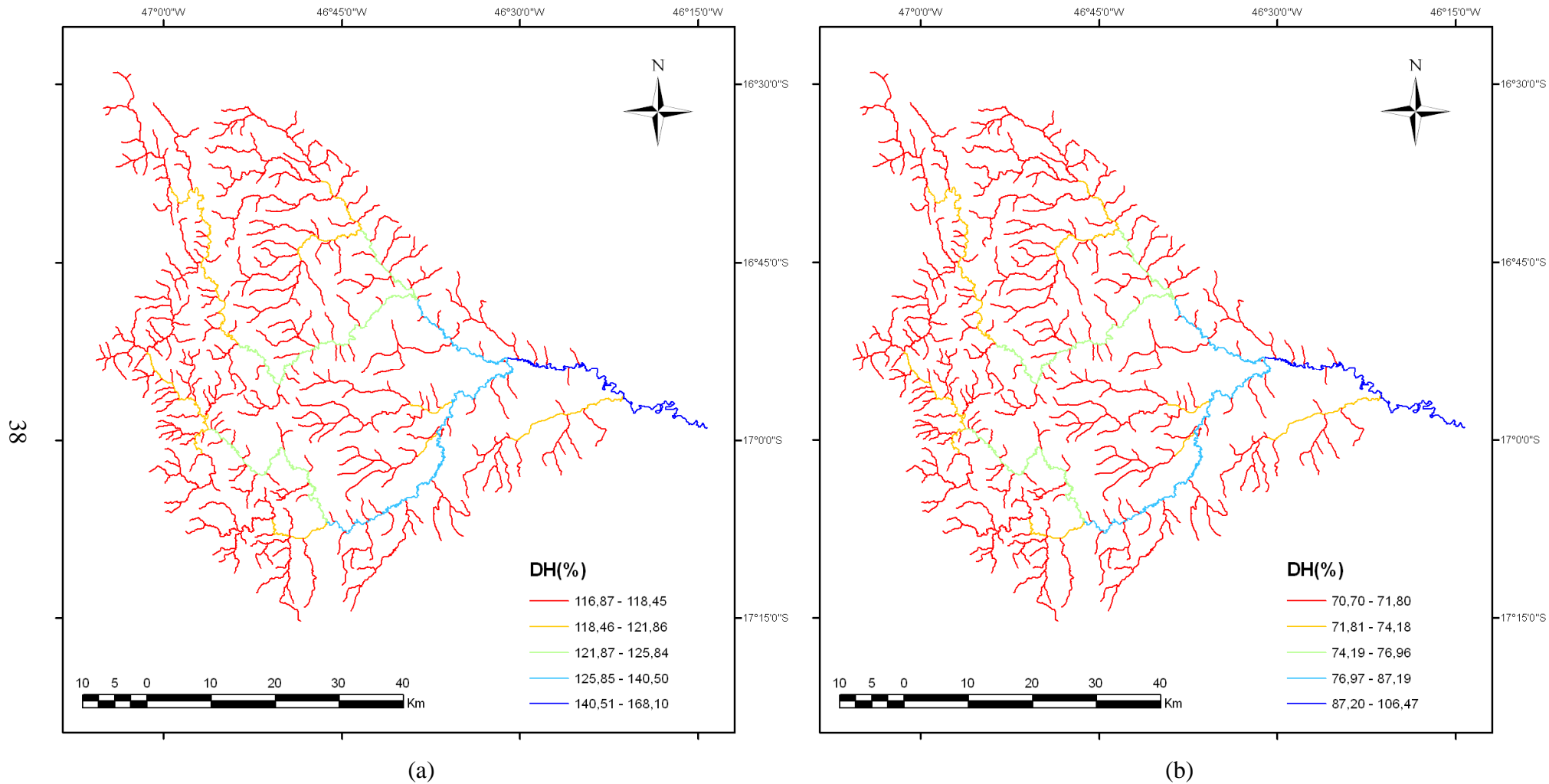


Figura 13 - Diferenças relativas entre a $Q_{7,10}$ de maio e a $Q_{7,10}$ anual (a) e entre a $Q_{7,10}$ de junho e a $Q_{7,10}$ anual (b).

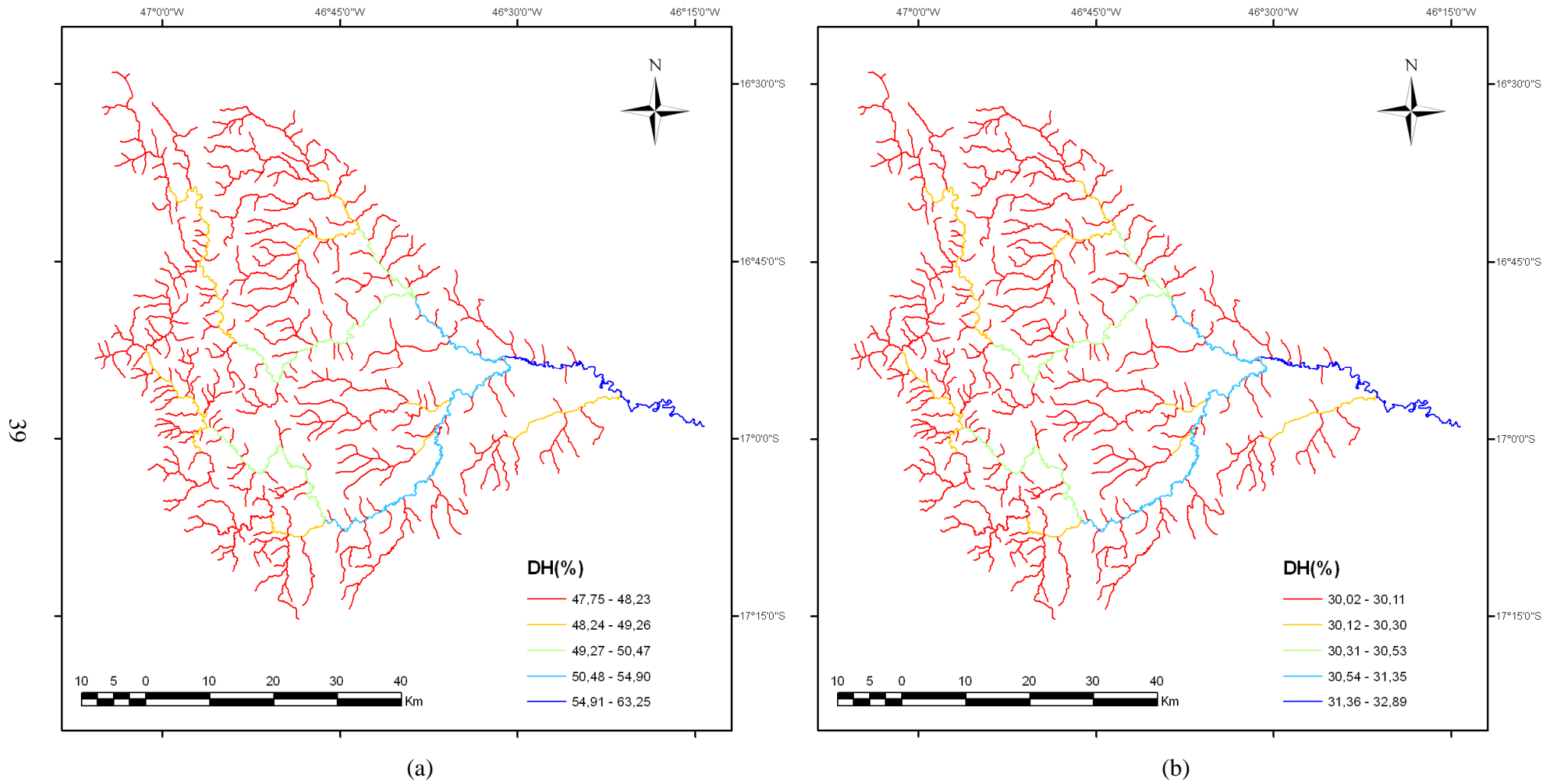


Figura 14 - Diferenças relativas entre a $Q_{7,10}$ de julho e a $Q_{7,10}$ anual (a) e entre a $Q_{7,10}$ de agosto e a $Q_{7,10}$ anual (b).

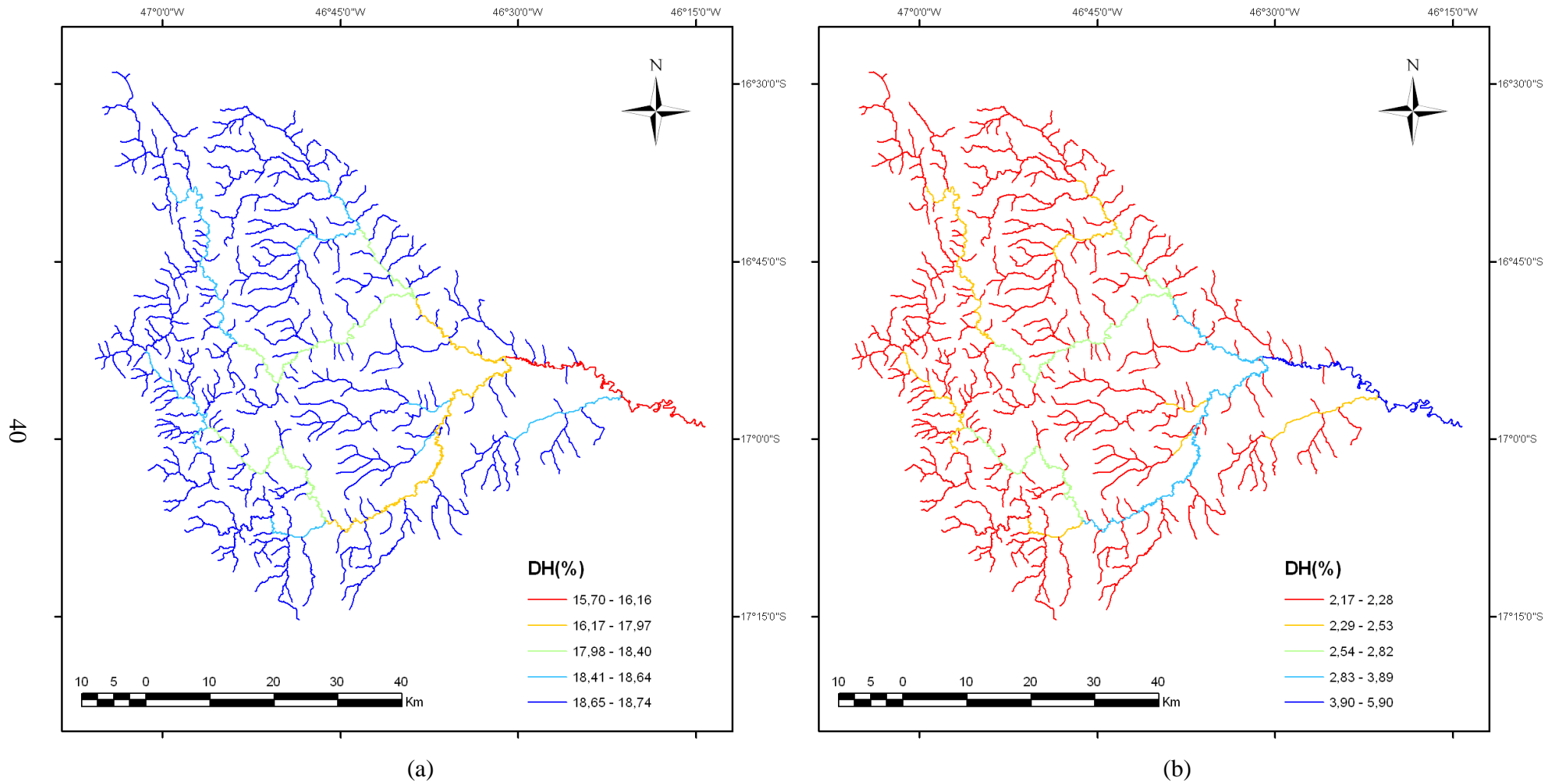
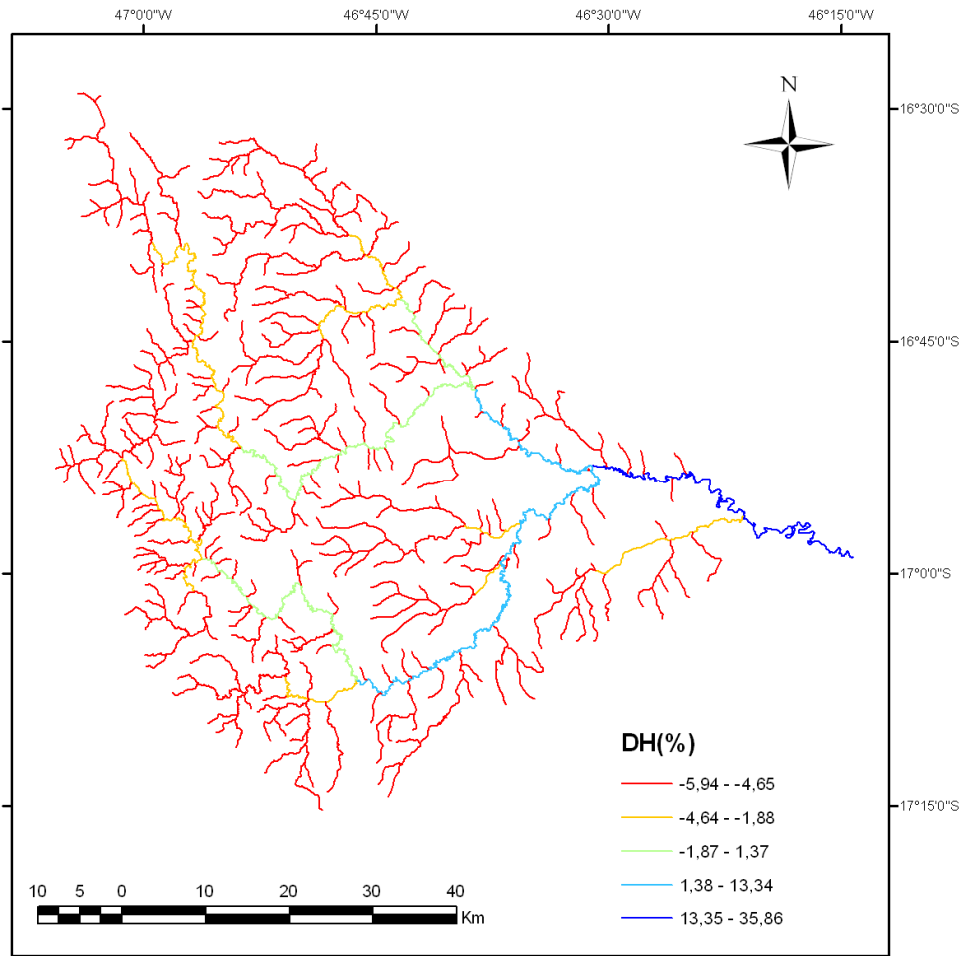
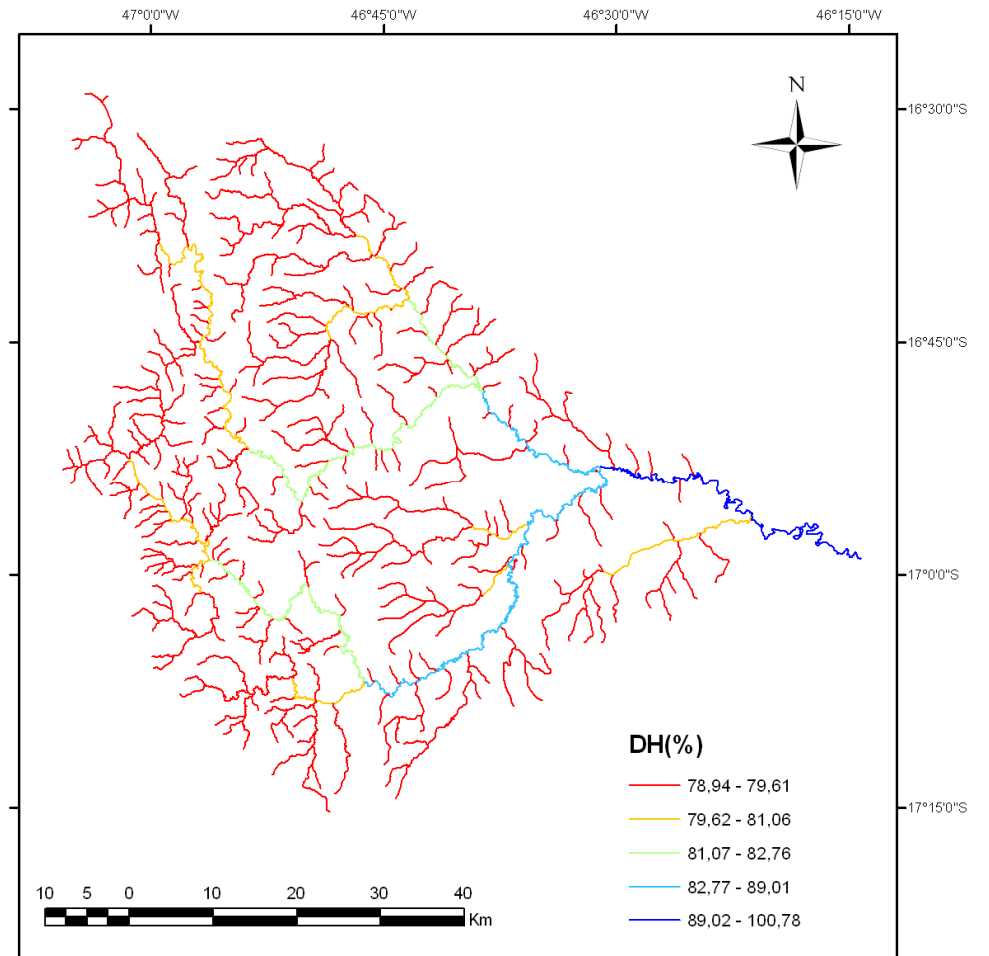


Figura 15 - Diferenças relativas entre a $Q_{7,10}$ de setembro e a $Q_{7,10}$ anual (a) e entre a $Q_{7,10}$ de outubro e a $Q_{7,10}$ anual (b).



(a)



(b)

Figura 16 - Diferenças relativas entre a $Q_{7,10}$ de novembro e a $Q_{7,10}$ anual (a) e entre a $Q_{7,10}$ de dezembro e a $Q_{7,10}$ anual (b).

Na Figura 17 são apresentadas as curvas que relacionam as diferenças relativas (DH%) entre as $Q_{7,10}$ mensais e a $Q_{7,10}$ anual com sua frequência de ocorrência ao longo da hidrografia.

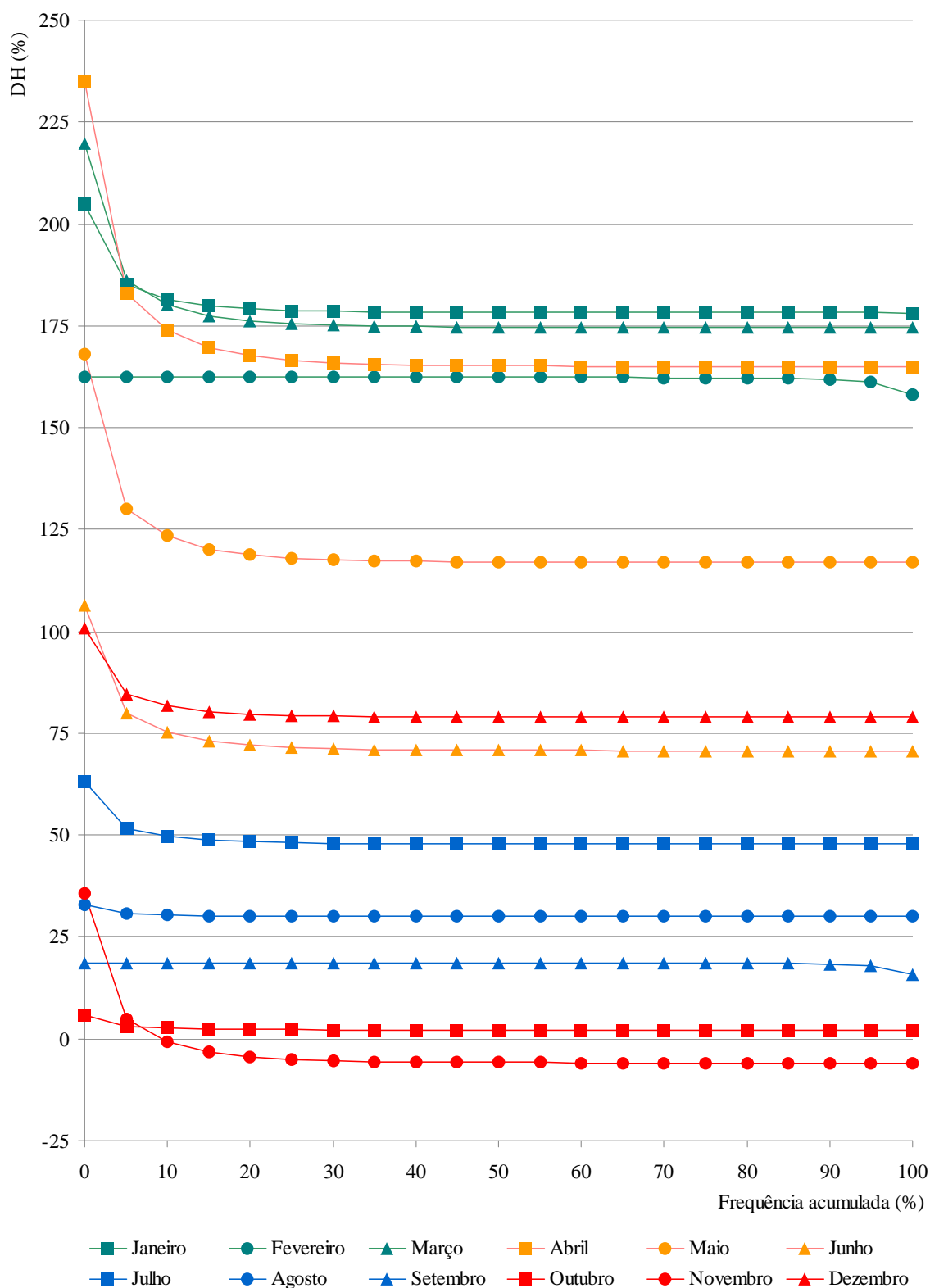


Figura 17 – Frequência de ocorrência das diferenças relativas (DH%) entre as $Q_{7,10}$ mensais e a $Q_{7,10}$ anual ao longo da hidrografia.

Os primeiros seis meses do ano apresentaram os maiores valores de DH%, variando de 70 a 235%, sendo maior no mês de janeiro e diminuindo ao longo tempo. No primeiro quadrimestre a DH% foi sempre maior que 150%, apresentando, a partir do mês de abril, uma tendência progressiva de decaimento. O declínio é bastante acentuado no mês de maio e junho e se mantém mais constante e com pequena variação nos meses de julho, agosto, setembro e outubro.

Em julho ocorreram valores de DH% compreendidos entre 47 e 63% e em agosto a amplitude de variação, que foi inferior a 3%, ficou compreendida entre 30 e 32,9% (Figuras 14a e 14b).

Os meses com menores valores de DH% foram setembro, outubro e novembro. Nos meses de setembro e outubro os valores de DH% estão compreendidos entre 2 e 18% (Figuras 15a e 15b).

Em novembro, apesar de ser o mês em que ocorre uma inversão na tendência de diminuição de DH% que vinha ocorrendo ao longo do ano, é evidenciado o maior declínio da DH%, com valores negativos em 90% dos trechos (Figura 16a), caracterizando uma situação em que a substituição da base de cálculo da vazão de referência não indica aumento da disponibilidade.

Quando o uso de vazões mensais não apresenta influência no aumento da vazão de referência é necessário que sejam adotadas medidas de redução da demanda, tais como práticas de redução do consumo, irrigação em déficit, adequação dos calendários de cultivo, rotação de culturas, plantio de culturas que apresentam alta eficiência de uso da água e maior tolerância a períodos secos e sistemas agroflorestais (TILMAN *et al.*, 2002).

No mês de dezembro (Figura 16b) ocorre uma ascensão expressiva dos valores de DH% ao longo da hidrografia, com valores que são superiores a 78% em todos os trechos, caracterizando a efetiva transição de decaimento para aumento, tendo sido a DH%, no período de dezembro a junho, sempre maior que 70%

De uma forma geral, os menores valores de DH% ocorreram nas posições de cabeceiras e os maiores ocorreram em posições de jusante e nos cursos d'água principais, exceto nos meses de fevereiro e setembro, em que não se observa um padrão definido de distribuição da DH% associado à posição dos trechos na bacia.

Nas curvas de frequência pode ser observado que, de forma geral, a maioria dos meses apresenta uma faixa de decréscimo dos valores de DH%, associada a frequências de 0 a 20% e uma segunda faixa, associada à frequência de 20 a 100%, que apresenta valor de DH% praticamente constante.

4.3. Impacto do uso dos critérios de outorga baseados no uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual, 30% da $Q_{7,10}$ mensal e 50% da $Q_{7,10}$ anual e mensal na disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros

Mapas da relação entre o somatório das vazões outorgadas e a $Q_{7,10}$ foram gerados para cada mês, considerando os valores de $Q_{7,10}$ anual e $Q_{7,10}$ mensal. Na Figura 18a e 18b são apresentados os mapas referentes ao mês de janeiro para situação da bacia em relação à $Q_{7,10}$ anual e à $Q_{7,10}$ mensal, respectivamente.

A escala de cores utilizada indica a situação dos trechos ao longo da hidrografia quanto à relação entre o somatório das outorgas a montante da confluência do trecho analisado com o trecho de jusante e a vazão de referência utilizada. A cor cinza representa trechos em que não existem outorgas ou trechos que não são impactados por outorgas de montante. A cor azul representa os trechos nos quais a disponibilidade, com base no critério de 30% da $Q_{7,10}$ é suficiente para suprir as demandas, ou seja, o somatório das vazões outorgadas não excede 30% da $Q_{7,10}$. Já nos trechos representados em verde, o somatório das demandas já excedeu vazão máxima outorgável segundo o critério atual, mas não ultrapassam a mesma caso se considere o critério de 50% da $Q_{7,10}$. As demais cores representam níveis de extrapolação da vazão máxima permissível para outorga e, inclusive, a própria vazão de referência.

Na Figura 18a os trechos cujo somatório não excede a vazão máxima outorgável segundo o critério atual representam apenas 29% do total de trechos impactados pelas outorgas no mês de janeiro. Ao mudar o critério atual para o critério de 50% da $Q_{7,10}$ anual há um acréscimo de 21,8% no número de trechos com disponibilidade maior que somatório das demandas. Entretanto, mesmo considerando o aumento do percentual outorgável da $Q_{7,10}$, ao manter a base anual a demanda em 49,2% dos trechos não é atendida.

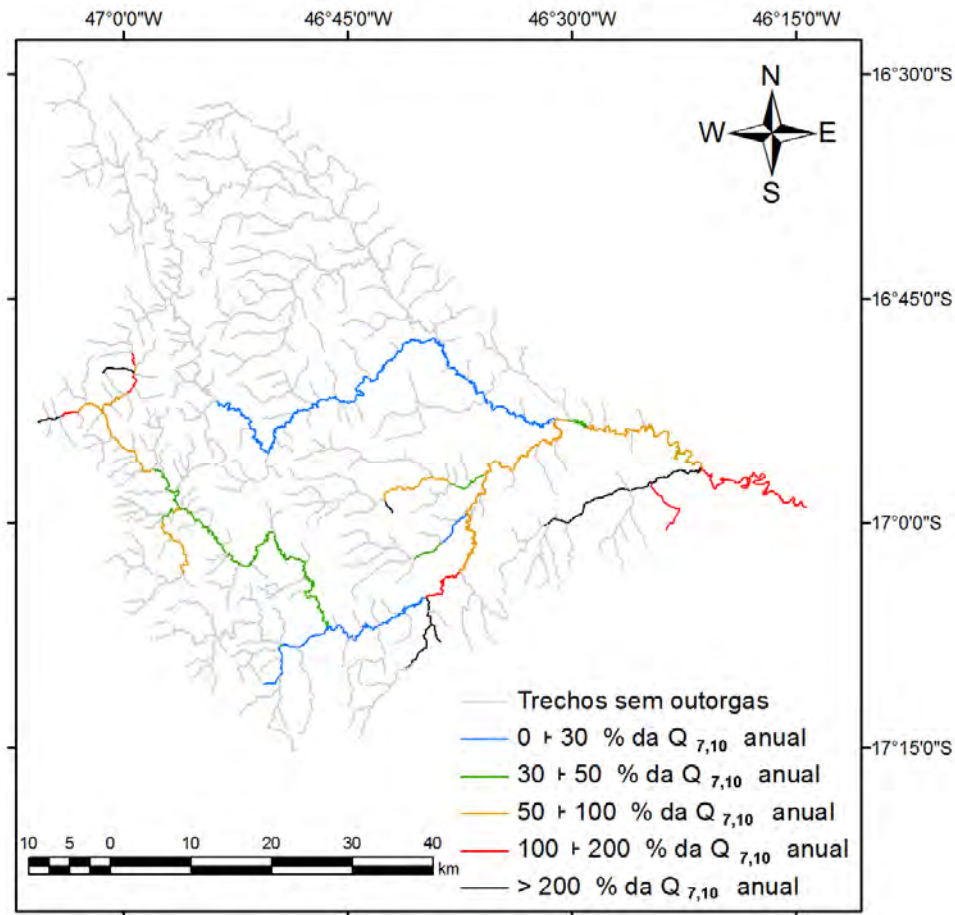
Quando é feita a mudança da $Q_{7,10}$ em base anual para $Q_{7,10}$ em base mensal, pode ser observada, comparando as Figuras 18a e 18b, a alteração da situação dos trechos ao longo da bacia.

Considerando o critério de 30% da $Q_{7,10}$ mensal, verifica-se que houve um aumento expressivo no número de trechos em que o somatório das demandas foi menor que a vazão outorgável, passando a ser atendidos neste caso 70,2% dos trechos impactados pelas outorgas, incorporando 41,2% dos trechos nos quais o somatório das outorgas a montante extrapolava a vazão permissível para outorga segundo o critério de uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual.

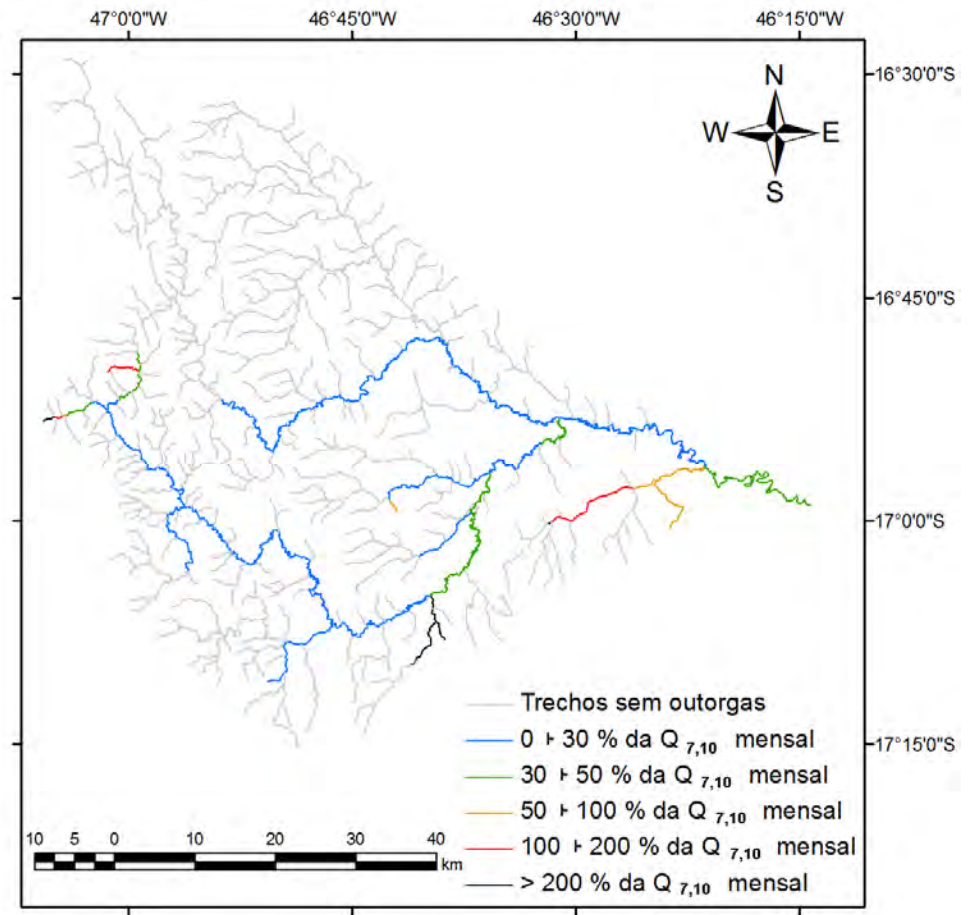
Ao aumentar a vazão outorgável para 50% da $Q_{7,10}$ e considerar a base mensal o percentual de trechos atendidos (representados em azul e verde) chega a aproximadamente 85% dos trechos impactados pelas outorgas a montante no mês, 34% a mais do que se observava quando considerado o critério de 50% da $Q_{7,10}$ anual.

O aumento do número de trechos em que o somatório das demandas foi menor que a disponibilidade, em função da mudança da base anual para mensal, incorpora trechos que antes extrapolavam a vazão outorgável, mesmo com o uso de 50% da $Q_{7,10}$ anual, tanto pelo critério 30% como o de 50% da $Q_{7,10}$ mensal.

Contudo, mesmo considerando a vazão outorgável como 50% da $Q_{7,10}$ mensal ainda são observados 15,2% dos trechos nos quais o somatório das demandas a montante excede a disponibilidade.



(a)



(b)

Figura 18 – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de janeiro.

Na Figura 19 é apresentado o gráfico que representa a frequência de ocorrência, ao longo do ano, do número de trechos em cada classe da relação percentual entre o somatório das vazões outorgadas até a confluência do trecho analisado com o trecho de jusante e a vazão de referência, nas bases anual e mensais, considerando os trechos impactados pelas outorgas de montante, ao longo de toda a hidrografia da bacia.

Utilizando o critério atual de outorga (30% da $Q_{7,10}$ anual), verifica-se que a porcentagem de trechos em que o somatório das demandas foi menor ou igual a vazão outorgável variou ao longo do ano entre 22,8% (em fevereiro) e 59,8% (em novembro). Tal variação é consequência da sazonalidade das demandas, uma vez que o critério atual considera uma vazão de referência constante ao longo do ano.

Considerando o critério de 30% da $Q_{7,10}$, com exceção dos meses de outubro e novembro, a mudança da base anual para mensal proporcionou um aumento no percentual de trechos atendidos em relação ao total de trechos com outorga em cada mês de até 47,5%, tendo sido mais representativa nos meses com maior disponibilidade hídrica.

Para a consideração do uso do critério de 50% da $Q_{7,10}$ (representados pela cor verde) observa-se que, em todos os meses, parte dos trechos impactados pelas outorgas e que excedem os 30% da $Q_{7,10}$ pode ser atendida, com percentuais variando de 2,2 a 38,6% e de 1,1 a 25,2% dos trechos, para bases anual e mensal, respectivamente. Estes percentuais correspondem à incrementos no percentual de trechos atendidos pelo critério de 30% da $Q_{7,10}$ anual e mensal.

Na análise da Figura 19 pode ser verificado ainda que em todos os meses, tanto para base anual como para base mensal, há trechos que não estão em conformidade com os critérios propostos, sendo a vazão outorgável na bacia insuficiente para atender todas as demandas ao longo da hidrografia. A porcentagem de trechos incluída em classes que representam o uso de mais de 50% da vazão de referência correspondem, em média, a cerca de 40% dos trechos impactados para o uso da $Q_{7,10}$ anual e de 26% para o uso da $Q_{7,10}$ mensal.

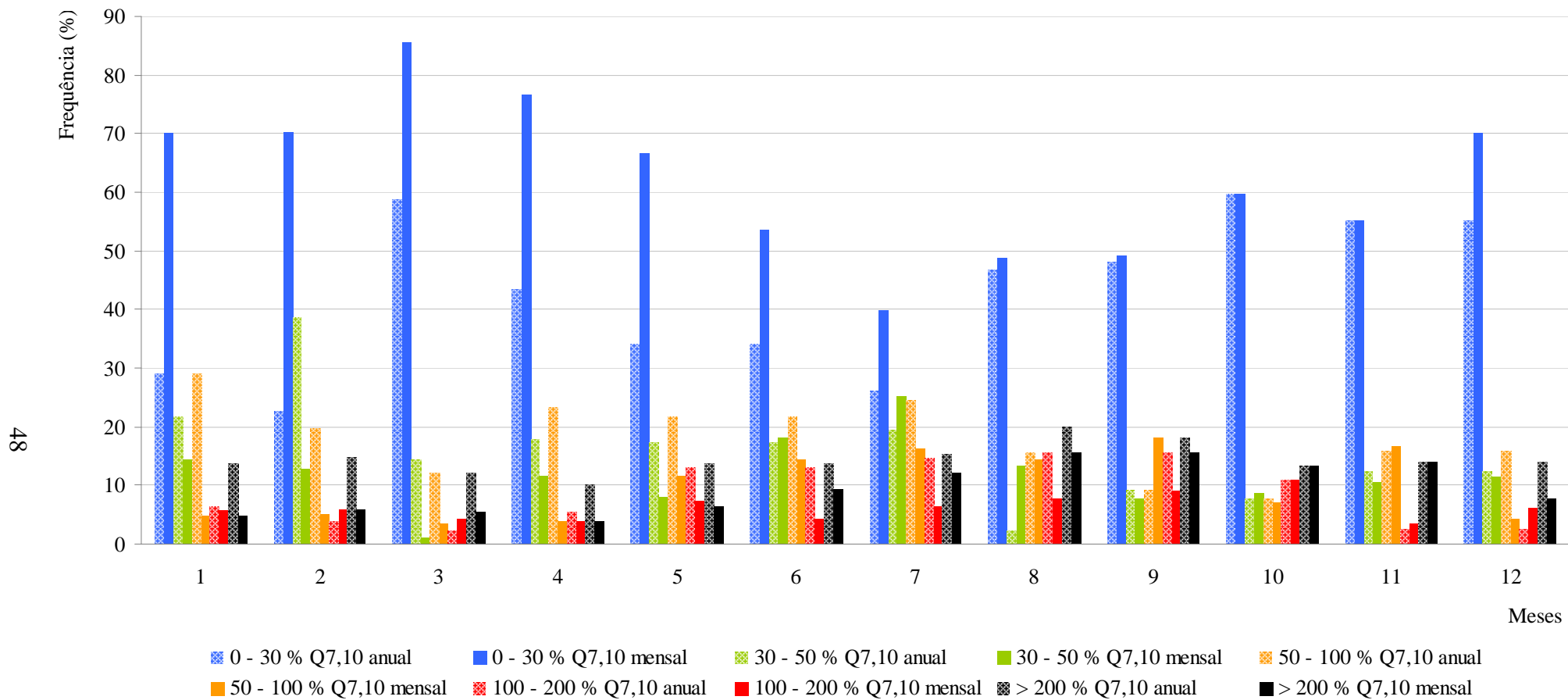


Figura 19 – Frequência de ocorrência, ao longo do ano, do número de trechos em cada classe da relação percentual entre o somatório das outorgas concedidas até a confluência do trecho analisado com o trecho de jusante e a vazão de referência, nas bases anual e mensal.

Na Figura 20 é apresentada a frequência de ocorrência, ao longo do ano, do número de trechos nos quais o somatório das demandas de montante é menor que a vazão máxima outorgável, em relação ao total de trechos impactados pelas retiradas a montante, considerando o critério atual e cada um dos critérios propostos.

Analisando esta Figura é possível verificar o impacto dos critérios baseados no uso de 30% da $Q_{7,10}$ mensal e 50% da $Q_{7,10}$ anual e mensal no aumento disponibilidade hídrica, quando comparados ao uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual, na bacia do ribeirão Entre RIBEIROS.

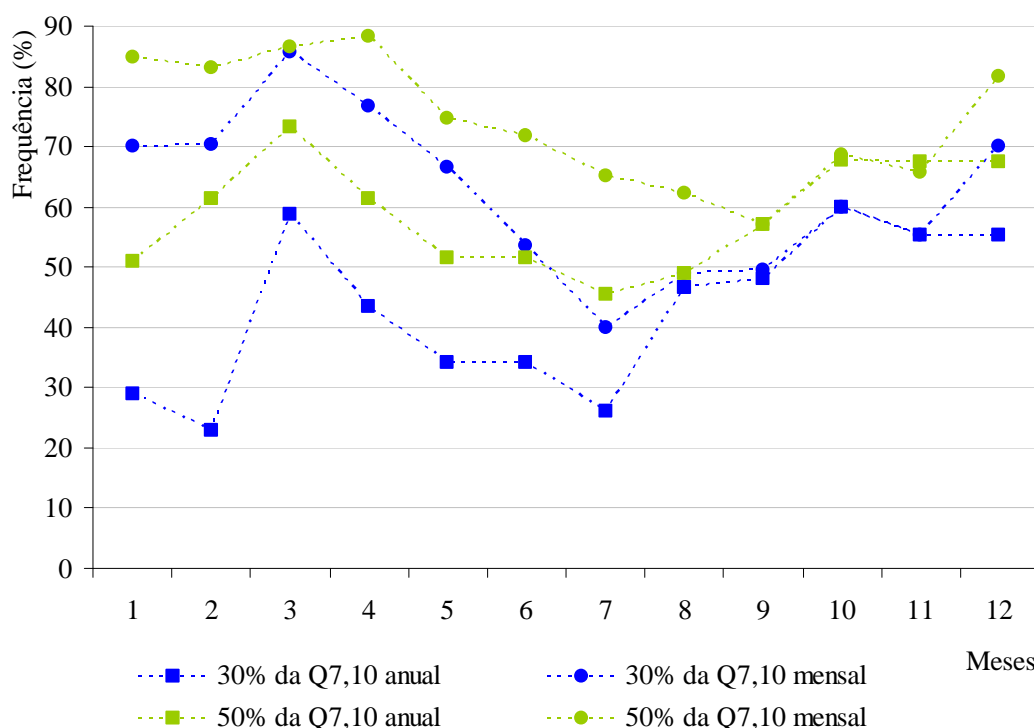


Figura 20 – Frequência de ocorrência, ao longo do ano, do número de trechos nos quais o somatório das demandas de montante é menor que a vazão máxima outorgável, em relação ao total de trechos impactados pelas retiradas a montante, considerando o critério atual e cada um dos critérios propostos.

Ao proceder a mudança do critério de 30% para 50% mantendo a vazão de referência calculada numa base anual verificou-se que o aumento na frequência dos trechos atendidos foi menor no mês de agosto (5%) e maior no mês de fevereiro (170%), nos demais meses o aumento na frequência foi, em média 40%.

Considerando a mudança da vazão de referência anual para mensal e mantendo a porcentagem de 30% desta vazão, percebe-se que, para os meses de agosto a novembro não houve aumento no número de trechos nos quais o somatório das demandas a

montante não excedeu a vazão máxima outorgável ou o aumento foi muito baixo. Nos meses de outubro e novembro o número de trechos permaneceu constante após a mudança da base de cálculo anual para mensal e nos meses de agosto e setembro o aumento foi de apenas 3% e 5%, respectivamente. Nos demais meses o aumento do número de trechos com somatório de demandas menor que 30% da $Q_{7,10}$ variou entre 27% no mês de dezembro e 209% no mês de fevereiro.

Analisando as curvas correspondentes aos critérios de 50% da $Q_{7,10}$ mensal e 30% da $Q_{7,10}$ anual verifica-se que houve aumento em todos os meses, tendo este sido menor nos meses de setembro, outubro e novembro, correspondendo a 19%, 14% e 19%, respectivamente e maior nos demais meses, variando de 33% no mês de agosto e a 265% no mês de fevereiro. Esta alternativa representa o melhor aumento das disponibilidades, ou seja, este é o cenário mais permissivo.

Na Figura 21 está representado o nível de criticidade da situação da bacia em relação ao critério de 50% da $Q_{7,10}$ anual e 50% da $Q_{7,10}$ mensal. Nesta Figura está apresentada a frequência de ocorrência, ao longo do ano, do número de trechos nos quais o somatório das demandas de montante é maior que 50% da $Q_{7,10}$, em relação ao total de trechos impactados pelas retiradas a montante, considerando as vazões calculadas em bases anuais e mensais.

A maior excedência em relação a $Q_{7,10}$ acontece para o critério de uso de 50% da $Q_{7,10}$ anual. O uso de 50% da $Q_{7,10}$ mensal proporcionou uma diminuição no número de trechos em que o somatório das vazões outorgadas a montante excedia a disponibilidade. A diminuição foi mais expressiva nos meses de dezembro a agosto, variando de 35% a 233%, sendo maior que 90% no período de janeiro a maio. Já nos meses de setembro, outubro e novembro a mudança da base anual para as bases mensais não representou benefícios para melhor utilização das águas superficiais. Neste período o número de trechos permaneceu constante no mês de setembro, teve pequena redução no mês de outubro e aumentou em novembro, com percentuais de 0%, 3% e 5%, respectivamente.

Comportamento parecido foi verificado ao longo do ano, para as classes de extrapolação da própria $Q_{7,10}$. A mudança da base anual para a mensal promoveu a alternância entre classes de maior extrapolação para menor nível de extrapolação, como pode ser observado na Figura 21, que mostra que, ao longo do ano, com exceção dos meses de outubro e novembro, houve diminuição do número de trechos onde o somatório das demandas a montante supera a $Q_{7,10}$, considerando as duas classes de proporção de excedência.

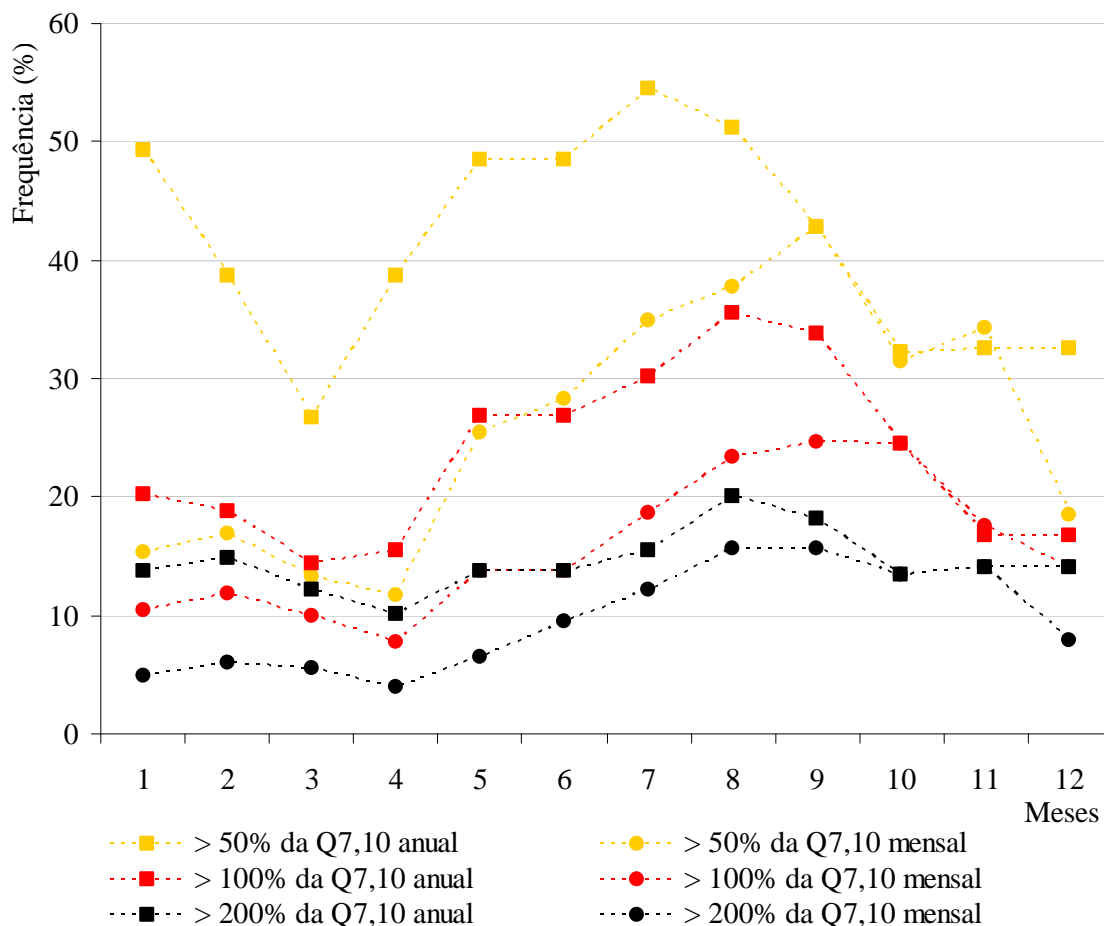


Figura 21 – Frequência de ocorrência, ao longo do ano, do número de trechos nos quais o somatório das demandas de montante é maior que a vazão máxima outorgável, em relação ao total de trechos impactados pelas retiradas a montante.

Nas Figuras 22 e 23 estão apresentados, a título de exemplo, os mapas da relação entre o somatório da vazão outorgada e a $Q_{7,10}$, considerando os valores de $Q_{7,10}$ anual e $Q_{7,10}$ mensal para os meses de fevereiro e outubro, que representaram os meses com maior e menor proporção de alterações da situação dos trechos da hidrografia em relação aos critérios propostos. Os mapas referentes aos demais meses estão apresentados no Apêndice E.

No mês de fevereiro apenas 22,8% dos trechos impactados pelas retiradas a montante apresentam somatório das demandas até a confluência com o trecho de jusante menor que 30% da $Q_{7,10}$ anual. Considerando a mudança na vazão outorgável para até 50% da $Q_{7,10}$ anual há um aumento de aproximadamente 70% em relação ao observado com o uso de critério atual.

Com a substituição do critério atual por aqueles que consideram a base de cálculo mensal, a alteração é mais evidente. O uso de 30% da $Q_{7,10}$ mensal proporciona um aumento de 209% em relação ao que é evidenciado considerando o uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual. Quando é usado o critério de 50% da $Q_{7,10}$ mensal este acréscimo corresponde a 265% em relação ao critério atual.

Entretanto, mesmo considerando o uso de 50% da vazão de referência calculada em base anual e promovendo aumento tão expressivo, aproximadamente 17% dos trechos apresentam excedência do somatório das demandas a montante em relação à disponibilidade.

Já no mês de outubro, que foi o que apresentou menor variação da situação dos trechos com a mudança de critérios, a única alteração que ocorreu foi em função do uso do critério de 50% da $Q_{7,10}$ mensal, que promoveu a mudança da situação de um único trecho da hidrografia (representando pouco mais que 1% em relação ao total de trechos impactados pelas retiradas de montante) que estava na classe de 50 a 100% de excedência da $Q_{7,10}$ anual e passou para a classe de 30 a 50% da $Q_{7,10}$ mensal,

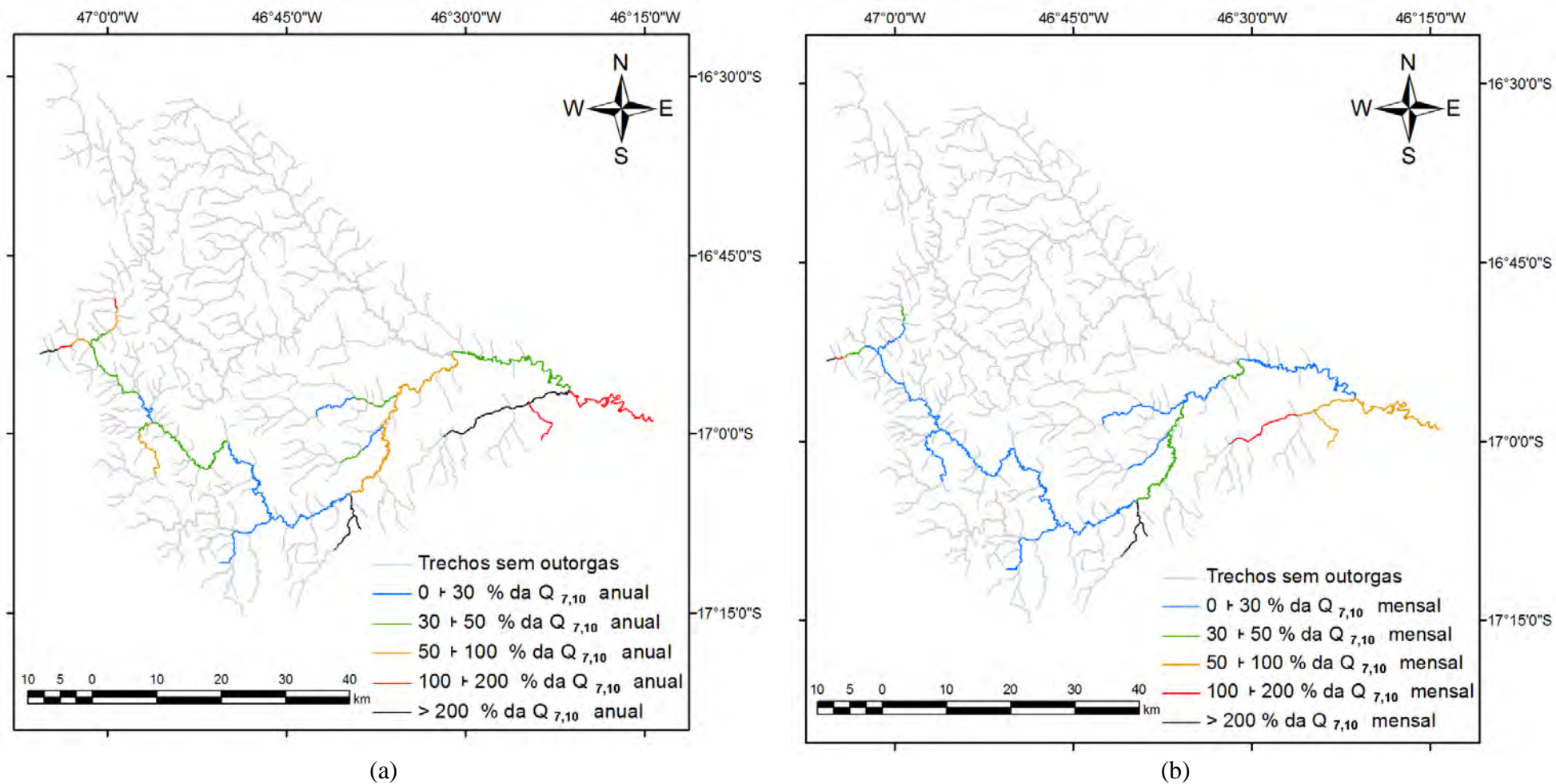


Figura 22 – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de fevereiro.

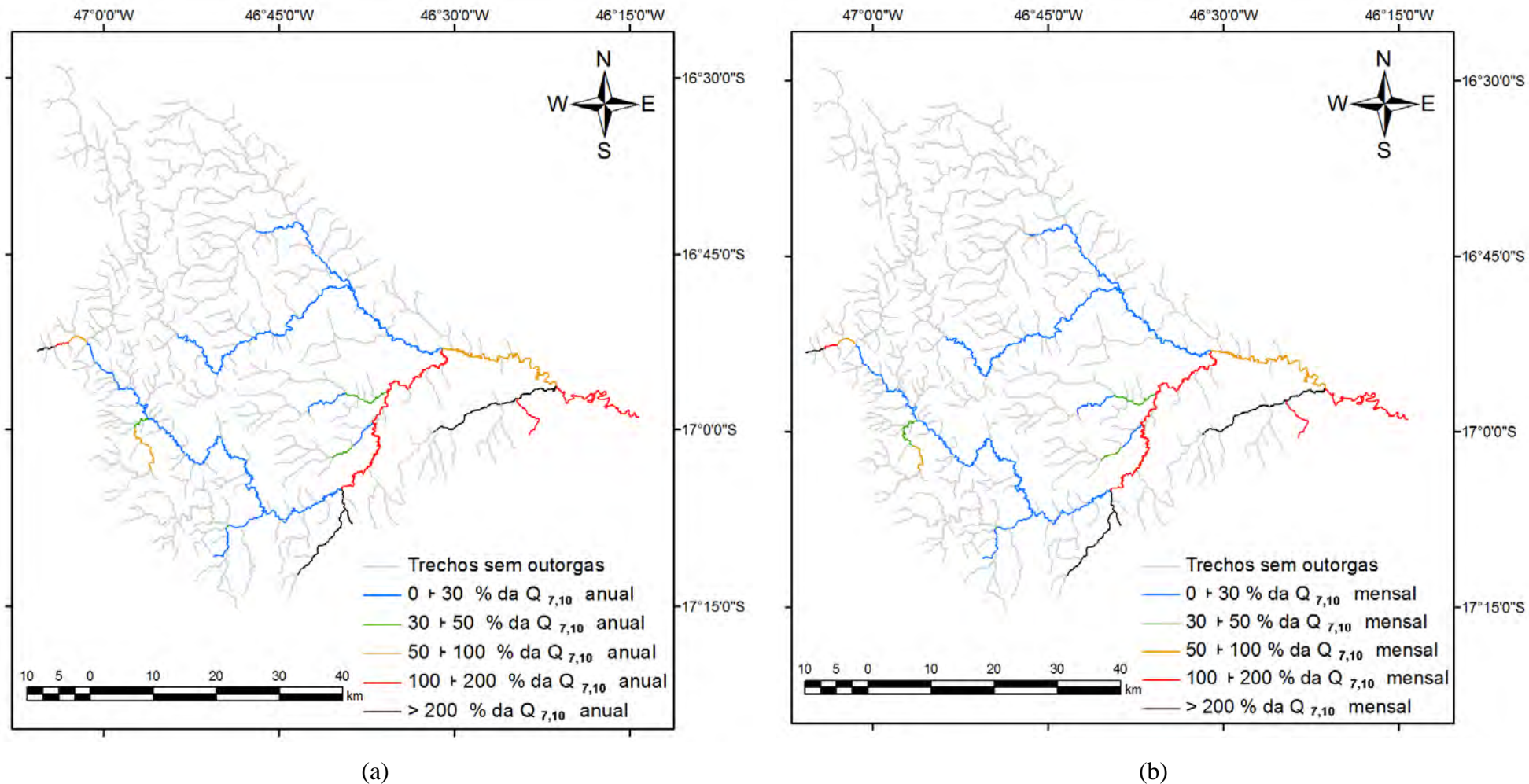


Figura 23 – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de outubro.

4.4. Regularização de vazões

A mudança de critérios proposta, de forma geral, proporciona um aumento expressivo da disponibilidade hídrica na bacia. Entretanto, mesmo considerando o cenário mais positivo, ou seja, adotando 50% da $Q_{7,10}$ mensal, ainda foram evidenciadas situações em que o somatório das demandas supera a disponibilidade, indicando a necessidade de implantação de reservatórios de regularização de vazões.

Para a instalação de barramentos no menor número possível de trechos, foram selecionados os trechos mais próximos às cabeceiras, uma vez que a regularização de vazão nestes trechos aumenta a disponibilidade, ou seja, aumentou a possibilidade de retirada ao longo de toda hidrografia. Na Figura 24 estão identificados, em vermelho, os trechos que apresentam, em algum mês do ano, somatório das demandas maior que 50% da $Q_{7,10}$, trechos para os quais foi testada a possibilidade de aumento da disponibilidade por meio da regularização de vazões.

Após a análise foi identificada a necessidade de construção de barramentos em nove trechos da hidrografia, identificado na Figura 24 pelo símbolo “▲”. As coordenadas de início e fim de cada trecho estão apresentadas na Tabela 4. Com a implantação de reservatórios de regularização nestes trechos e aplicação do critério de 50% da $Q_{7,10}$ nos demais trechos toda a bacia passa a apresentar somatório de demandas menor que vazão máxima outorgável.

Tabela 4 – Coordenadas do início e do final dos trechos com necessidade de regularização de vazões

Trecho	Início do trecho		Fim do trecho	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
1	16° 48' 36"	46° 59' 24"	16° 49' 29"	46° 59' 10"
2	16° 49' 57"	47° 01' 24"	16° 49' 55"	46° 59' 18"
3	16° 53' 13"	47° 05' 42"	16° 52' 60"	47° 04' 57"
4	17° 03' 25"	46° 55' 57"	17° 01' 09"	46° 56' 42"
5	17° 12' 17"	46° 43' 21"	17° 10' 56"	46° 42' 11"
6	17° 07' 60"	46° 38' 46"	17° 06' 46"	46° 39' 21"
7	16° 59' 21"	46° 41' 58"	16° 58' 34"	46° 42' 28"
8	17° 00' 15"	46° 31' 53"	17° 00' 07"	46° 31' 37"
9	17° 00' 30"	46° 23' 38"	16° 57' 23"	46° 24' 06"

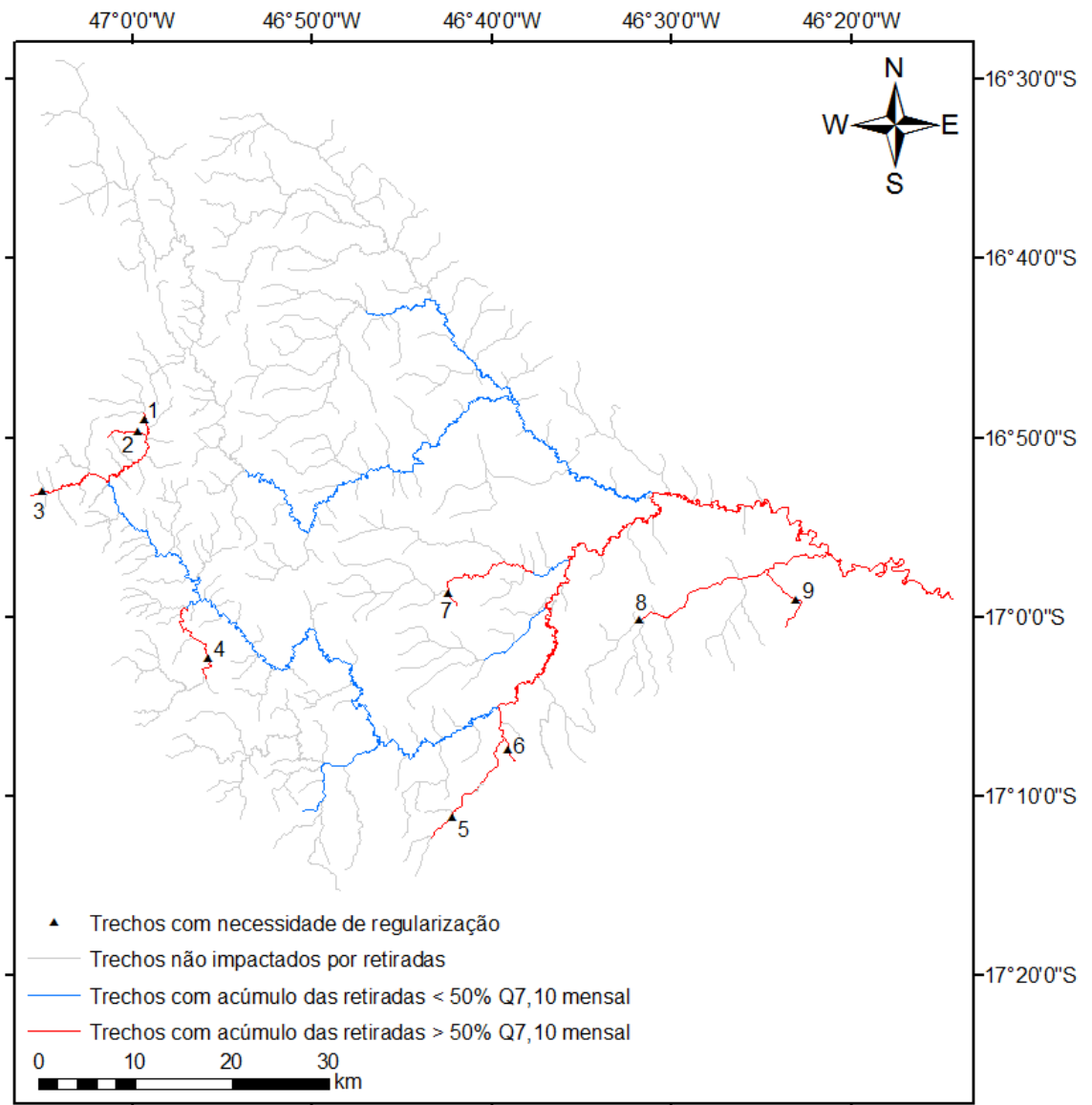


Figura 24 – Representação da situação dos trechos da hidrografia e dos pontos que apresentam necessidade de regularização de vazões.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho chegou-se às seguintes conclusões:

- As demandas de uso da água estão mais concentradas nas partes Sul e Leste da bacia e os valores associados a elas apresentam expressiva variação ao longo do ano, estando os maiores valores associados aos meses de abril a outubro.
- A substituição da $Q_{7,10}$ calculada em base anual pelas calculadas em base mensal resulta em um aumento da disponibilidade hídrica na bacia ao longo do ano, sendo maior que 50% nos meses de dezembro a junho. Uma exceção ocorre no mês de novembro, quando o uso de vazões mensais não apresenta influência no aumento da vazão de referência.
- Quando utilizado o critério atual para concessão de outorgas (30% da $Q_{7,10}$ anual), grande parte dos trechos da hidrografia com outorgas a montante apresentam o somatório das vazões demandadas maior que a vazão outorgável. A excedência foi observada em todos os meses, sendo que o mês mais crítico foi fevereiro (com excedência em 77% dos trechos) e o menos crítico foi outubro (com excedência em 40% dos trechos).
- A mudança do critério de 30% da $Q_{7,10}$ anual para 50% da mesma promoveu aumento no percentual dos trechos atendidos, tendo sido este menor no mês de agosto (5%) e maior no mês de fevereiro (170%);
- O uso do critério de 30% da $Q_{7,10}$ mensal proporcionou, ao longo do ano, aumentos de até 209% no percentual de trechos em que o somatório das outorgas não superou a

vazão máxima outorgável, com exceção dos meses de outubro e novembro, nos quais não foi observado aumento;

- A mudança do critério de 30% da $Q_{7,10}$ anual para 50% da $Q_{7,10}$ mensal promoveu aumento dos trechos com somatório das demandas menor que disponibilidade, em todos os meses, tendo este sido menor nos meses de setembro, outubro e novembro, correspondendo a, em média, 17% e maior nos demais meses, variando de 33% no mês de agosto e a 265% no mês de fevereiro; e
- Mesmo considerando o cenário mais permissivo, ou seja, adotando 50% da $Q_{7,10}$ mensal, ainda foram evidenciados trechos em que o somatório das demandas a montante supera a vazão permissível para outorga, tendo sido evidenciado que a implantação de nove reservatórios de regularização resulta em atendimento a todas as demandas, sem provocar a excedência da vazão máxima outorgável no trecho da outorga e nos trechos de jusante.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, 2002. 64 p. (Ed. comemorativa do Dia Mundial da Água).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009/Agência Nacional de Águas**. Brasília, 2009. 204 p.

ARNELL, N. W. Climate change and global water resources: SRES emissions and socioeconomic scenarios. **Global Environmental Change**, v. 14, p. 31-52, 2004.

BRASIL – Governo Federal. MINAS GERAIS; Governo do Estado. DISTRITO FEDERAL. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paracatu – PLANPAR**. [S. l.]: 1996. v. 1, t. 1 (CD-ROM).

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. **Lei no 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. [S. l.]: MMA/ SRH, 1997.

BRASIL. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Brasília: ANA/GEF/PNUMAIOEA, abril de 2004.

BRITO, R. A. L.; BASTINGS, I. W. A.; BORTOLOZZO, A. R. The Paracatu/Entre-Ribeiros irrigation scheme in Southeastern Brazil. Features and challenges in performance assessment. **Irrigation and Drainage Systems**, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, v. 17, p. 285-303, 2003.

BOF, L. H. N.; PRUSKI, F.F.; SOUZA, W. A. M. Impacto do uso de diversos critérios para a concessão de outorga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. 1 CD.

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

CASTRO, L. M. A.; DINIZ, M. G. M.; SILVA, H. M. V. L.; GUIMARÃES, L. C. Outorga em regiões de conflito no estado de Minas Gerais: caso do córrego da Cachoeira. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6., 2002, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2002. 1 CD-ROM.

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. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2004, São Luis. **Anais...** São Luis: ABRH, 2004. 1 CD-ROM.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais.** 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Otimização e simulação comparativa de cenários de outorga. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 3, Jul./Set. 2005.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência Rega/Associação Brasileira de Recursos Hídricos. **REGA**, Porto Alegre – ABRH/Brasil, v. 4, n. 2, p. 51-64, Jul./Dez. 2007.

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO ENTRE RIBEIROS. Paracatu. **Irriplan Engenharia Ltda.** [S.l.], 2003.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. R. **Atlas digital das águas de Minas**. Viçosa, MG: UFV, RURALMINAS, IGAM, 2005. 78 p.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no Estado de Minas Gerais – Estudo de caso, artigo dos pesquisadores. **Revista Trimestral da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem** – Abid, v. 3, n. 71/72, 4.º trimestre, 2006.

FALKENMARK, M.; LUNDQVIST, J.; WIDSTRAND, C. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: aspects of vulnerability in semi-arid development. **Natural Resources Forum**, v. 13, p. 258-267, 1989.

FILL, H. H. Informações hidrológicas. In: BARTH, F. T.; POMPEU, C. T.; FILL, H. D.; TUCCI, C. E. M.; KELMAN, J.; BRAGA JÚNIOR, B. P. F. (Orgs.). **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987. p. 95-210. (Coleção ABRH).

GLENNON, R. Water scarcity, marketing, and privatization. **Texas Law Review**, v. 83, n. 7, p. 1873-1902, Jun. 2005. Disponível em: <SSRN: <http://ssrn.com/abstract=762604>>.

GETIRANA, A. C. V.; AZEVEDO, J. P. S.; MAGALHÃES, P. C. Conflitos pelo uso da água no Setor Agrícola no Norte Fluminense (II): Processo Decisório Através do Modelo Grafo para Solução de Conflitos. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, p. 39-50, Abr./Jun. 2007.

IBGE. **Estimativas de população para os municípios brasileiros, com data de referência em 1º de julho de 2009**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2009/estimativa.shtm>>. Acesso em: 13 Dez. 2010.

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

KELMAN, J. 1997. Gerenciamento de recursos hídricos. Parte I: Outorga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: ABRH, 16 a 20 nov. 1997. CD-ROM.

MEDEIROS, M. J.; NAGHETTINI, M. C. Análise da viabilidade de aplicação de um fator de correção anual para o critério de vazão de outorga adotada no Estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 6., 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2001. 1 CD-ROM.

MINELLA, J. P. G. Avaliação de parâmetros hidrossedimentométricos numa bacia do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, v. 1, p. 46-51, 2004.

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, MG, 2005.

OLIVEIRA, F. A. **Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do rio grande**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos. **Síntese executiva**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos – MMA, 2006. 135 p.; 27 cm. + 1 CD-ROM.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. G.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M.; TEIXEIRA, A. F.. Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na bacia do Paracatu. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, Apr. 2007.

RAMOS, M. M.; PRUSKI, F. F. Subprojeto 4.3 – Quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia do São Francisco. In: PROJETO GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO. ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Relatório final...** Viçosa, MG, 2003. 190 p.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. p.1-37.

REBOUÇAS, A. C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia análise & dados Salvador**, v. 13, p. 341-345, 2003. Número especial.

RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES, F. A.; SILVA, D. D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 103-107, 2005.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso**. Porto Alegre: IPH/ URGs, 2000. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. A Outorga integrada das vazões de captação e diluição. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 151-168, 2003.

RIBEIRO, W. C. **A ordem ambiental internacional**. São Paulo: Contexto, 2001.

RODRIGUES, A. C. L.; BARBOSA, D. L.; FREIRE, P. K. C.; CURI, R. C.; CURI, W. F. Um estudo sobre outorga do uso da água. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8, 2006, Gravatá. **Anais...** Gravatá, PE, 2006.

RODRIGUEZ, R. del G.; PRUSKI, F. F.; NOVAES, L. F.; RAMOS, M. M.; SILVA, D. D.; TEIXEIRA, A. F. Estimativa da demanda de água nas áreas irrigadas da bacia do Rio Paracatu. **Engenharia Agrícola** (Impresso), Jaboticabal, v. 27, p. 172-179, Apr. 2007.

RODRIGUEZ, R. del G. **Proposta conceitual para a 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, MG, 2008.

SANTOS, R. R. **Crise hídrica na irrigação: o caso do ribeiro Entre-Ribeiros (MG). I Regis Ricci dos Santos.** 2007. Dissertação (Mestrado) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SCHVARTZMAN, A. S.; MEDEIROS, M. J.; NASCIMENTO, N. O. et al. Avaliação Preliminar do Critério de Outorga Adotado do Estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 28/nov. a 1ºdez.1999. CD-ROM.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens. In: MACHADO, C. J. S. (Org.). **Gestão de águas doces.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004. Cap. 5, p. 135-178.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.10, n.2, p.374-380, 2006

SILVEIRA, G. L.; ROBAINA, A. D.; GIOTTO, E.; DEWES, R. Outorga para uso dos recursos Hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 5-16, Jul./Set. 1998.

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

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, p. 671-677, 8 Aug. 2002.

TUCCI, C. E. M.; KELMAN, J.; BRAGA JÚNIOR, B. P. F. (Orgs.). **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos.** São Paulo: Nobel/ABRH, 1987. p. 95-210. (Coleção ABRH).

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS, 2002. 256 p.

UNITED NATIONS. **World population prospects**. Population division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat: The 2008 Revision. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2008.

APÊNDICES

APÊNCIDE A

Quadro 1 A – Diagrama de barras de dados de vazão no período de 1960 a 2009 nas estações fluviométricas utilizadas no estudo

Cód. da Estação	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	
42435000																										
42440000																										
42460000																										
42490000																										
42540000																										
42545500																										
42546000																										
42600000																										

67

Quadro 1 A – Continuação

Cód. da Estação	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09		
42435000																											
42440000																											
42460000																											
42490000																											
42540000																											
42545500																											
42546000																											
42600000																											

Legenda: Anos com mais de 95% dos dados

Quadro 2 A – Diagrama de barras de dados de vazão no período de 1975 a 2005 nas estações fluviométricas utilizadas no estudo

Cód. da Estação	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05
1546005																															
1547002																															
1645002																															
1646000																															
1646001																															
1646003																															
1647001																															
1647002																															
1746001																															
1746002																															

Legenda:  Anos com mais de 95% dos dados

APÊNCIDE B

Tabela 1B – Dados da demanda de água nos pontos com outorga ao longo da hidrografia da bacia do ribeirão Entre Ribeiros

Ponto	Condição de retirada	Vazão (m ³ s ⁻¹)											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Fio d'água	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
2	Barramento	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	Barramento	0,0650	0,0650	0,0000	0,0000	0,0650	0,0650	0,0650	0,0650	0,0000	0,0650	0,0650	0,0650
4	Fio d'água	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034
5	Fio d'água	0,0840	0,0000	0,0840	0,0840	0,0840	0,0840	0,0000	0,0000	0,0840	0,0840	0,0840	0,0840
6	Fio d'água	0,0000	0,0000	0,0000	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0000	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000
7	Fio d'água	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800
8	Fio d'água	0,0540	0,0000	0,0000	0,0540	0,0540	0,0540	0,0540	0,0540	0,0540	0,0000	0,0540	0,0540
9	Fio d'água	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600
10	Fio d'água	0,0000	0,0000	0,0000	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,0000	0,0000
11	Fio d'água	0,0201	0,0000	0,0000	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0000	0,0201	0,0201
12	Fio d'água	0,0292	0,0000	0,0000	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0000	0,0292	0,0292
13	Fio d'água	0,0000	0,0000	0,0000	0,0280	0,0280	0,0280	0,0280	0,0280	0,0280	0,0000	0,0000	0,0000
14	Fio d'água	0,0770	0,0770	0,0770	0,0770	0,0770	0,0770	0,0770	0,0770	0,0770	0,0770	0,0770	0,0770
15	Fio d'água	0,0646	0,0646	0,0646	0,0646	0,0646	0,0646	0,0646	0,0646	0,0646	0,0646	0,0646	0,0646
16	Barramento	0,2217	0,2217	0,2217	0,2217	0,2217	0,2217	0,2217	0,2217	0,2217	0,2217	0,2217	0,2217
17	Barramento	0,2036	0,2036	0,2036	0,2036	0,2036	0,2036	0,2036	0,2036	0,2036	0,2036	0,2036	0,2036
18	Fio d'água	0,3086	0,3086	0,3086	0,3086	0,3086	0,3086	0,3086	0,3086	0,3086	0,3086	0,3086	0,3086
19	Barramento	0,1339	0,1339	0,1339	0,1339	0,1339	0,1339	0,1339	0,1339	0,1339	0,1339	0,1339	0,1339
20	Barramento	0,3600	0,3600	0,3600	0,3600	0,3600	0,3600	0,3600	0,3600	0,3600	0,3600	0,3600	0,3600
21	Barramento	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
22	Barramento	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333	0,0333
23	Barramento	0,0676	0,0676	0,0676	0,0676	0,0676	0,0676	0,0676	0,0676	0,0676	0,0676	0,0676	0,0676
24	Barramento	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150
25	Fio d'água	0,0550	0,0550	0,0550	0,0550	0,0550	0,0550	0,0550	0,0550	0,0000	0,0550	0,0550	0,0550

Continuação Tabela 1B – Dados da demanda de água nos pontos com outorga ao longo da hidrografia da bacia do ribeirão Entre Ribeiros

Ponto	Condição de retirada	Vazão (m ³ s ⁻¹)											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
26	Fio d'água	0,0555	0,0000	0,0000	0,0555	0,0555	0,0555	0,0555	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
27	Barramento	0,0555	0,0555	0,0000	0,0555	0,0555	0,0555	0,0555	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
28	Barramento	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600
29	Fio d'água	0,1060	0,1060	0,0000	0,1060	0,1060	0,1060	0,1060	0,0000	0,0000	0,1060	0,1060	0,1060
30	Fio d'água	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
31	Retificação	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
32	Retificação	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	Retificação	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
34	Barramento	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3200	0,3200	0,3200	0,3200	0,3200	0,3200	0,0000	0,0000
35	Barramento	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
36	Barramento	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100
37	Barramento	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800
38	Barramento	0,2600	0,2600	0,2600	0,2600	0,2600	0,2600	0,2600	0,2600	0,2600	0,2600	0,2600	0,2600
39	Barramento	0,2700	0,2700	0,2700	0,2700	0,2700	0,2700	0,2700	0,2700	0,2700	0,2700	0,2700	0,2700
40	Barramento	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9200	0,9200	0,9200	0,5280	0,5280	0,9200	0,0000	0,0000
41	Fio d'água	2,0467	2,0467	2,0467	2,0467	2,0467	2,0467	2,0467	2,0467	2,0467	2,0467	2,0467	2,0467
42	Fio d'água	0,1203	0,1203	0,1203	0,1203	0,1203	0,1203	0,1203	0,1203	0,1203	0,1203	0,1203	0,1203
43	Fio d'água	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336
44	Fio d'água	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600
45	Fio d'água	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900	0,0900
46	Fio d'água	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150
47	Fio d'água	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233	0,1233
48	Fio d'água	0,0920	0,0920	0,0920	0,0920	0,0920	0,0920	0,0920	0,0920	0,0920	0,0920	0,0920	0,0920
49	Fio d'água	0,8880	0,8880	0,8880	0,8880	0,8880	0,8880	0,8880	0,8880	0,8880	0,8880	0,8880	0,8880
50	Fio d'água	0,8350	0,8350	0,8350	0,8350	0,8350	0,8350	0,8350	0,8350	0,8350	0,8350	0,8350	0,8350
51	Fio d'água	0,0340	0,0340	0,0340	0,0340	0,0340	0,0340	0,0340	0,0340	0,0340	0,0340	0,0340	0,0340

APÊNCIDE C

Tabela 1C – Valores de $Q_{7,10}$ ($m^3 s^{-1}$) anual e mensal para cada estação fluviométrica

	Estações							
	42435000	42440000	42460000	42490000	42540000	42545500	42546000	42600000
Anual	1,27	1,03	8,60	10,19	10,69	1,05	1,23	12,49
Janeiro	7,19	2,21	25,50	28,65	29,77	2,76	1,98	46,69
Fevereiro	6,15	2,86	29,55	28,36	23,22	1,50	1,48	25,64
Março	5,59	3,08	35,46	33,21	38,29	2,27	1,91	42,65
Abril	4,96	3,16	39,33	37,59	39,26	2,34	1,92	49,05
Maio	3,41	2,71	31,19	31,14	30,30	2,10	1,70	38,65
Junho	2,35	2,01	23,39	23,00	24,97	1,79	1,59	28,87
Julho	2,08	1,71	18,12	17,18	17,85	1,40	1,49	21,48
Agosto	1,77	1,40	14,13	13,04	13,84	1,31	1,37	16,29
Setembro	1,62	1,19	11,62	11,14	11,40	1,21	1,34	13,65
Outubro	1,23	1,08	10,65	10,55	10,75	1,06	1,28	14,03
Novembro	1,17	1,29	12,97	13,96	15,02	0,92	1,45	27,92
Dezembro	3,77	1,61	21,09	21,66	21,04	1,40	1,77	27,09

Tabela 2C – Coeficientes de determinação obtidos em bases anual e mensal, pelo ajuste de regressão dos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco para a $Q_{7,10}$, utilizando a área como variável independente

	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
Anual	0,902	0,914	0,827	0,919	0,776
Janeiro	0,980	0,992	0,843	0,928	0,659
Fevereiro	0,691	0,905	0,701	0,863	0,561
Março	0,858	0,948	0,791	0,927	0,658
Abril	0,873	0,942	0,800	0,921	0,673
Maiο	0,865	0,927	0,801	0,913	0,709
Junho	0,861	0,917	0,803	0,912	0,762
Julho	0,851	0,915	0,801	0,907	0,761
Agosto	0,841	0,915	0,800	0,904	0,773
Setembro	0,848	0,918	0,803	0,909	0,772
Outubro	0,889	0,898	0,815	0,907	0,769
Novembro	0,974	0,886	0,865	0,835	0,724
Dezembro	0,883	0,955	0,804	0,934	0,690

Tabela 3C – Coeficientes de determinação obtidos em bases anual e mensal, pelo ajuste de regressão dos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco para a $Q_{7,10}$, utilizando a P_{eq} como variável independente

	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
Anual	0,920	0,926	0,849	0,929	0,801
Janeiro	0,986	0,994	0,859	0,930	0,673
Fevereiro	0,717	0,919	0,724	0,879	0,577
Março	0,877	0,959	0,813	0,938	0,676
Abril	0,891	0,954	0,822	0,932	0,692
Maiο	0,884	0,940	0,824	0,925	0,729
Junho	0,881	0,930	0,827	0,924	0,785
Julho	0,871	0,930	0,824	0,919	0,785
Agosto	0,871	0,930	0,824	0,919	0,785
Setembro	0,868	0,931	0,826	0,920	0,795
Outubro	0,906	0,912	0,838	0,917	0,793
Novembro	0,975	0,901	0,884	0,837	0,749
Dezembro	0,901	0,965	0,825	0,944	0,709

Tabela 4C – Coeficientes de determinação obtidos em bases anual e mensal, pelo ajuste de regressão dos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco para a $Q_{7,10}$, utilizando a P_{eq750} como variável independente

	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
Anual	0,943	0,944	0,881	0,942	0,834
Janeiro	0,991	0,994	0,878	0,931	0,690
Fevereiro	0,754	0,929	0,753	0,899	0,595
Março	0,904	0,970	0,841	0,952	0,697
Abril	0,916	0,966	0,851	0,946	0,715
Maiο	0,910	0,955	0,855	0,940	0,756
Junho	0,908	0,947	0,859	0,939	0,817
Julho	0,898	0,947	0,857	0,935	0,816
Agosto	0,890	0,945	0,856	0,933	0,829
Setembro	0,896	0,947	0,858	0,936	0,827
Outubro	0,929	0,931	0,869	0,931	0,828
Novembro	0,972	0,919	0,911	0,839	0,784
Dezembro	0,925	0,976	0,853	0,957	0,732

Tabela 5C – Resíduos percentuais obtidos em bases anual e mensal, pelo ajuste estatístico dos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco para a $Q_{7,10}$, utilizando a área como variável independente

	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
Anual	136,258	109,100	101,387	269,527	-140,485
Janeiro	46,029	-23,114	96,789	-137,944	-119,379
Fevereiro	277,467	66,381	151,150	148,972	-128,593
Março	147,380	41,313	140,479	190,861	-121,069
Abril	139,746	59,740	140,570	-157,766	-118,035
Maiο	157,956	90,504	134,652	313,056	-120,582
Junho	188,193	117,724	133,051	358,605	-123,927
Julho	152,847	100,660	120,041	293,080	-129,430
Agosto	137,895	97,306	110,689	261,791	-137,090
Setembro	120,989	89,646	103,467	232,738	-142,757
Outubro	163,192	126,131	99,349	313,932	-135,697
Novembro	218,377	180,826	85,124	525,928	-115,859
Dezembro	144,243	41,662	124,441	164,682	-123,424

Tabela 6C – Resíduos percentuais obtidos em bases anual e mensal, pelo ajuste estatístico dos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco para a $Q_{7,10}$, utilizando a P_{eq} como variável independente

	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
Anual	123,795	100,587	96,386	255,612	-142,089
Janeiro	38,680	-20,293	89,436	-134,745	-120,281
Fevereiro	250,046	62,297	145,797	100,043	-129,599
Março	130,779	38,683	133,578	179,268	-121,845
Abril	121,440	51,765	133,399	241,759	-118,672
Maiο	142,943	81,240	128,093	296,263	-121,293
Junho	171,574	107,428	126,827	340,108	-124,746
Julho	139,074	91,662	114,553	277,732	-130,454
Agosto	125,624	88,983	105,718	248,139	-138,502
Setembro	109,967	81,973	98,772	220,474	-144,505
Outubro	149,162	116,651	94,365	298,142	-137,006
Novembro	195,930	167,163	78,452	498,794	-116,303
Dezembro	121,030	31,301	117,981	154,273	-124,310

Tabela 7C – Resíduos percentuais obtidos em bases anual e mensal, pelo ajuste estatístico dos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco para a $Q_{7,10}$, utilizando a P_{eq750} como variável independente

	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
Anual	102,229	85,260	87,387	229,013	-145,631
Janeiro	32,003	-16,023	77,008	-113,496	-122,183
Fevereiro	220,392	56,886	134,710	76,030	-132,099
Março	113,200	33,753	120,798	157,156	-123,621
Abril	102,788	37,742	120,210	213,929	-120,120
Maiο	117,022	64,872	115,976	264,196	-122,902
Junho	142,847	89,125	115,388	304,747	-126,564
Julho	115,287	75,642	104,338	248,403	-132,805
Agosto	104,427	74,066	96,520	222,035	-141,672
Setembro	90,926	68,167	90,138	197,021	-148,394
Outubro	124,884	99,611	85,363	267,956	-139,915
Novembro	156,872	142,972	67,031	447,161	-117,357
Dezembro	98,242	-31,002	106,150	134,423	-126,334

Tabela 8C – Vazões específicas de imposição para minimização do risco de superestimativa nas regiões de extrapolação das equações

	$q_{7,10} (\text{L s}^{-1} \text{ Km}^{-2})$							
	42435000	42440000	42460000	42490000	42540000	42545500	42546000	42600000
Anual	0,79906	1,93872	2,24610	1,94162	1,83031	1,49403	2,32571	1,33306
Janeiro	4,50753	4,15197	6,65770	5,45619	5,09795	3,91761	3,74340	4,98282
Fevereiro	3,85885	5,36585	7,71514	5,40095	3,97569	2,13352	2,80000	2,73597
Março	3,50565	5,77111	9,25718	6,32648	6,55685	3,22727	3,60566	4,55176
Abril	3,11104	5,92308	10,26919	7,15981	6,72226	3,31676	3,61698	5,23522
Maio	2,13802	5,09006	8,14360	5,93181	5,18836	2,97869	3,20943	4,12476
Junho	1,47491	3,76360	6,10601	4,38152	4,27603	2,54688	2,99811	3,08100
Julho	1,30489	3,20263	4,73107	3,27219	3,05702	1,99148	2,81887	2,29210
Agosto	1,10853	2,63415	3,68903	2,48400	2,37055	1,86222	2,57925	1,73874
Setembro	1,01882	2,23827	3,03316	2,12133	1,95154	1,72017	2,52076	1,45624
Outubro	0,77415	2,02627	2,78120	2,00991	1,83990	1,50426	2,41132	1,49776
Novembro	0,73087	2,42026	3,38512	2,65924	2,57192	1,31250	2,73585	2,97940
Dezembro	2,36198	3,02064	5,50757	4,12571	3,60206	1,98580	3,33962	2,89072

APÊNDICE D

Tabela 1D – Variação da diferença relativa (DH%) entre as vazões $Q_{7,10}$ anual e mensal

Estações	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
42435000	466	384	340	291	169	85	64	39	28	-3	-8	197
42440000	115	178	199	207	163	95	66	36	16	5	25	56
42460000	197	244	312	357	263	172	111	64	35	24	51	145
42490000	181	178	226	269	206	126	69	28	9	4	37	113
42540000	178	117	258	267	183	134	67	29	7	1	41	97
42545500	163	43	116	123	100	70	33	25	15	1	-12	33
42546000	61	20	55	56	38	29	21	11	9	4	18	44
42600000	274	105	241	293	209	131	72	30	9	12	124	117

APÊNDICE E

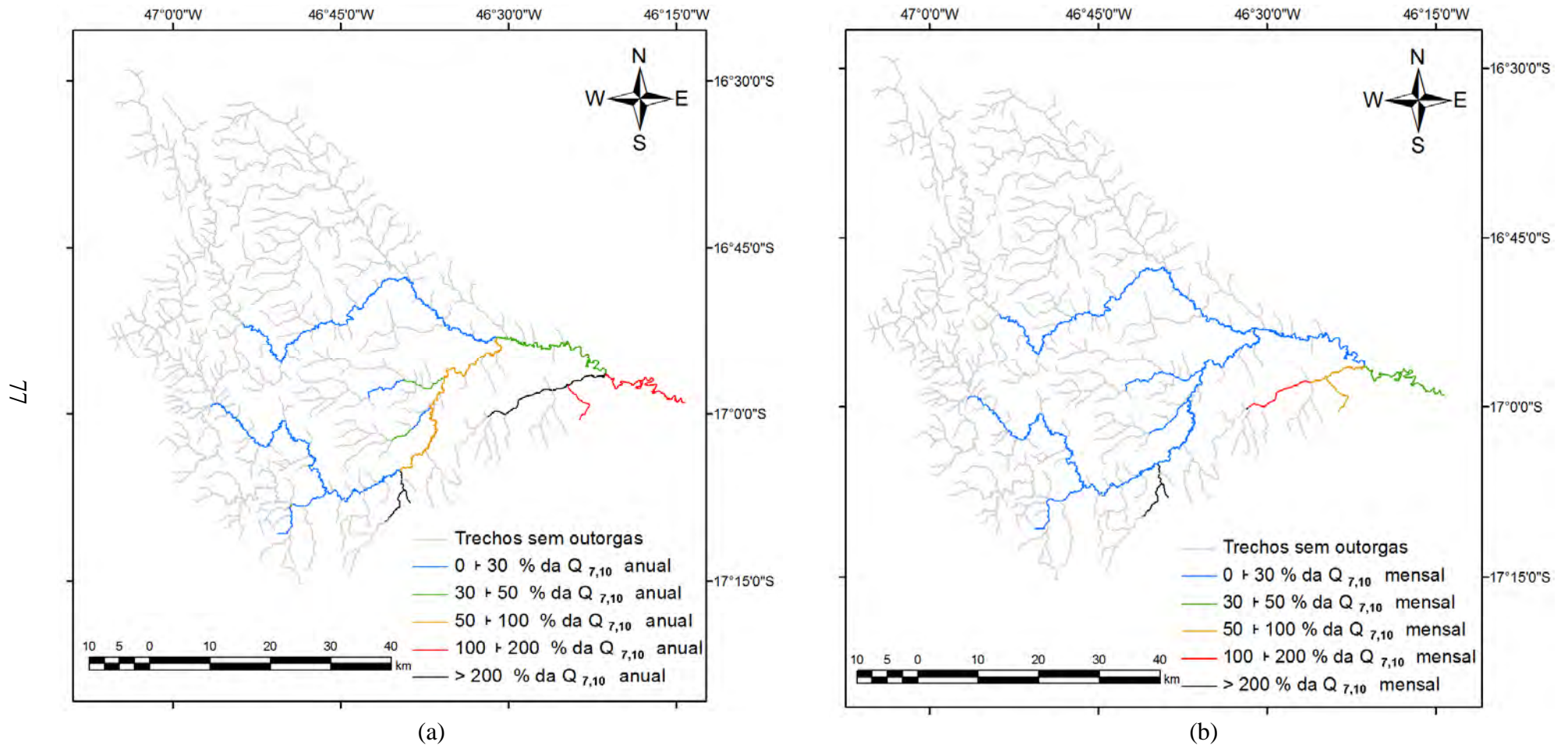
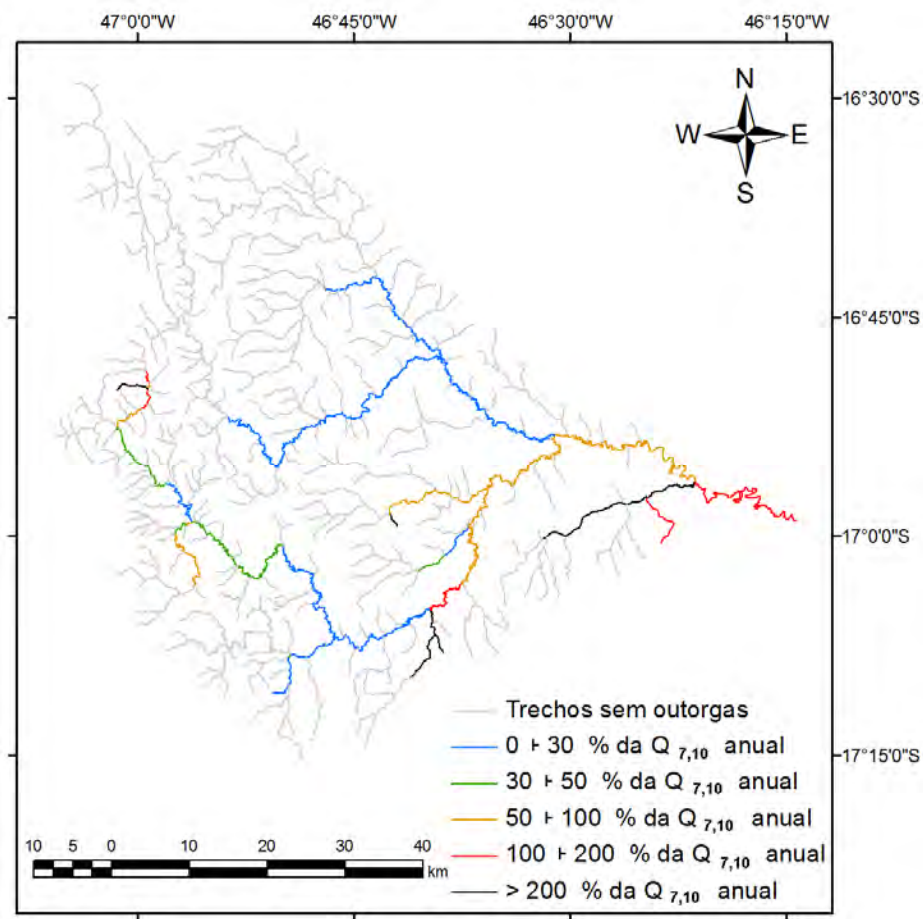
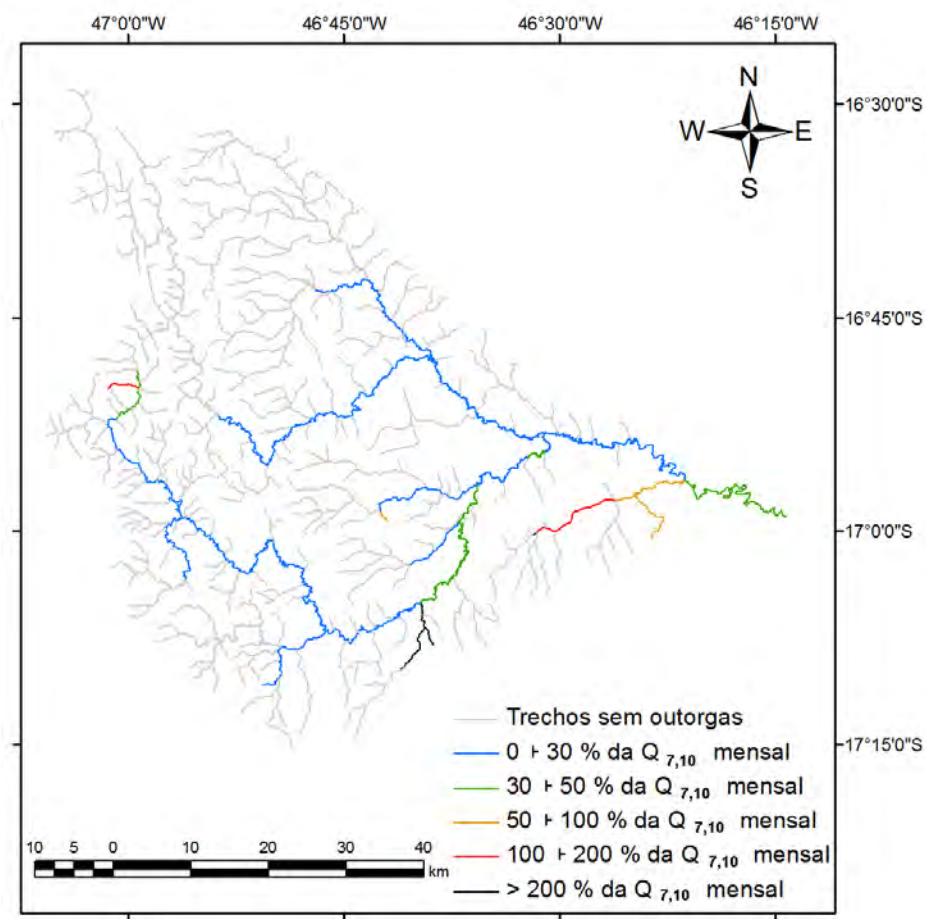


Figura 1E – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de março.

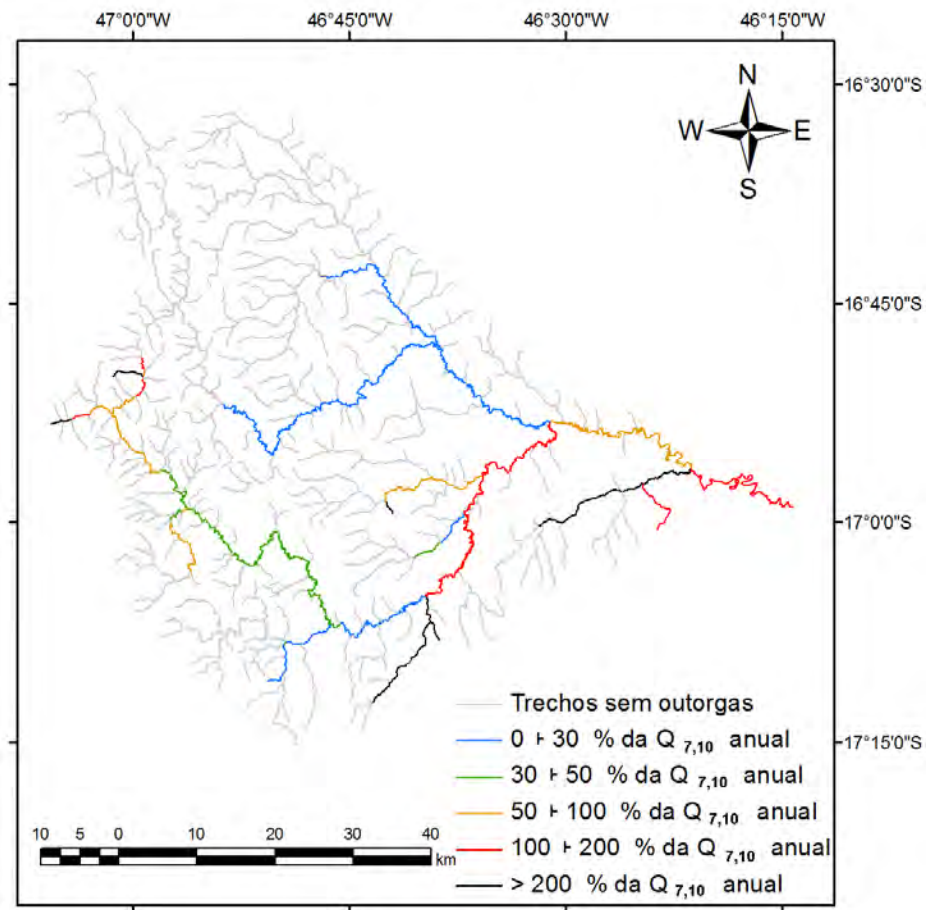


(a)

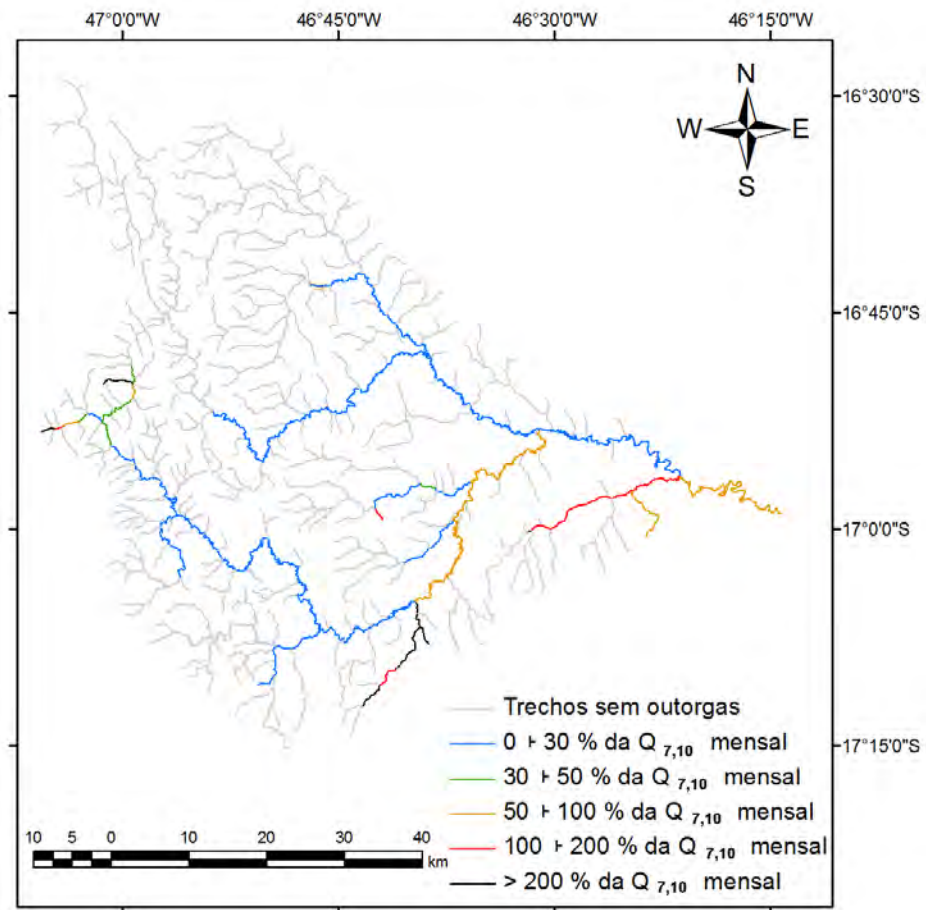


(b)

Figura 2E – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de abril.

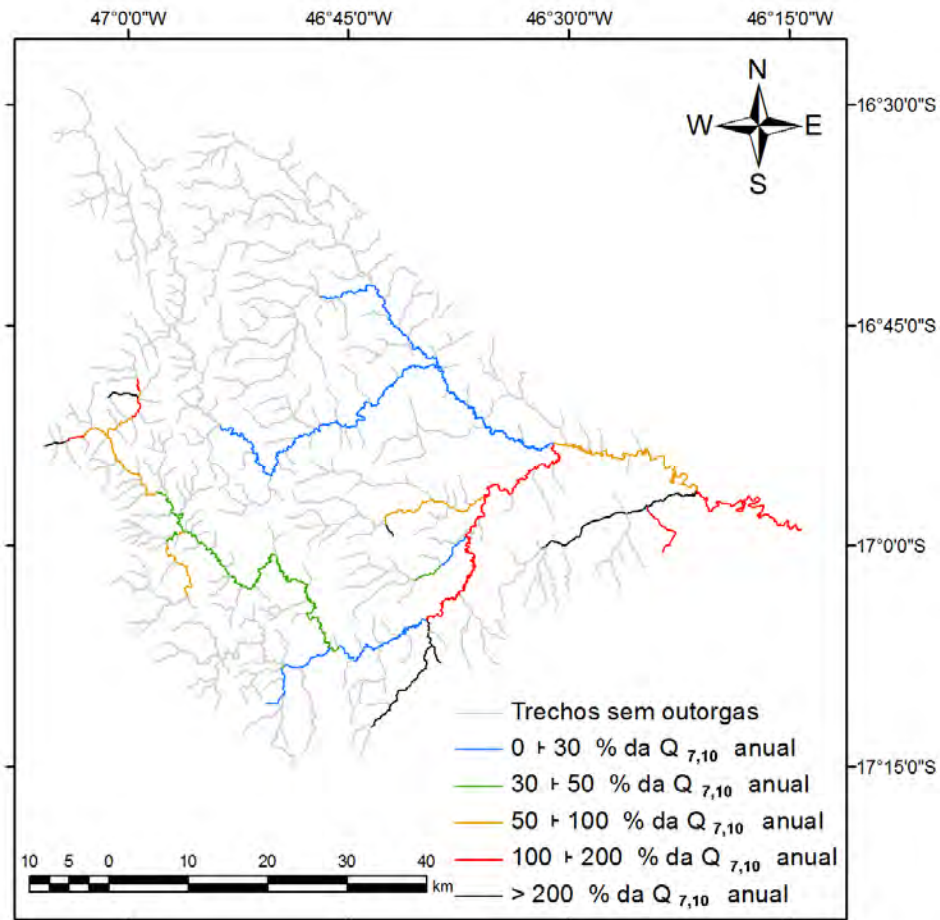


(a)

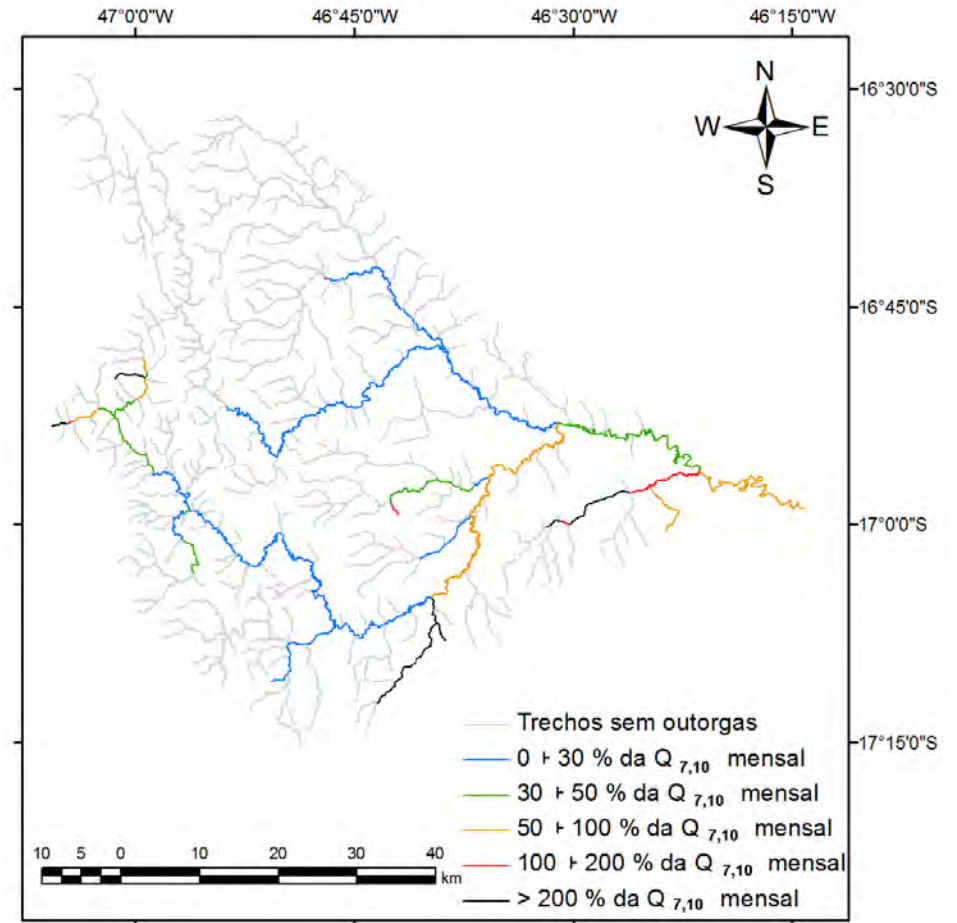


(b)

Figura 3E – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de maio.

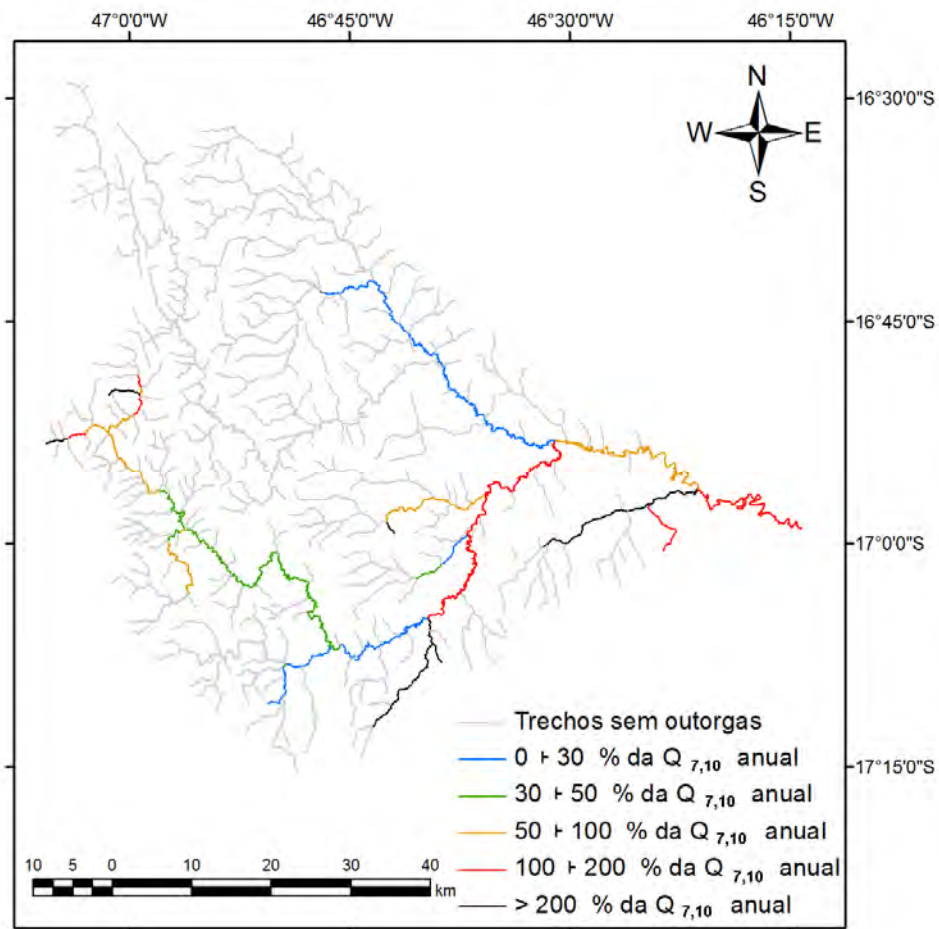


(a)

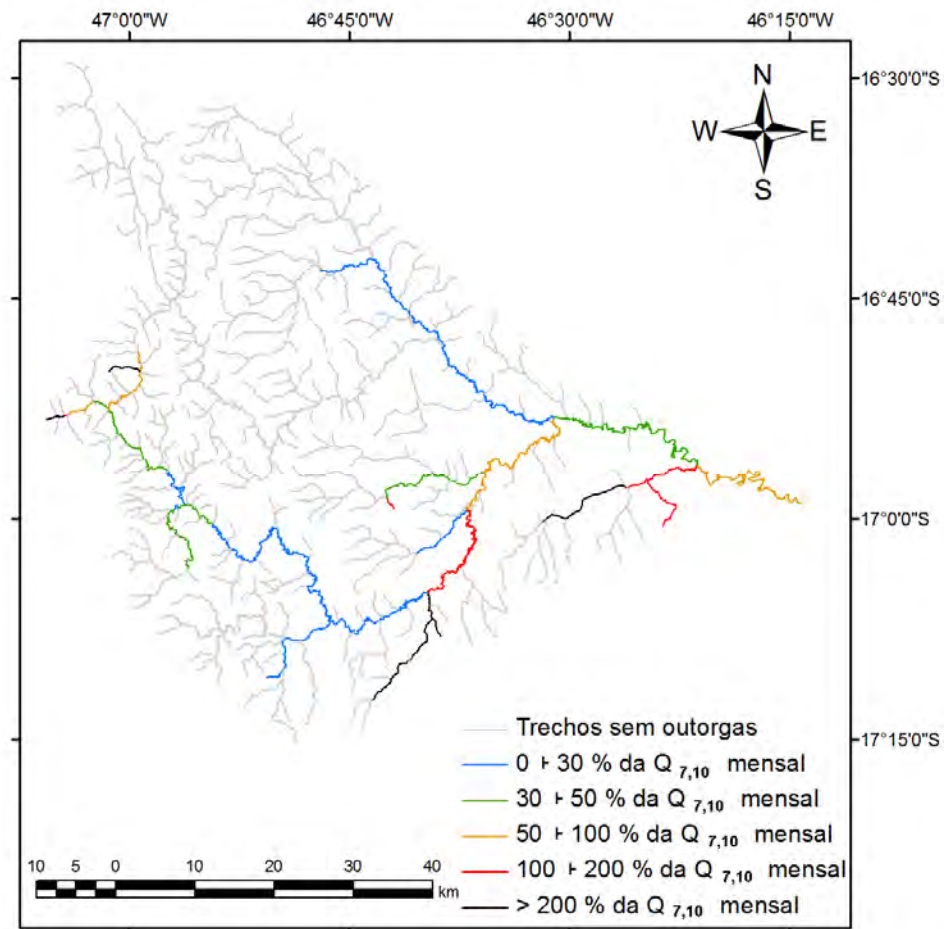


(b)

Figura 4E – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de junho.

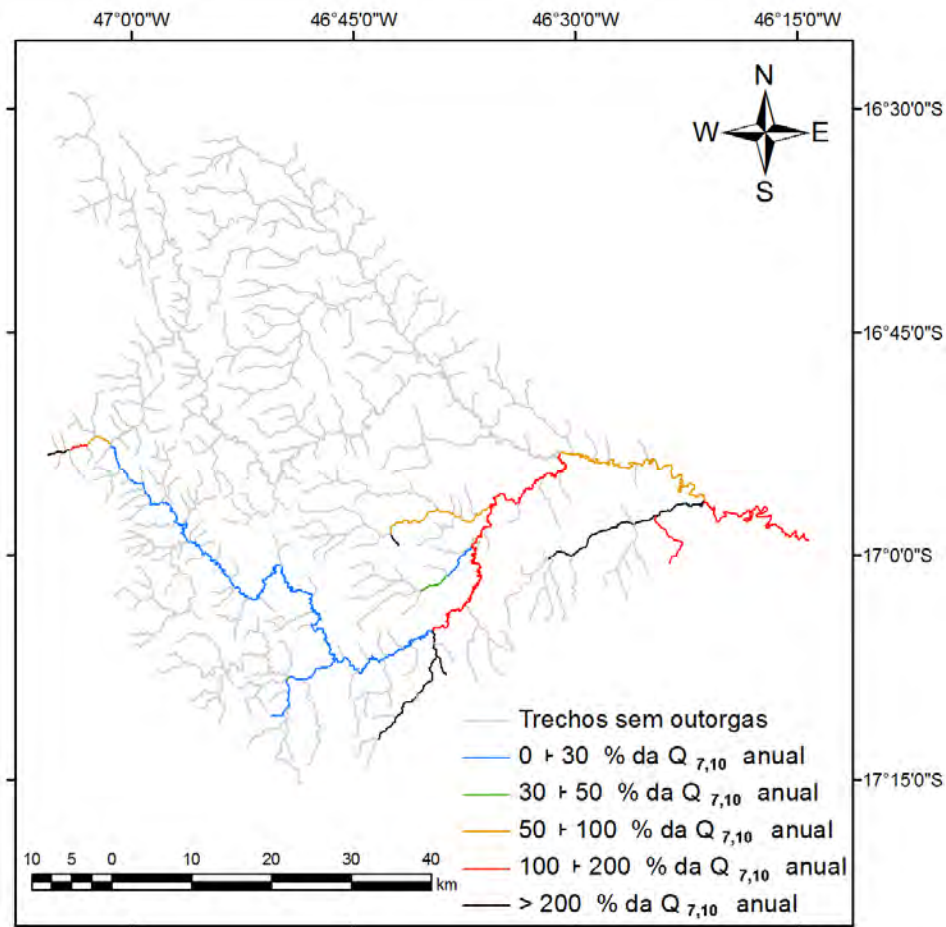


(a)

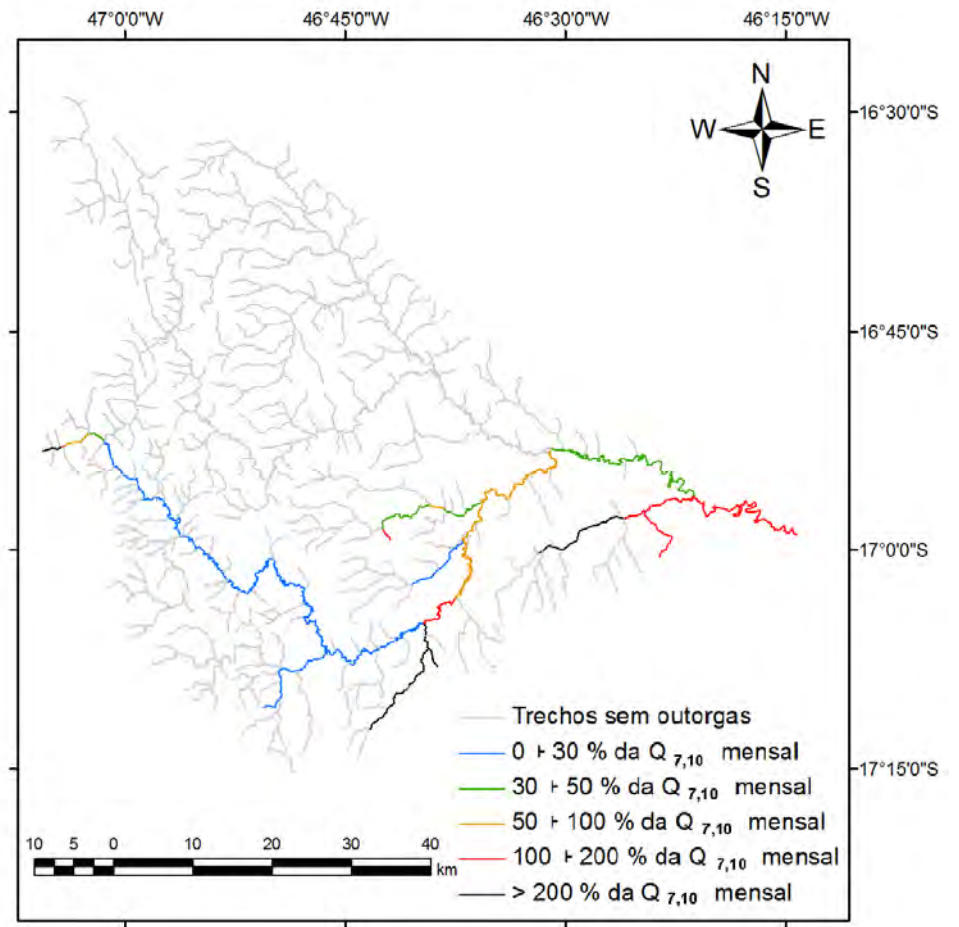


(b)

Figura 5E – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de julho.

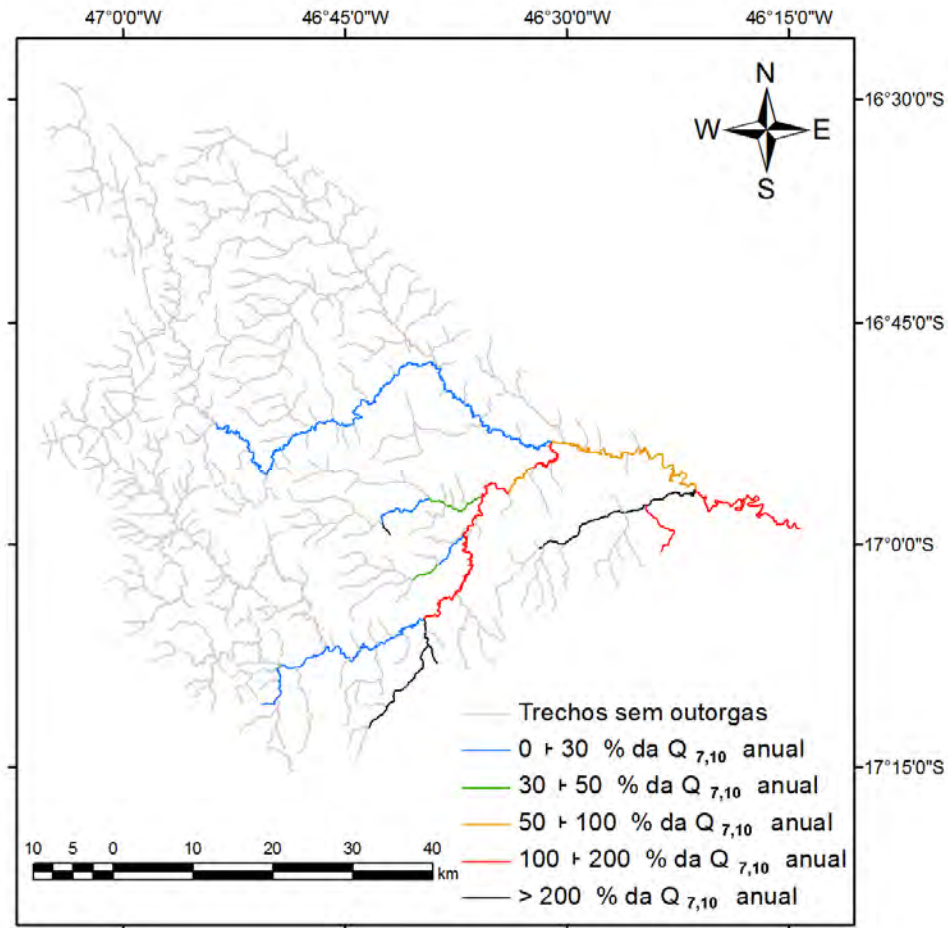


(a)

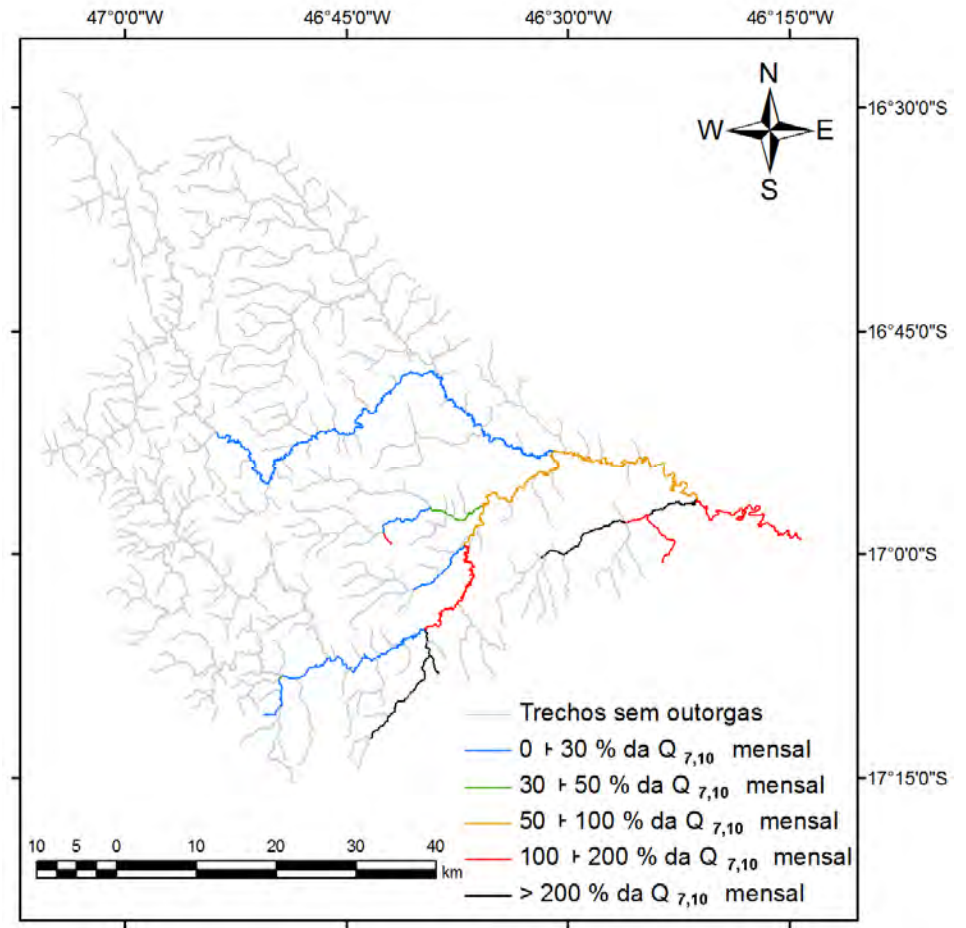


(b)

Figura 6E – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de agosto.



(a)



(b)

Figura 7E – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de setembro.

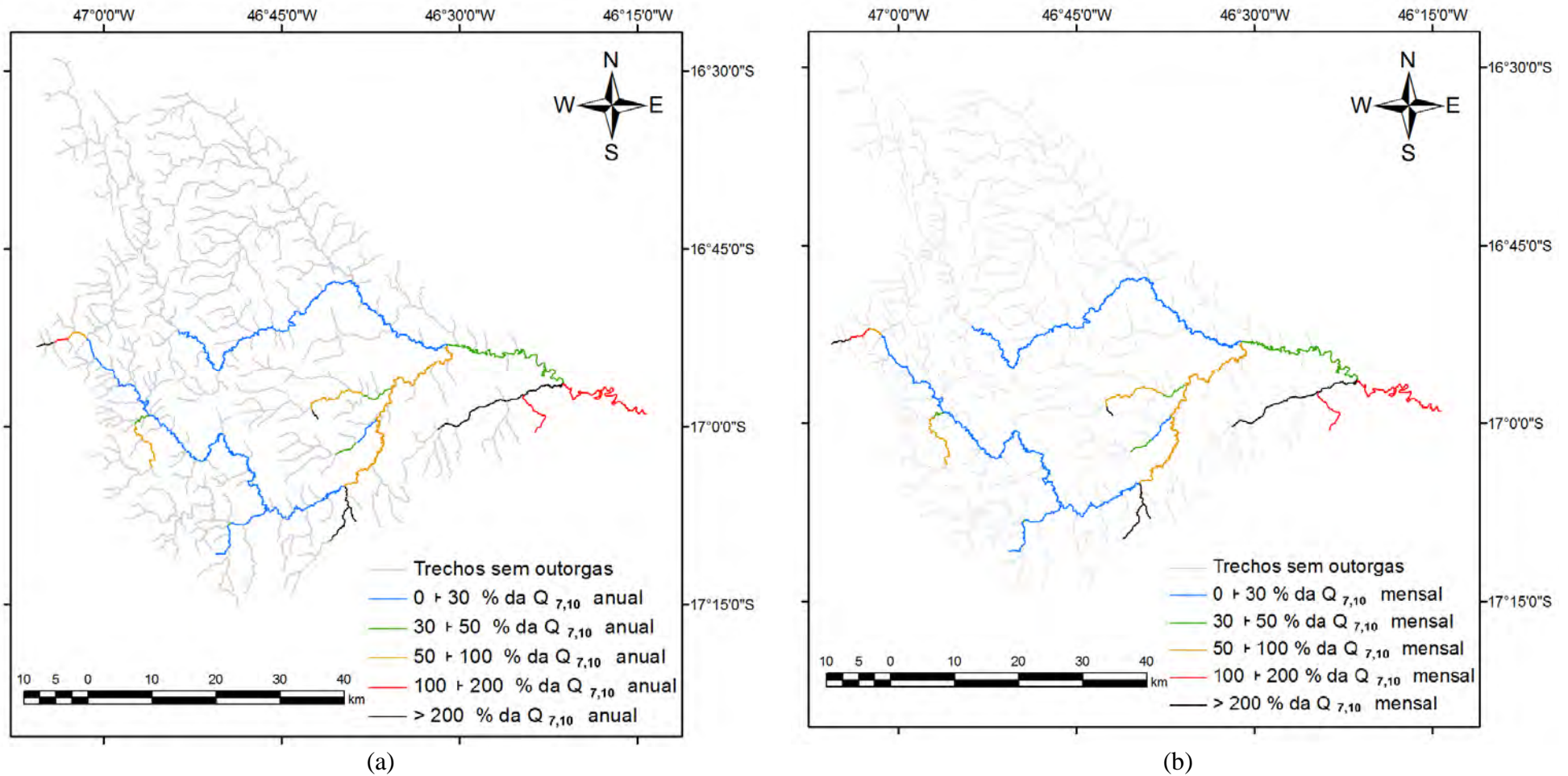
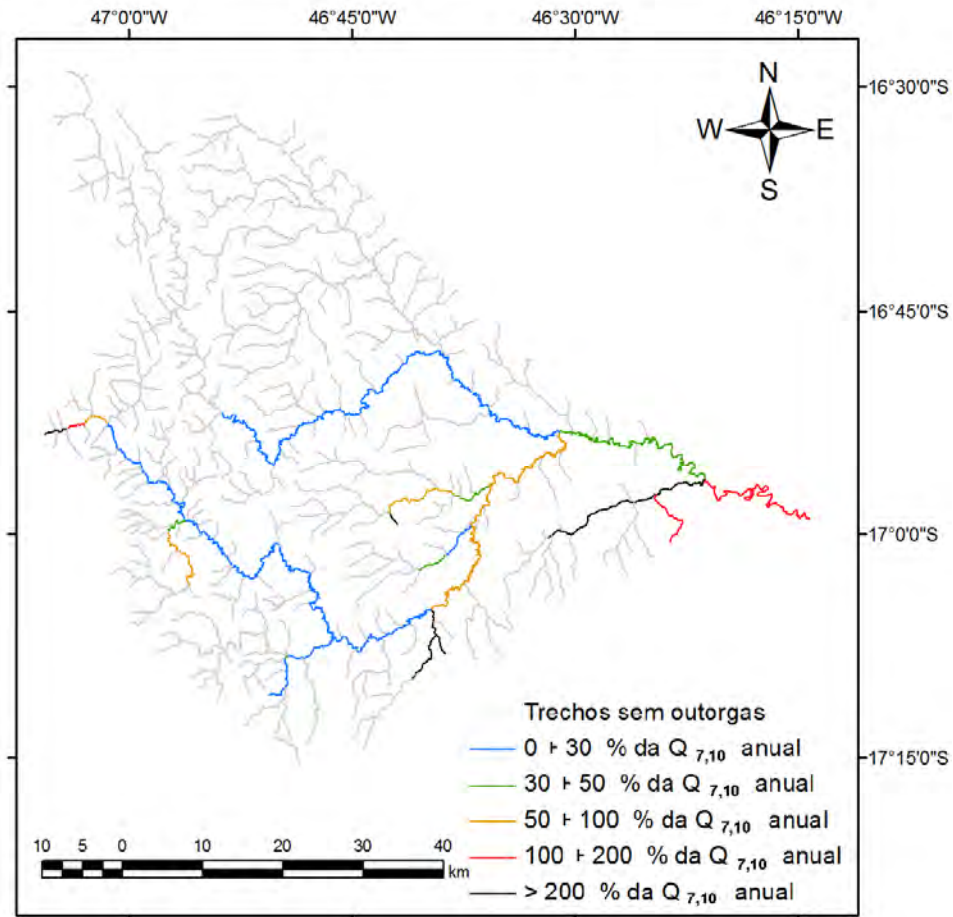
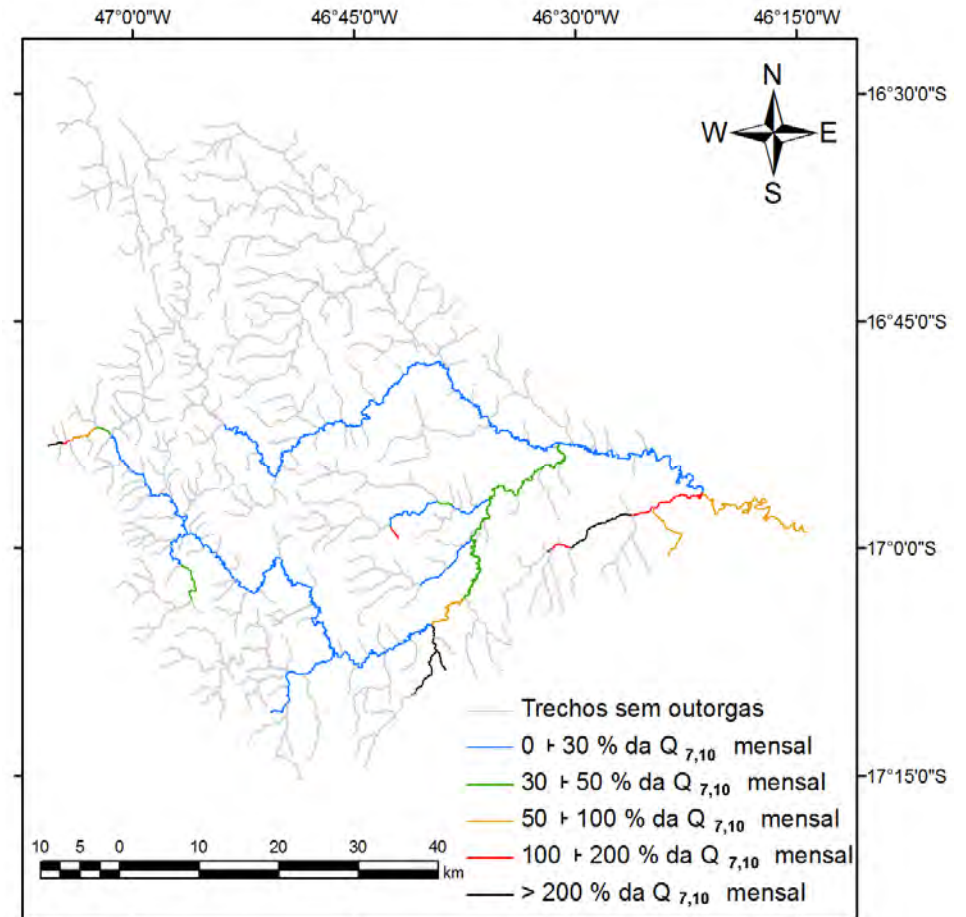


Figura 8E – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de novembro.



(a)



(b)

Figura 9E – Relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante da confluência do trecho considerado com o trecho de jusante e a $Q_{7,10}$ calculada em base anual (a) e mensal (b), para o mês de dezembro.