

**LUIZ HENRIQUE NOBRE BOF**

**ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DE  
RECURSOS HÍDRICOS**

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*.

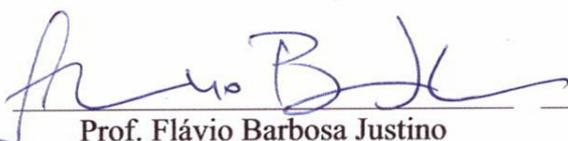
VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2010

**LUIZ HENRIQUE NOBRE BOF**

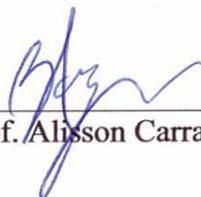
**ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DE  
RECURSOS HÍDRICOS**

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: 5 de julho de 2010.



Prof. Flávio Barbosa Justino



Prof. Alisson Carraro Borges

4



Prof.ª Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco



Dr. José Márcio Alves da Silva  
(Coorientador)



Prof. Fernando Falco Pruski  
(Orientador)

*"A ciência não pode prever o que vai acontecer. Só pode prever a probabilidade de algo acontecer."*

*(César Lattes)*

## **AGRADECIMENTOS**

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

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

À todos os meus familiares, pelo incentivo e pelas orações.

Ao Professor Fernando Falco Pruski, pela amizade, pelos conselhos e pela orientação na realização deste trabalho.

Ao Doutor Luciano Meneses Cardoso da Silva, pela orientação na realização deste trabalho.

Ao Doutor José Marcio Alves da Silva, pela orientação na realização deste trabalho.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos, pelo convívio, amizade e apoio.

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

A todos os demais amigos, professores e funcionários que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

## **BIOGRAFIA**

LUIZ HENRIQUE NOBRE BOF, filho de Antônio Luiz Bof e Maria Benedita Nobre, nascido em Vitória / ES em 18 de setembro de 1983.

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, concluindo-o em 5 de julho de 2010.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Conflitos pelo uso da água.....	3
2.2. Gestão de recursos hídricos.....	4
2.3. Importância da consideração das variações temporais e espaciais das vazões na hidrografia.....	6
2.4. Conflitos pelo uso da água na Bacia do Paracatu.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1. Caracterização da área de estudo.....	9
3.2. Dados utilizados no estudo.....	10
3.3. Comparação entre as vazões máximas permissíveis para outorga considerando os critérios usados pelo IGAM e pela ANA em bases anual e mensal.....	11
3.3.1. Obtenção da $Q_{7,10}$ .....	12
3.3.2. Obtenção da $Q_{95}$ .....	13
3.3.3. Comparação das vazões máximas permissíveis para outorga utilizando diferentes critérios.....	14
3.4. Regionalização de vazões.....	15
3.4.1. Variáveis dependentes.....	15
3.4.2. Variáveis independentes.....	15
3.4.3. Método de regionalização.....	20
3.4.4. Critérios para a seleção do modelo de regionalização.....	20
3.5. Proposta para minimizar o uso da extrapolação das equações de regionalização obtidas.....	22
3.6. Avaliação do impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mensais ao longo da hidrografia.....	23

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
4.1. Comparação entre as vazões máximas permissíveis para outorga considerando os critérios usados pelo IGAM e pela ANA em bases anual e mensal.....	24
4.2. Avaliação do impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mensais ao longo da hidrografia .....	32
4.2.1. Equações de regionalização .....	32
4.2.2. Avaliação do impacto da substituição da $Q_{7,10}$ anual pela $Q_{7,10}$ mensal ao longo da hidrografia .....	33
4.2.3. Avaliação do impacto da substituição da $Q_{95}$ anual pela $Q_{95}$ mensal ao longo da hidrografia .....	44
5. CONCLUSÕES .....	53
6. REFERÊNCIAS.....	54
APÊNDICES .....	58
APÊNCIDE A .....	59
APÊNCIDE B .....	60
APÊNDICE C .....	65

## RESUMO

BOF, Luiz Henrique Nobre. M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, julho de 2010.  
**Análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos.**  
Orientador: Fernando Falco Pruski. Co-orientadores: Luciano Meneses Cardoso da Silva e José Marcio Alves da Silva.

A compatibilização dos critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos entre os órgãos gestores representa um expressivo avanço no processo de compartilhamento do uso da água. Visando dar subsídio aos órgãos gestores de recursos hídricos de forma a otimizar o uso da água, no presente trabalho avaliou-se o impacto do uso de diversos critérios de outorga na bacia do rio Paracatu. Foram avaliados os critérios correspondentes a 30% da  $Q_{7,10}$  anual (utilizado pelo órgão gestor de Minas Gerais), 70% da  $Q_{95}$  anual (utilizado pela órgão gestor da União), 30% da  $Q_{7,10}$  mensal e 70% da  $Q_{95}$  mensal. A utilização dos critérios baseados nas vazões mensais potencializa um melhor plano de utilização da água, à medida que permite um maior uso desse recurso nos períodos em que há maior disponibilidade hídrica e impõe uma restrição mais realista nos períodos críticos. A substituição do uso da  $Q_{7,10}$  anual pela  $Q_{7,10}$  mensal aumentaria expressivamente a vazão permissível para outorga em alguns meses, como, por exemplo, de dezembro a maio. Em relação à utilização do critério de 70% da  $Q_{95}$  anual evidenciou-se que este pode envolver um forte risco de secar o rio nos meses críticos, enquanto que o critério de 70% da  $Q_{95}$  mensal minimiza este risco em alguns meses.

## ABSTRACT

BOF, Luiz Henrique Nobre. M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, July, 2010. **Analysis of criteria for the granting of permits for the use of water.** Adviser: Fernando Falco Pruski. Co-advisers: Luciano Meneses Cardoso da Silva and José Marcio Alves da Silva.

The compatibility of the criteria for the granting of permits for the use of water adopted by the Brazilian Federal and the State Governments is a significant improvement in the process of sharing water resources. Aiming to support the decision makers in the analysis of the granting process, this study evaluated the impact of the use of different criteria for permit in the Paracatu basin. It was evaluated the criterion corresponding to 30% of the annual  $Q_{7,10}$  (used by the Minas Gerais State Government), 70% of the annual  $Q_{95}$  (used by the Brazilian Federal Government), 30% of the monthly  $Q_{7,10}$  and 70% of the monthly  $Q_{95}$ . The use of the criterion based on monthly flows enhances a better water management, since it allows a higher use of it when there is much availability of water, and imposes a higher restriction on critical periods. Replacing the use of the annual  $Q_{7,10}$  by the monthly  $Q_{7,10}$ , the flow allowable for grants increased significantly in some months, for example, from December to May. It was observed that the criterion of 70% of the annual  $Q_{95}$  involves a high risk of drying rivers in the critical months, while the criterion of 70% of the monthly  $Q_{95}$  minimizes such risk.

## 1. INTRODUÇÃO

A adoção de critérios distintos entre os órgãos gestores para a permissão das vazões máximas outorgáveis traz sérios problemas para a gestão dos recursos hídricos em bacias que tem diversos órgãos gestores envolvidos. Quando um rio deságua em outro, submetido a um critério de outorga diferente, há uma incompatibilidade decorrente da própria diferença entre estes critérios, ocorrendo situações em que o limite de vazão permissível para outorga é excedido em virtude dessa diferença.

A busca da adequação e compatibilização dos critérios de outorga máxima permissível pelos órgãos gestores poderá representar uma distribuição mais justa dos recursos hídricos e um expressivo avanço no processo de compartilhamento do uso da água.

Segundo Ibiapina et al. (1999), para o gerenciamento adequado do potencial hídrico disponível no Brasil é fundamental conhecer o comportamento dos rios e seus regimes de variação de vazões, considerando as suas distribuições espaciais e temporais, de forma a auxiliar nas decisões político-administrativas associadas ao uso da água. É essencial, portanto, o desenvolvimento de ações voltadas ao melhor conhecimento da disponibilidade dos recursos hídricos e da melhor forma de utilização destes. Alguns dos conflitos já existentes poderiam ser minorados e, até mesmo, resolvidos a partir de um melhor conhecimento do processo de circulação da água na bacia hidrográfica.

Embora muito se fale a respeito da importância que se tem dedicado a estudos mitigadores de problemas associados à água, na prática, ainda falta nitidamente a consciência da sociedade em geral de que a água é um recurso escasso. Se existisse esta consciência, haveria, certamente, um maior investimento no conhecimento da sua disponibilidade e em formas para a sua melhor utilização.

O uso de vazões para a outorga estimadas considerando todo o período de análise para caracterizar a disponibilidade hídrica restringe o uso da água a um valor

não evidenciado na maior parte do ano em regiões com grande variabilidade sazonal de vazões. Kelman (1997) ressalta o potencial da consideração da sazonalidade do regime hídrico através do uso da curva de permanência para cada mês na gestão de recursos hídricos.

O uso das vazões mínimas mensais como índices de referência para a definição de critérios para a concessão de outorga, em substituição às vazões mínimas calculadas em uma base anual, poderá representar um expressivo aumento da quantidade de água permissível para a outorga, sem que isto venha significar um aumento no risco de ocorrência de vazões excessivamente baixas, e que possam causar um comprometimento ambiental quando do seu uso.

Tendo em vista a necessidade de estudos que subsidiem o processo de outorga, o presente trabalho objetivou avaliar o impacto do uso de diversos critérios para a concessão de outorga nas condições existentes na sub-bacia do rio Paracatu a montante da confluência com o ribeirão Entre Ribeiros.

Os objetivos específicos do presente trabalho foram:

- comparar as vazões máximas permissíveis para outorga considerando os critérios usados pelo IGAM e pela ANA em bases anual e mensal; e
- avaliar, ao longo da hidrografia, o impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mensais, na disponibilidade de água para a concessão de outorga.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Conflitos pelo uso da água**

O conflito é uma divergência natural, decorrente do convívio de pessoas ou de grupos que diferem em atitudes, crenças, valores ou necessidades. Conflitos podem ocorrer por diferenças de personalidade ou rivalidades passadas. Uma das causas de conflito está na tentativa de negociação antes do momento oportuno, ou antes das informações necessárias estarem disponíveis (HOBAN, 2001).

Gleick (2000) salienta que a distribuição e o uso desiguais dos recursos hídricos, podem provocar disputas, aumentar a importância da água como objetivo estratégico, ou causar uma degradação da fonte de água de outro.

Apesar de o Brasil estar em uma situação privilegiada com relação à disponibilidade hídrica, cerca de 70% da água doce do País encontra-se na região Amazônica, enquanto os outros 30% são distribuídos entre 95% da população, que habitam o restante do território nacional (SETTI et al., 2001). Tal situação favorece o surgimento de problemas de escassez hídrica, causados, fundamentalmente, pela combinação de um grande crescimento populacional em centros urbanos e a degradação da qualidade das águas, conseqüente dos desordenados processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola.

Em suas dimensões continentais, encontram-se no Brasil casos distintos de problemas de escassez de água. Estes são gerados pela crescente demanda pelo recurso, entretanto, é nas regiões Nordeste e Sudeste onde estes problemas ocorrem de forma mais intensa. Muitos dos casos dos conflitos em torno da água estão relacionados ao setor agrícola, responsável pelo consumo de expressiva parcela do total da água usada pelo homem (GETIRANA, 2005).

Embora seja notório que venham sendo buscadas experiências relativas à busca de alternativas para a melhor gestão e utilização dos recursos hídricos, em muitas regiões do Estado de Minas Gerais tem se agravado e tornado ainda mais evidente, o quadro de deficiência ou, até mesmo, insuficiência da disponibilidade de recursos hídricos, tanto sob o ponto de vista quantitativo como qualitativo.

O aumento da demanda pela produção de alimentos e de bicombustíveis tem um forte impacto na disponibilidade de água, sobretudo nos aspectos quantitativos, enquanto o crescimento industrial e a demanda de minérios trazem um impacto mais relevante nos aspectos qualitativos. Tais processos, em uma abordagem inicial, seriam adversos, podendo constituir, entretanto, principalmente no caso do Brasil, em um grande impulso para o desenvolvimento do setor do agronegócio. Para isto, é necessário o investimento no desenvolvimento de ações que permitam uma análise mais criteriosa da disponibilidade e do uso da água.

## **2.2. Gestão de recursos hídricos**

Em 1934, foi publicado o Decreto Lei Nº. 24.643 (10/07/1934), conhecido como *Código de Águas* e, a partir de então, o Governo Federal do Brasil tem legislado sobre o uso da água. O artigo 43 deste decreto define *serem passíveis de outorga as águas públicas* (BRASIL, 1934).

Essa legislação passou por alguns ajustes em 1988, conforme o Inciso XIX, do Artigo 21 da Constituição Federal, que determina a competência da União de instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso (BRASIL, 1988).

Em 8 de janeiro de 1997, foi aprovada e sancionada a Lei No. 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

A Política Nacional de Recursos Hídricos apresenta mudanças quanto à gestão de um bem público (a água, no caso), das quais se destaca a descentralização da gestão, que deixa de estar ligada exclusivamente ao poder público para uma responsabilidade mista, compartilhada entre representantes de instituições privadas na nova jurisdição política constituída pelos comitês de bacia hidrográfica (GETIRANA, 2005).

No entanto, a simples existência de um comitê não implica solução às situações de conflito nem assegura que haja melhor equidade na utilização de bens públicos. Para que ocorra a anulação de situações de conflito e haja a garantia da gestão compartilhada do bem comum, torna-se indispensável o desenvolvimento de mecanismos permanentes de participação e negociação no âmbito dos comitês entre setores usuários. Aliadas a estas estruturas institucionais, pesquisas e técnicas computacionais de suporte à decisão são de grande importância e devem ser aplicadas a tais problemas de forma que facilitem a obtenção de soluções de consenso de todos os envolvidos (GETIRANA, 2005).

Quando um sistema de gerenciamento não é mais adequado para atender as necessidades das populações – por exemplo, devido a mudanças no uso da terra, aumento da população, ou variabilidade climática –, torna-se necessário o planejamento de um novo ou revisado sistema, que seja adaptado às novas condições. O processo de planejamento conduz a uma decisão para um novo sistema, que seja capaz de direcionar a gestão de forma otimizada (PLATE, 2002).

Para que sejam desenvolvidas estratégias de gestão dos recursos hídricos, o uso de sistemas de suporte à tomada de decisão, que forneçam informações de disponibilidade hídrica da forma mais detalhada possível é indispensável. Para a elaboração de um sistema de suporte ao gerenciamento das águas superficiais é necessário definir quais serão os índices ou critérios a serem utilizados como referência para a concessão de direito de uso da água.

Na formulação de um sistema de outorga adequado à gestão dos recursos hídricos conforme a legislação vigente, é necessária a definição das vazões de referência para a concessão de outorga, de forma a auxiliar nas tomadas de decisão, devendo essas vazões estarem associadas ao risco de sua ocorrência. De uma forma geral, são adotadas as vazões cujas frequências de excedência são de 90% ( $Q_{90}$ ) ou 95% ( $Q_{95}$ ) e a vazão mínima com sete dias de duração associada a um período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ). Um percentual da vazão adotada é passível de outorga, sendo o restante a vazão a ser mantida no rio para a manutenção do ecossistema (SOUZA FILHO e CAMPOS, 1996).

Quando são utilizados pequenos valores de vazão como referência, se obtêm maiores garantias de que não haverá falhas de atendimento às demandas, porém na maior parte do tempo, uma vazão considerável não será utilizada, o que desperta em

muitos usuários reivindicações no sentido de ampliar as vazões outorgadas (PEREIRA, 1996).

A bacia hidrográfica é considerada a unidade de planejamento de recursos hídricos, mas cada Estado e a União utilizam, nos rios de sua dominialidade, critérios de outorga específicos, e às vezes, até mais de um critério.

Bof et.al (2009) compararam as vazões máximas de outorga permissíveis pela União (70% da  $Q_{95}$ ) e pelo Estado de Minas Gerais (30% da  $Q_{7,10}$ ) em estudo de caso realizado para a bacia do Paraopeba, situada no estado de Minas Gerais, e, nesse caso, constataram que o uso do critério baseado na utilização de 70% da  $Q_{95}$ , é, em geral bem superior ao dobro da vazão permissível para outorga em Minas Gerais, uma vez que a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos é, normalmente, bem inferior à vazão associada a uma permanência de 95%.

Tal contraste pode ser mais acentuado quando se considera os valores permitidos para outorga em outros estados. Tocantins, Bahia e Pernambuco, por exemplo, apresentam vazões permissíveis para outorga ainda bem maiores que a vazão permitida pela União.

Estudos que venham comparar os critérios de outorga e apresentar alternativas de otimização do uso da água, considerando inclusive as variações sazonais, podem servir de subsídio para os órgãos gestores, pois é de interesse dos Estados e da União que a água seja utilizada de uma forma justa e racional, minimizando os riscos ambientais decorrentes do uso da água e aumentando os benefícios econômicos e sociais associados a esse uso.

### **2.3. Importância da consideração das variações temporais e espaciais das vazões na hidrografia**

Em muitos locais o regime de chuvas faz com que a disponibilidade hídrica varie expressivamente durante o ano. No caso da bacia do Paraopeba, Bof et al. (2009) observaram que as vazões mínimas no período de dezembro a abril são expressivamente maiores do que as que ocorrem no período de maio a novembro. Entre os meses de novembro e dezembro há um acréscimo expressivo nas vazões mínimas, que decorre do início do período chuvoso, momento em que o solo ainda se encontra muito seco, devido ao longo período de estiagem, e as chuvas ocorridas em novembro ocasionam o aumento da umidade do solo nas camadas mais superficiais, não impactando

diretamente o nível da água do lençol freático e, conseqüentemente, não promovendo grandes mudanças nas vazões mínimas. Portanto, existe uma defasagem entre o início do período de chuvas e o início do aumento da contribuição advinda do escoamento subterrâneo.

Cruz (2001), ao avaliar as disponibilidades hídricas para outorga definidas por curvas de permanência que consideram a sazonalidade das vazões na bacia do rio Guaíba, no Rio Grande do Sul, verificou que foram expressivas as diferenças de vazões outorgáveis entre os diversos meses. Deste modo, a autora 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, bem como ter a possibilidade de projetar o armazenamento da água excedente dos meses mais úmidos para a utilização em meses mais secos.

Tian e Silvaplan (prelo) analisaram a variabilidade hidrológica intra-anual na bacia de Blue River (Oklahoma) e constataram que no período úmido (outubro a abril), as vazões são consideravelmente maiores do que aquelas observadas no período seco (maio a setembro). Segundo Tomer e Schilling (2009), dependendo da região de estudo, aumento ou decréscimo do regime de vazões é influenciado pelas variabilidades climáticas, principalmente pelas variações intra-anuais do clima. Raymond et al. (2008) entretanto, salientam que apesar das mudanças no clima terem forte efeito no regime de variação das vazões, o uso do solo e a forma de gerenciamento dos recursos hídricos para as condições correspondentes ao rio Mississippi, foram os fatores mais determinantes.

Para subsidiar o processo de outorgas é fundamental o conhecimento das disponibilidades hídricas ao longo da hidrografia, mas este, quando disponível, fica restrito aos locais onde estão localizadas as estações fluviométricas.

Geralmente não existem medições de vazão em partes dos rios em que a estimativa das vazões mínimas são requeridas. Para contornar este problema, a análise de regionalização tem sido frequentemente empregada (ESLAMIAN e BIABANAK, 2008).

A regionalização de vazões é uma técnica utilizada para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados, sendo considerada uma ferramenta de suma importância no gerenciamento dos recursos hídricos. Fill (1987) define regionalização hidrológica como um processo de transferência de informações de um local para outro. Essa transferência pode abranger séries de vazões ou precipitações ou de determinados parâmetros estatísticos relevantes,

tais como: média, variância, máximos e mínimos ou equações e parâmetros relacionados com estas estatísticas.

Estudos de regionalização da disponibilidade natural (mínima), potencial (média) e das curvas de regularização de vazões mostram a disponibilidade efetiva de água não somente para condições a fio d'água, e representadas pela vazão mínima, mas, também, para as condições potenciais, representadas pela vazão média.

#### **2.4. Conflitos pelo uso da água na Bacia do Paracatu**

O complexo quadro de conflitos pelo uso da água evidenciado na bacia do São Francisco aponta para a necessidade de subsidiar o sistema de gerenciamento integrado dos recursos hídricos visando a otimização do seu uso, de modo a permitir o desenvolvimento sustentável de regiões como a bacia do Paracatu (RODRIGUEZ, 2004).

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 km<sup>2</sup>, apresenta a maior proporção de contribuição (20,8%) para a formação da vazão do rio São Francisco (PRUSKI et al., 2007).

O consumo da água na bacia do Paracatu se dá principalmente pela irrigação, sendo as outras retiradas pouco expressivas quando comparadas a este consumo. O sistema de irrigação predominante na bacia é o pivô central (88%) seguido da aspersão convencional (7%) e da inundação (4%), e em 42% da área irrigada por pivô central já ocorriam limitações para o uso da água (RODRIGUEZ, 2004).

Com o desenvolvimento econômico observado na bacia do Paracatu é esperado o aumento dos índices de crescimento populacional e das demandas associadas. O crescimento econômico traz consigo o aumento da renda “per capita” que termina por se traduzir em maiores demandas de alimentos e infraestrutura, resultando em maior pressão sobre os recursos hídricos da região, tanto como insumo quanto como corpo receptor de efluentes (RODRIGUEZ, 2004).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Caracterização da área de estudo**

A região do presente estudo é a bacia do rio Paracatu a montante da confluência com o ribeirão Entre Ribeiros, sendo as principais sub-bacias, a sub-bacia do rio Prata, com área de drenagem 3.962 km<sup>2</sup>, e a sub-bacia do rio Escuro com 4.335 km<sup>2</sup>, cujos rios são afluentes diretos do Paracatu. Em sua totalidade, a bacia possui 14.483 km<sup>2</sup>, representando, aproximadamente, um terço da área total da bacia do rio Paracatu (ANA, 2009).

O clima da bacia do Paracatu é predominantemente tropical chuvoso, havendo concentração das chuvas no período de outubro a abril, com destaque para o trimestre novembro, dezembro e janeiro. O clima é quente e úmido, com temperaturas médias anuais que oscilam entre 22 e 24 °C, variando pouco de uma estação para outra, e sofrendo maior influência da orografia do que da variação latitudinal (MOREIRA, 2006).

Na Figura 1 é mostrado o destaque da bacia estudada em relação à bacia do rio São Francisco, de forma a representar a localização da região de análise.

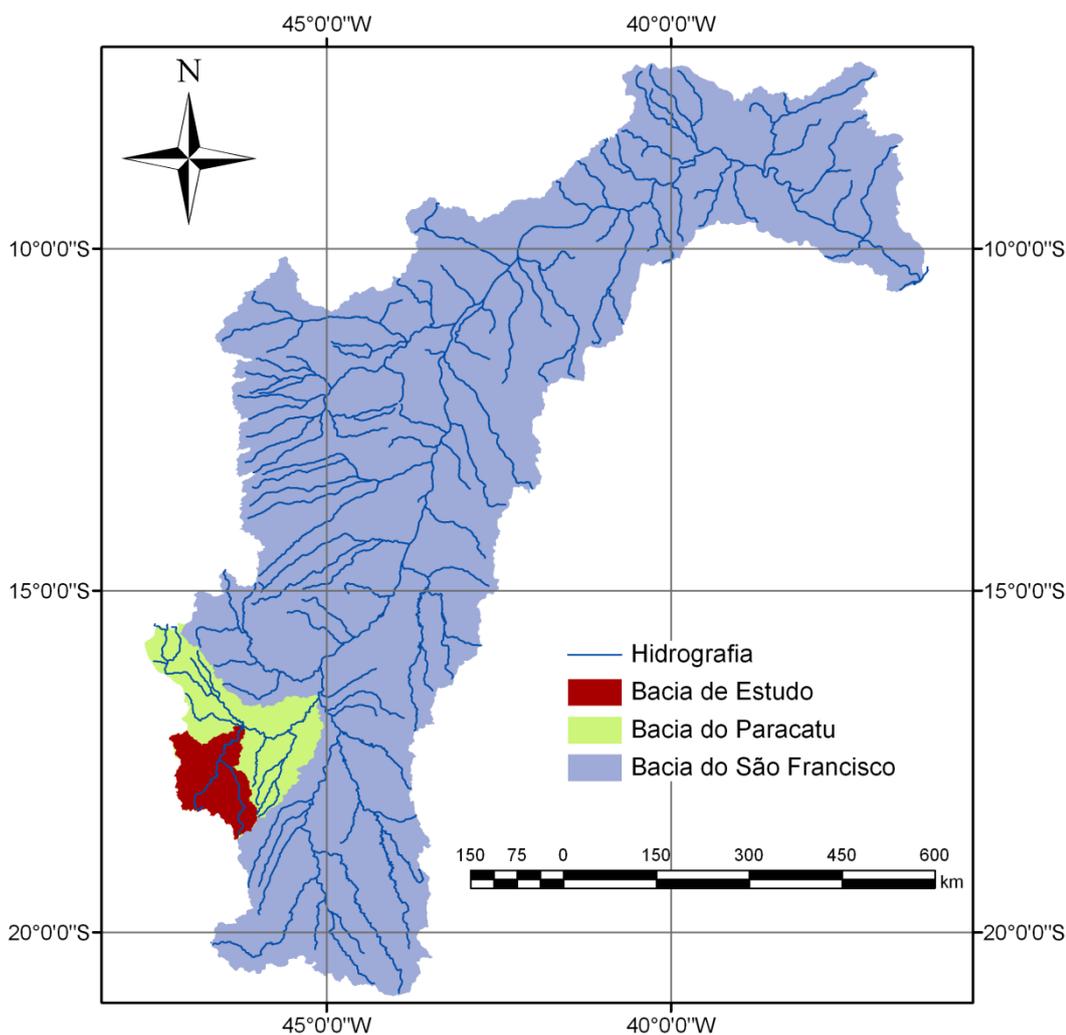


Figura 1 – Localização da bacia estudada.

### 3.2. Dados utilizados no estudo

No estudo foram utilizados dados consistidos de seis estações fluviométricas e de 25 estações pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA).

As estações fluviométricas utilizadas estão caracterizadas na Tabela 1 e representadas na Figura 2.

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Curso d'água
42250000	Fazenda Limoeiro	-17.914	-47.011	470	Rio Claro
42251000	Fazenda Córrego do Ouro	-17.611	-46.859	1840	Rio Escuro
42255000	Fazenda Nolasco	-17.229	-47.022	257	Ribeirão Santa Isabel
42257000	Barra do Escurinho	-17.514	-47.022	2013	Ribeirão Escurinho
42290000	Ponte da BR 40 - Paracatu	-17.500	-46.574	7720	Rio Paracatu
42395000	Santa Rosa	-17.255	-46.472	12880	Rio Paracatu

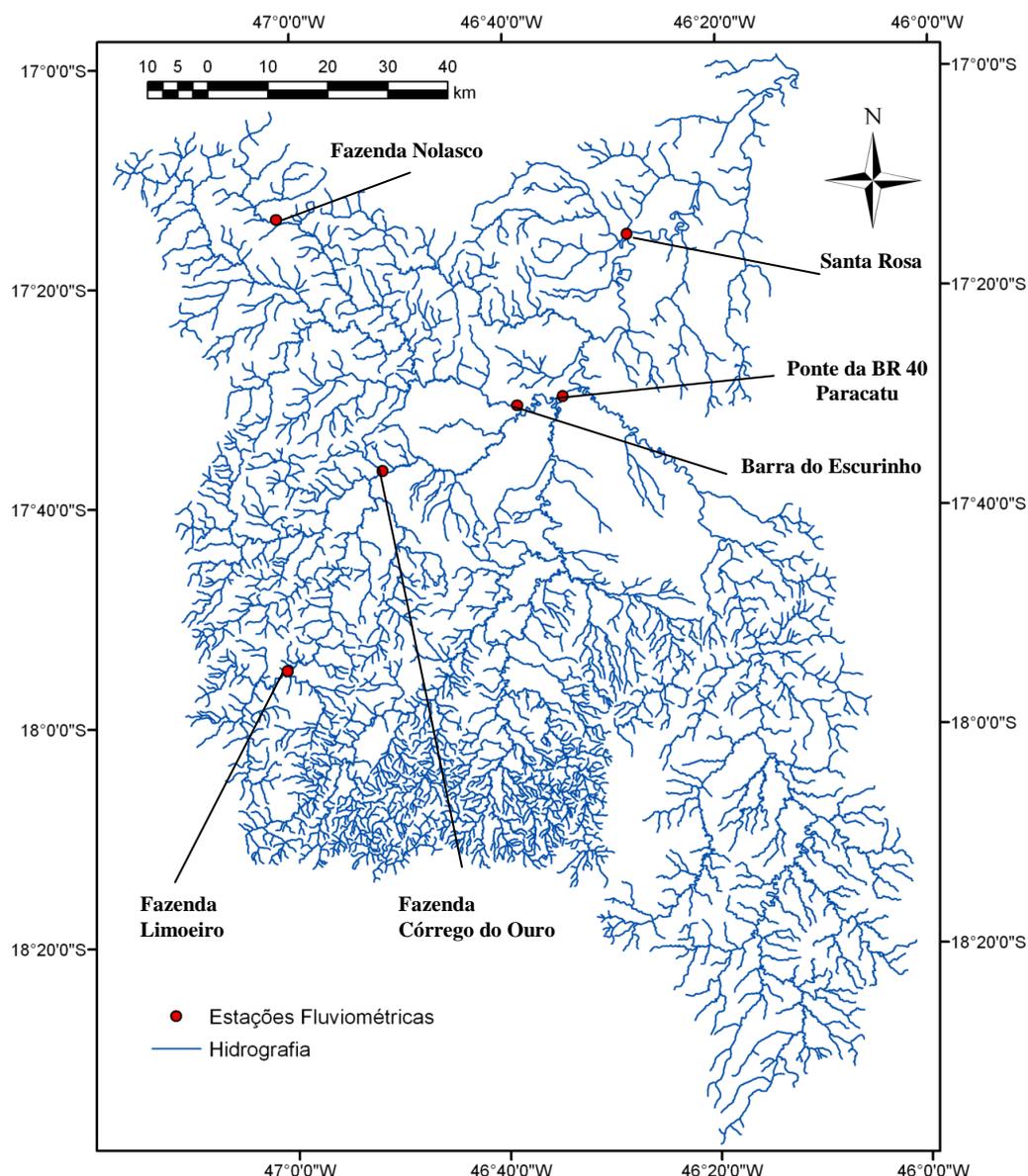


Figura 2 – Localização das estações fluviométricas analisadas no estudo.

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

Os critérios de outorga comumente utilizados pela ANA e pelo IGAM, são 70% da  $Q_{95}$  e 30% da  $Q_{7,10}$  respectivamente, sendo ambas estimadas em base anual. No entanto, a ANA utiliza, além de 70% da  $Q_{95}$ , outros critérios de outorga, principalmente onde há reservatórios. Logo, todas as análises foram baseadas na consideração dessas duas variáveis.

Para a obtenção das vazões mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) e das vazões associadas a 95% de permanência no tempo ( $Q_{95}$ ) em

seções da hidrografia onde são operadas as estações fluviométricas, foi utilizado o programa SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUSA, 2009), o qual foi desenvolvido pela rede de pesquisa 2 do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), composta pelas seguintes instituições: Universidade Federal de Viçosa (instituição coordenadora), Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Espírito Santo, Escola de Engenharia de São Carlos e Instituto de Pesquisas Tecnológicas; e supervisionada pela ANA.

O SisCAH 1.0 possui uma série de módulos computacionais que permitem realizar diversas análises do comportamento hidrológico em seções específicas da hidrografia. Para tanto, o SisCAH 1.0 utiliza séries históricas de medição de vazões, as quais são fornecidas por estações fluviométricas, sendo esses documentos de registro de vazões coletadas diariamente, fornecidos gratuitamente pela Agência Nacional de Águas no Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb). O SisCAH 1.0 possui uma ferramenta de importação direta das séries históricas de vazão, desde que exista uma conexão com a internet que permita o acesso ao servidor da ANA.

O SisCAH 1.0 possibilitou realizar a análise de disponibilidade de dados em cada ano de todas as séries históricas de vazão utilizadas neste estudo, fornecendo assim subsídios para a definição de um período comum de análise em todas as séries, processo que é fundamental para a estimativa das variáveis hidrológicas analisadas neste estudo. Tal período comum para análise é denominado período base, que é definido pelo diagrama de disponibilidade de dados que é apresentado no apêndice A.

Após a análise do diagrama de disponibilidade de dados, definiu-se o período base 1974 a 2004. Sendo assim, processaram-se as séries de dados, descartando-se os anos anteriores e posteriores ao período base, obtendo as variáveis hidrológicas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  pela análise estatística dos dados de vazão do período base.

### **3.3.1. Obtenção da $Q_{7,10}$**

Para estimar a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) foram utilizadas as distribuições de densidade de probabilidade Logpearson 3, Pearson 3, Normal, Lognormal 2 e Weibull.

Para tais distribuições, a estimativa da magnitude de um evento com determinado período de retorno é dada pela equação

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

em que:  $M$  = magnitude do evento para o período de retorno estabelecido;  $\mu$  = média dos eventos;  $K$  = fator de frequência; e  $\sigma$  = desvio padrão dos eventos.

Para cada tipo de distribuição de densidade de probabilidade o fator de frequência foi calculado conforme Kite (1988).

Utilizando as distribuições de probabilidade foram estimadas as  $Q_{7,10}$  em cada série histórica. Para isso, os eventos utilizados da série histórica de vazão foram as menores médias de sete dias consecutivos ( $Q_7$ ) observadas em cada ano. Adotando-se um período de retorno de 10 anos, foi possível estimar, utilizando os eventos de  $Q_7$  de cada ano, a variável de interesse  $Q_{7,10}$ .

No caso da estimativa das  $Q_{7,10}$  mensais, os eventos de  $Q_7$  utilizados foram obtidos por uma restrição do conjunto de dados apenas ao mês de análise, ou seja, geraram-se séries anuais de eventos de  $Q_7$  observados especificamente em cada mês, e com estes eventos aplicou-se a análise das distribuições de densidade de probabilidade, obtendo-se uma  $Q_{7,10}$  para cada mês.

Como foram aplicados cinco tipos de distribuições de densidade de probabilidade, utilizou-se nas análises subsequentes a estimativa que apresentou uma menor amplitude do intervalo de confiança dentre as seis estimativas obtidas pelas distribuições.

Esse procedimento foi realizado no SisCAH 1.0, que indica automaticamente a distribuição de probabilidade que apresenta o melhor ajuste estatístico associado ao período de retorno utilizado.

### **3.3.2. Obtenção da $Q_{95}$**

A curva de permanência descreve a relação entre a vazão de um curso d'água e a frequência de ocorrência vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada apresentado na curva (PRUSKI et al., 2006).

O procedimento utilizado para a obtenção da curva de permanência para cada estação fluviométrica é baseado na análise de frequência associada a cada dado de vazão e segue os seguintes passos:

- organização da série de dados de vazões em ordem decrescente;

- determinação da frequência acumulada ( $f_i$ ) associada a cada valor de vazão pela equação 2;

$$f_i = \frac{N_{qi}}{NT} 100 \quad (2)$$

em que:  $N_{qi}$  = número de ordem da vazão; e  $NT$  = número total de vazões.

- obtenção da curva de permanência plotando-se na ordenada os valores de vazão e na abscissa a frequência acumulada de ocorrência.

Na determinação das curvas de permanência mensais, procedeu-se da mesma forma que foi realizado na estimativa anual, porém restringindo o conjunto de dados ao mês em que se obteve a variável  $Q_{95}$ , realizando-se este procedimento para todos os meses.

Utilizando o SisCAH 1.0, obteve-se as  $Q_{95}$  anual e mensais para cada série histórica analisada, conforme a metodologia descrita.

### **3.3.3. Comparação das vazões máximas permissíveis para outorga utilizando diferentes critérios**

Para cada estação fluviométrica utilizada no estudo foram comparados os valores de  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  mensais e anuais, juntamente com os critérios 30% da  $Q_{7,10}$  e 70% da  $Q_{95}$ , também em bases mensal e anual. Procedeu-se a análise do comportamento sazonal das estimativas e a magnitude da vazão outorgável conforme o mês, comparando com as vazões anuais.

Observou-se, também, a amplitude de variação da diferença relativa entre as vazões mensais e anual para cada uma das seis estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Em todas as estações verificou-se a diferença relativa entre os critérios do IGAM e da ANA em base anual e mensal, tendo essa diferença sido calculada com base no volume de água máximo permissível para a outorga, utilizando a equação

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

em que:  $DVc_{\%}$  = diferença relativa entre o critério da ANA e do IGAM, %; e  $V$  = volume máximo de água permissível para a outorga,  $m^3 \text{ ano}^{-1}$ .

Para calcular o volume máximo de água permissível para a outorga, multiplicou-se o valor da vazão de outorga pelo número de segundos em um ano, obtendo o volume de água que escoar durante um ano, com base na vazão permissível para a outorga. No caso da utilização do critério de outorga mensal, multiplicou-se a média das vazões mensais de outorga pelo número de segundos em um ano, para o cálculo do volume.

Também foi analisada em cada estação fluviométrica a diferença de volume máximo permissível para a outorga quando da mudança da base anual para a base mensal, tanto para o critério usado pelo IGAM como pela ANA. Neste caso, a diferença relativa de volume máximo permissível para a outorga pode ser expressa pela equação

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

em que  $DVb_{\%}$  é a diferença relativa entre o critério mensal e o critério anual, %.

### **3.4. Regionalização de vazões**

#### **3.4.1. Variáveis dependentes**

As variáveis dependentes utilizadas para a regionalização de vazões na bacia em estudo foram as vazões mínimas obtidas nas estações fluviométricas. Foram contempladas as vazões correspondentes à vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, vazão de referência utilizada pelo Estado de Minas Gerais e a vazão mínima associada à permanência de 95%, vazão de referência utilizada pela União.

#### **3.4.2. Variáveis independentes**

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

A característica física da bacia utilizada no estudo foi representada pela área de drenagem.

A variação da precipitação nas bacias hidrográficas reflete diretamente no comportamento das vazões específicas. Assim sendo, considerou-se que a inclusão da precipitação como variável explicativa das vazões pode representar uma expressiva melhoria do modelo de regionalização. Desta forma, a variável climática utilizada no estudo de regionalização foi a precipitação média anual.

Embora a precipitação média anual seja uma variável explicativa do processo de formação das vazões mínimas, considera-se que esta não reflita efetivamente a contribuição para a formação destas vazões. Deste modo, Novaes (2005) propôs o conceito de inércia hídrica, que corresponde à precipitação mínima necessária para garantir a recarga do aquífero freático. Portanto, 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 ao longo da zona de aeração, que, por sua vez, é dependente das características do solo, da cobertura vegetal e da demanda evapotranspirométrica.

Para a bacia do Paracatu, Novaes (2005) estimou que, para precipitações médias anuais inferiores a 750 mm, a vazão deve se tornar nula no início do período de recessão. Desta forma, a utilização da variável que representa a inércia hídrica pode contribuir para o aperfeiçoamento dos modelos de regionalização de vazões. Para tanto, foi utilizado o valor de 750 mm.

Para a consideração da inércia hídrica é subtraído um valor correspondente a 750 em cada pixel do mapa referente à precipitação média anual, sendo atribuído o valor zero quando a inércia foi maior que a precipitação. Uma vez obtidos os valores em cada pixel, calcula-se o valor médio nas áreas de drenagem das estações fluviométricas estudadas.

Utiliza-se, em vez da área de drenagem e da precipitação, uma única variável, representada pela equação

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

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

O uso de uma única variável além de permitir uma representação bidimensional da relação entre as variáveis dependentes e independentes, também permite o ganho de um grau de liberdade na análise estatística.

Assim como para a precipitação, para a consideração da precipitação menos a inércia hídrica de 750 mm, também utiliza-se uma única variável representada pela equação

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

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

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 ( $P_{eq750}$ ).

A área de drenagem a montante de cada seção da hidrografia foi obtida utilizando o Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) (Figura 3), gerado a partir de cartas planialtimétricas do IBGE e de hidrografia mapeada na escala 1:100.000.

As cartas de hidrografia e planialtimétricas utilizadas foram as de código 2302, 2340, 2341, 2342, 2378, 2379, 2380, 2416, 2417, 2418 e 2455, cobrindo toda a extensão da bacia hidrográfica em estudo.

Para a geração do MDEHC foram utilizadas sequências lógicas de comandos computacionais em arquivos com banco de dados vetoriais e matriciais. Estes comandos estão disponíveis no Software ArcGIS 9.2, no qual foi possível elaborar modelos de sequência de comandos utilizando o módulo “Model Builder”, e desta forma obter o MDEHC que permitiu a extração de informações espaciais pertinentes às áreas de drenagem a montante das seções da malha hidrográfica com uma resolução cujo tamanho dos “pixels” é 30 metros.

As variáveis explicativas associadas à precipitação foram obtidas de séries históricas de precipitação das estações listadas na Tabela 2 e representadas na Figura 4, e do cruzamento do mapa de precipitação (Figura 5) obtido por interpolação pelo método do inverso da distância ao quadrado, com as informações mapeadas de área de drenagem.

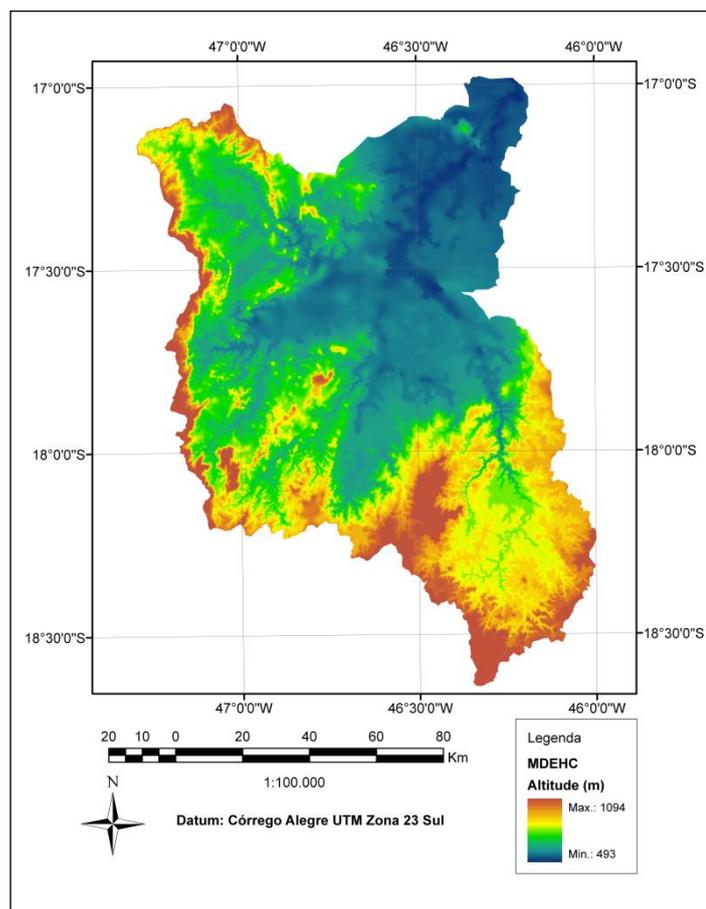


Figura 3 – Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado da bacia hidrográfica em estudo.

Tabela 2 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Precipitação média anual (mm)
1646003	Santo Antonio do Boqueirão	-16,530	-46,721	1298,265
1647002	Cristalina	-16,756	-47,606	1511,089
1745000	Caatinga	-17,147	-45,885	1207,139
1745014	Fazenda Santana	-17,825	-45,479	1258,745
1746001	Porto da Extrema	-17,025	-46,013	1206,052
1746002	Santa Rosa	-17,255	-46,475	1318,639
1746006	Ponte da BR 040 - Prata	-17,660	-46,363	1218,561
1746007	Ponte da BR 040 - Paracatu	-17,498	-46,581	1321,400
1746017	Fazenda Poções	-17,044	-46,822	1366,879
1746018	Fazenda Limoeiro	-17,916	-47,016	1329,548
1747000	Ponte São Marcos	-17,000	-47,200	1414,873
1747005	Guarda - Mor	-17,771	-47,101	1535,626
1845013	São Gonçalo do Abaeté	-18,344	-45,837	1439,510
1845021	Canoeiros	-18,038	-45,524	1122,363
1846003	Major Porto	-18,707	-46,037	1364,984
1846005	Presidente Olegário	-18,413	-46,422	1530,810
1846006	Pantano	-18,559	-46,800	1636,054
1846007	Santana de Patos	-18,841	-46,551	1466,135
1846015	Vazante	-17,990	-46,911	1421,833
1846016	Ponte Firme	-18,036	-46,418	1467,455
1846017	Leal de Patos	-18,641	-46,334	1379,077
1846019	Rocinha	-18,374	-46,915	1474,063
1846023	Lagamar	-18,183	-46,804	1452,300
1847003	Abadia dos Dourados	-18,491	-47,406	1324,700
1847040	Fazenda São Domingos	-18,103	-47,695	1477,238

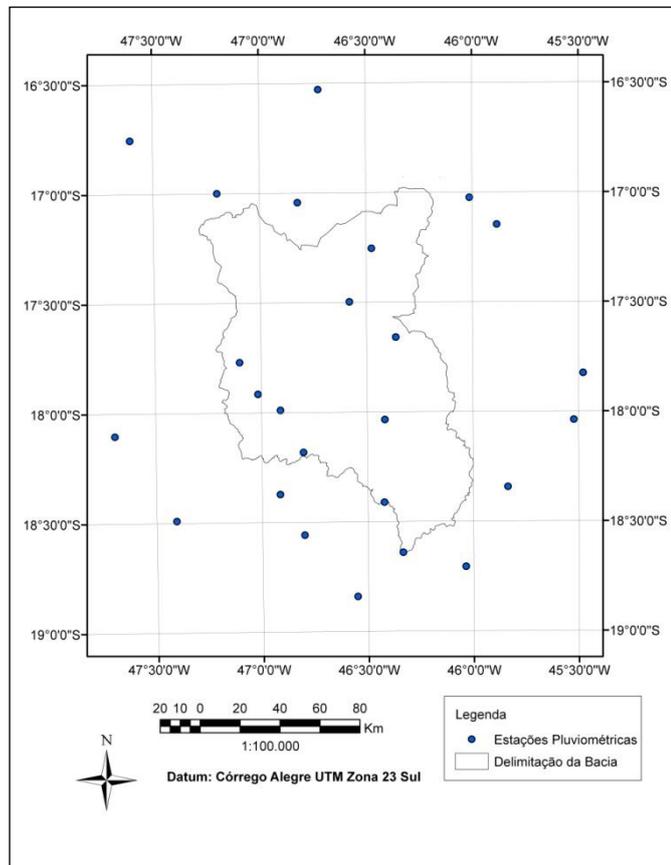


Figura 4 – Localização das estações pluviométricas analisadas no estudo.

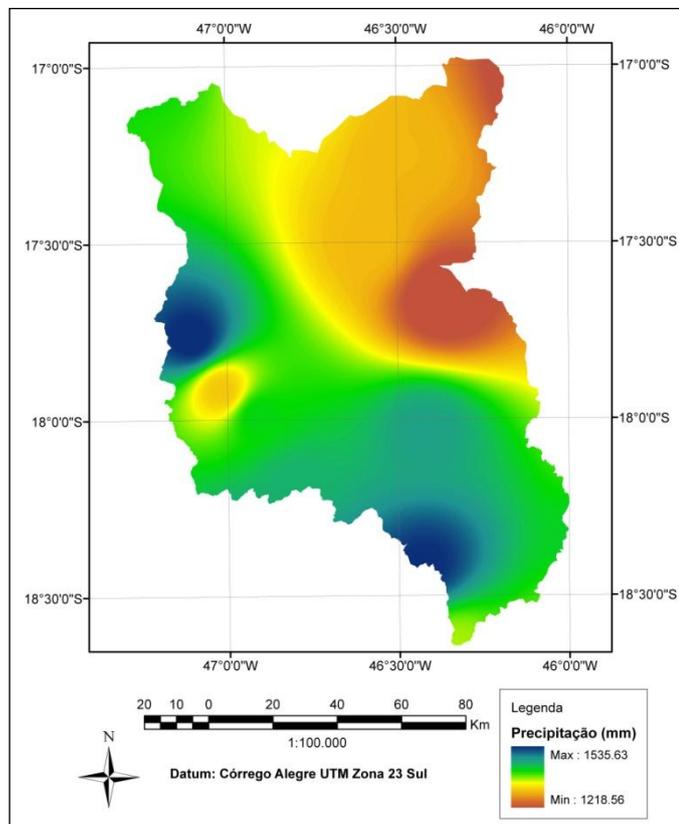


Figura 5 – Distribuição espacial da precipitação na bacia hidrográfica em estudo.

### 3.4.3. Método de regionalização

No desenvolvimento do presente estudo foi utilizada a metodologia de regionalização de vazões denominada como método tradicional.

O procedimento normalmente empregado na utilização deste método envolve a definição prévia das regiões hidrologicamente homogêneas e, em um segundo momento, na obtenção das equações que permitem associar a vazão com variáveis topológicas e climáticas.

A análise de regressão permite estabelecer como as variações em uma ou mais variáveis independentes afetam a variação da variável dependente, sendo que os seguintes modelos de regressão foram utilizados: linear e potencial (equações 7 e 8 respectivamente).

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

$$Q_{pot} = c X^d \quad (8)$$

em que:  $Q_{lin}$  = vazão estimada pelo modelo linear,  $m^3 s^{-1}$ ;  $Q_{pot}$  = vazão estimada pelo modelo potencial,  $m^3 s^{-1}$ ;  $a$  e  $b$  = parâmetros de ajuste do modelo linear, adimensional;  $c$  e  $d$  = parâmetros de ajuste do modelo potencial, adimensional; e  $X$  = variável explicativa do modelo de regressão.

Para a aplicação do método tradicional foi utilizado o software Sistema Computacional para a Regionalização de Vazões (SisCoRV 1.0), desenvolvido também pela rede de pesquisa 2 do SNIRH (SOUSA, 2009).

### 3.4.4. Critérios para a seleção do modelo de regionalização

Antes da obtenção das equações de regionalização utilizando o Método Tradicional foi necessário selecionar as equações que conduzem à condição mais representativa das vazões da bacia. Para tal, 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, que é calculado pela equação

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

em que: ER = erro relativo, %;  $Q_{obs}$  = vazão observada na estação fluviométrica,  $m^3 s^{-1}$ ; e  $Q_{reg}$  = vazão estimada pelo modelo de regionalização,  $m^3 s^{-1}$ .

Somente a análise estatística dos modelos de regionalização não é suficiente para se estimar as vazões ao longo da hidrografia. O uso de procedimentos que auxiliem na compreensão do comportamento físico de um processo é importante para extrair maiores informações dos dados disponíveis (LI et al., 2009).

Visando a análise do comportamento físico das vazões obtidas pelos modelos de regionalização aplicados, foram estabelecidos pontos de controle ou unidades de controle ao longo da hidrografia para permitir a comparação entre os modelos, não somente pela análise estatística, mas também pela grandeza física da vazão nesses locais. Na Figura 6 são mostrados os pontos de controle que foram distribuídos de forma a possibilitar uma análise geral do comportamento das vazões estimadas pelos modelos de regionalização.

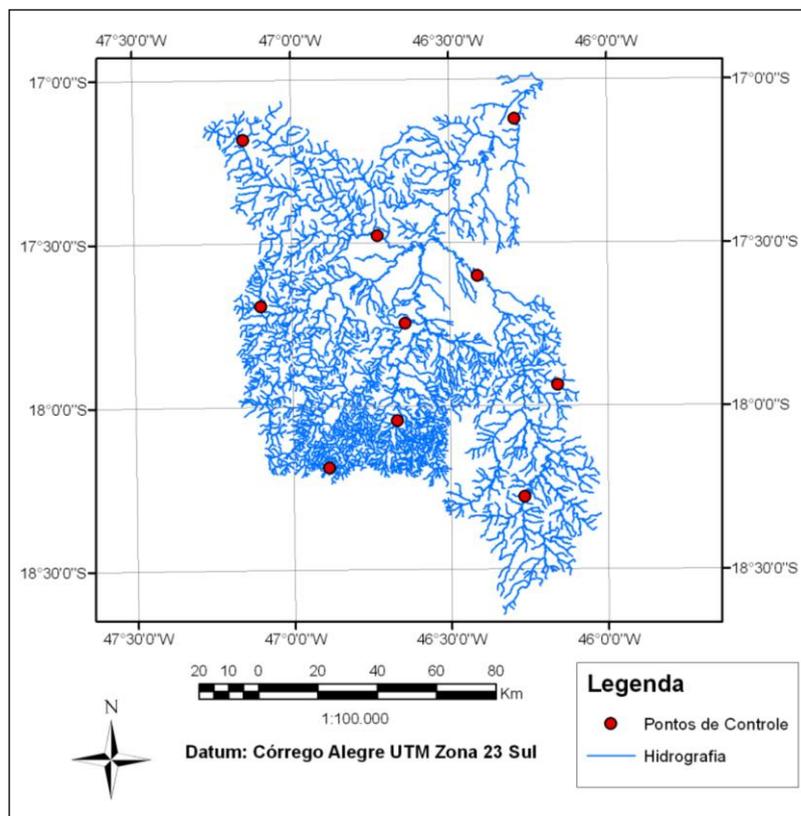


Figura 6 – Pontos de controle para análise das vazões estimadas.

Nas seções correspondentes às unidades de controle ou pontos de controle, plotou-se a magnitude das vazões estimadas pelos modelos linear e potencial e considerando as variáveis área de drenagem, precipitação equivalente e precipitação equivalente menos inércia hídrica de 750 mm. Foram analisados aspectos de comparação das vazões estimadas, buscando-se descartar modelos que gerassem valores negativos de vazão, ou que pudessem superestimar as vazões em posições de menor área de drenagem da bacia.

As análises destes elementos mostraram qual o modelo permitiu a obtenção de equações de regionalização que melhor descrevem as estimativas das vazões ao longo da hidrografia.

### **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, ou seja, o comportamento hidrológico de pequenas bacias pode ser muito diferente de bacias maiores.

O autor ressalta que a falta generalizada de dados hidrológicos para pequenas bacias no Brasil não pode ser suprida pela regionalização. Existe, entretanto, 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.

Visando a análise do comportamento físico das vazões obtidas pelos modelos de regionalização aplicados, Rodriguez (2004) utilizou a vazão específica como indicador, procedendo à análise desta ao longo de toda a hidrografia a fim de impor um limite para a extrapolação das equações.

Portanto, consideraram-se determinados valores de vazão específica mensais e anuais como limitadores para as estimativas das vazões mínimas ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ), sendo este o maior valor de vazão específica observado nas estações fluviométricas.

Desta forma, caso a vazão específica estimada no trecho da hidrografia fosse maior que o valor limite, a vazão mínima era estimada pela equação

$$Q_{\min\_ajust} = A q_{\min\_lim} \quad (10)$$

em que:  $Q_{mín\_ajust}$  = vazão mínima ( $Q_{95}$  ou  $Q_{7,10}$ ) ajustada com base na vazão específica limite,  $m^3 s^{-1}$ ;  $q_{mín\_lim}$  = vazão específica mínima ( $q_{95}$  ou  $q_{7,10}$ ) utilizada como limite para a extrapolação da equação de regionalização,  $m^3 s^{-1} km^{-2}$ ; e  $A$  = área de drenagem à montante,  $km^2$ .

Embora se reconheça a tendência da grande amplitude de variação da vazão específica para pequenas áreas de drenagem, considera-se que a utilização do critério proposto permite minimizar o risco de estimativa das vazões para as regiões onde é feita a extrapolação.

### **3.6. Avaliação do impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mensais ao longo da hidrografia**

A hidrografia da bacia do rio Paracatu, dividida em trechos, foi obtida de cartas do IBGE na escala 1:100.000, já mencionadas anteriormente, assim como os dados planialtimétricos, de forma a conduzir à geração de um Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado, que permitiu a obtenção de variáveis explicativas dos modelos de regressão e a espacialização das vazões nos cursos d'água utilizando o método de regionalização de vazões já descrito.

Para efeito de análise fez-se a sobreposição dos dados de vazões mínimas em um SIG (Sistema de Informações Geográficas). A comparação entre as vazões mínimas mensais e as vazões anuais foi realizada para cada trecho da hidrografia que está em formato de arquivo shapefile. O processo para o cálculo das diferenças relativas entre as vazões foi realizado tanto para a  $Q_{7,10}$  quanto para a  $Q_{95}$  utilizando a equação

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

Os dados obtidos foram divididos em intervalos de classes e exibidos em mapas da hidrografia, em que 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 entre as vazões mensais e anuais com a ocorrência nos trechos da hidrografia, para verificar a distribuição dos valores de  $DH_{\%}$  na bacia.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

Foram estimadas, para cada estação fluviométrica, as  $Q_{7,10}$  e as  $Q_{95}$  em base anual e mensal, cujos valores são mostrados no apêndice B.

Nas Figuras 7 a 12 estão representadas, para cada uma das seis estações analisadas, as variações da  $Q_{7,10}$  e da  $Q_{95}$  mensais ao longo do ano, a comparação com os valores anuais e a projeção do uso de diferentes critérios para a concessão de outorga. Pela análise destas figuras evidencia-se que houve uma tendência de comportamento similar nas seis estações analisadas.

Pela observação da Figura 7, correspondente à estação Fazenda Limoeiro, e tomada como exemplo para a análise, pode-se evidenciar que a  $Q_{95}$  anual (igual a  $1,84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) é 47% superior à  $Q_{7,10}$  anual (igual a  $1,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), fazendo com que, pelo critério de outorga de 70% da  $Q_{95}$  o valor permitido para outorga seja 3,4 vezes maior que o permitido pelo critério de 30% da  $Q_{7,10}$ . Pode-se ainda evidenciar que este último critério é bastante restritivo, à medida que limita o valor permissivo para uso de água ao longo de todo o ano por uma restrição evidenciada apenas em um período específico, e, mesmo neste período, correspondendo à disponibilidade para uso de apenas uma pequena parte da vazão existente no rio.

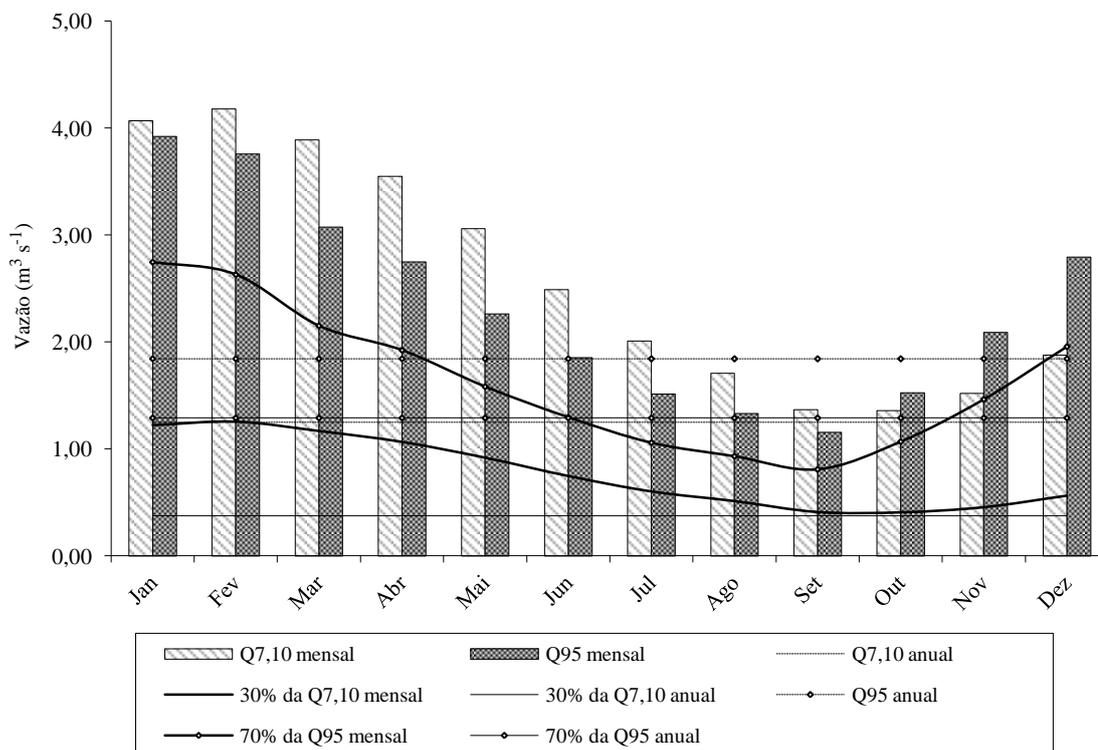


Figura 7 –  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , mensais e anuais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Fazenda Limoeiro.

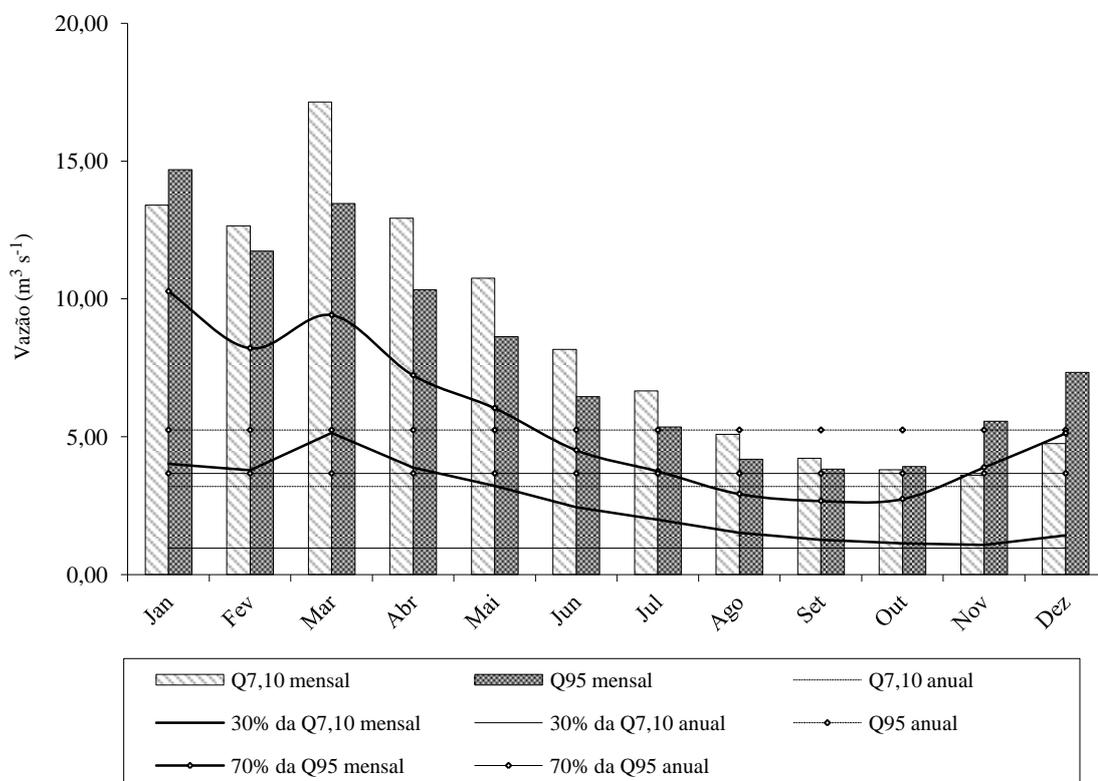


Figura 8 –  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , mensais e anuais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Fazenda Córrego do Ouro.

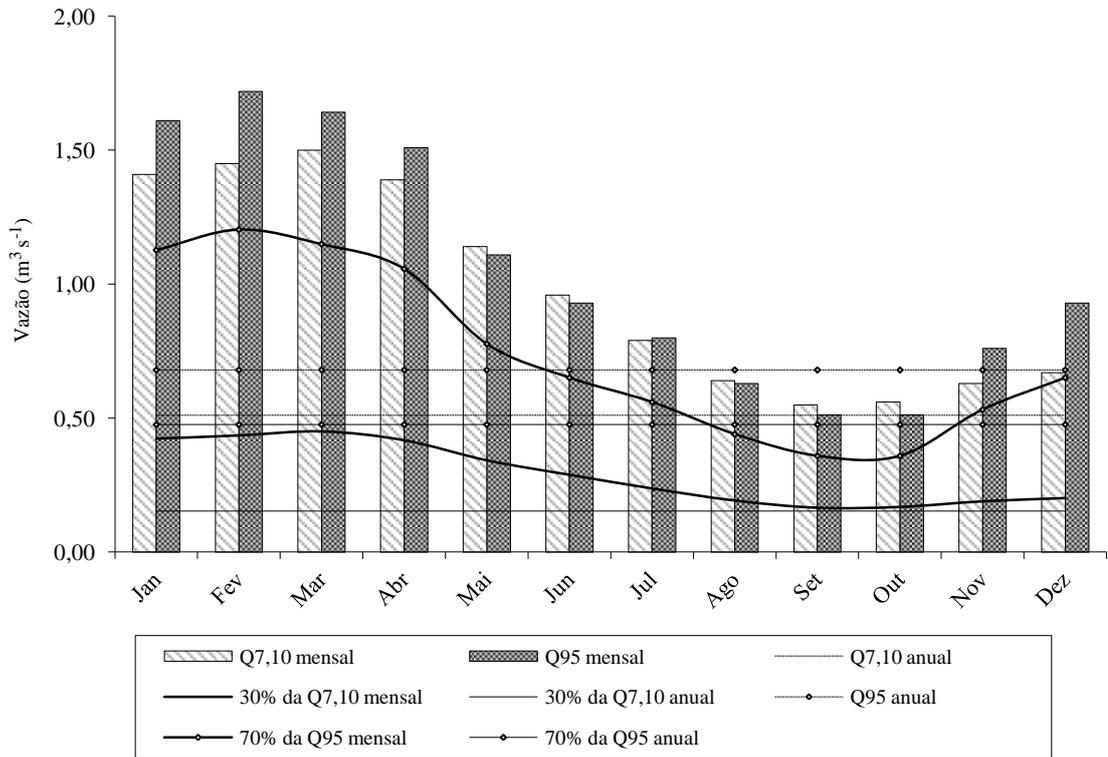


Figura 9 –  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , mensais e anuais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Fazenda Nolasco.

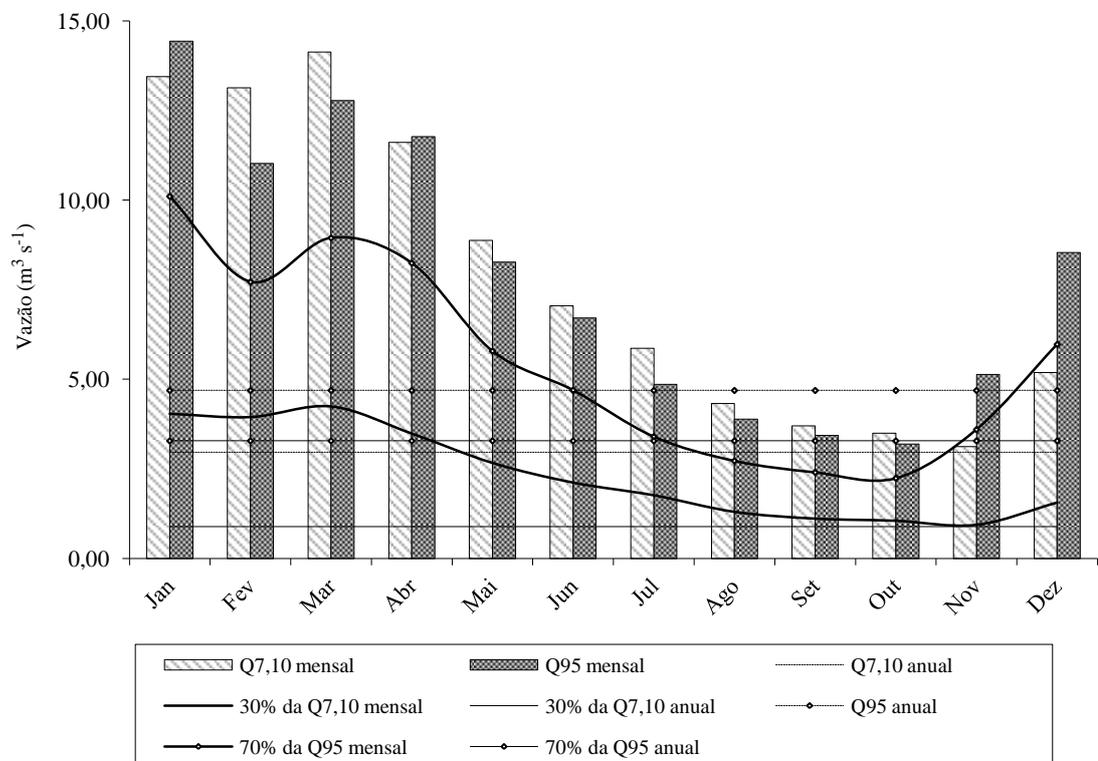


Figura 10 –  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , mensais e anuais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Barra do Escurinho.

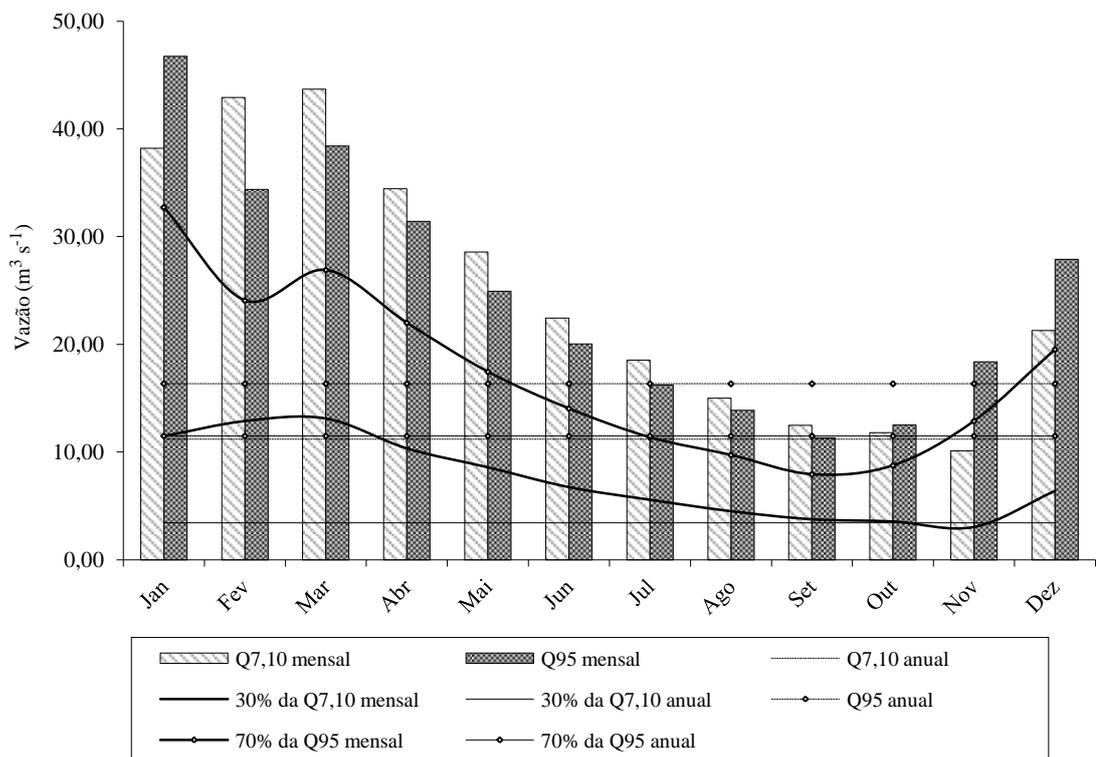


Figura 11 –  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , mensais e anuais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Ponte da BR 40 – Paracatu.

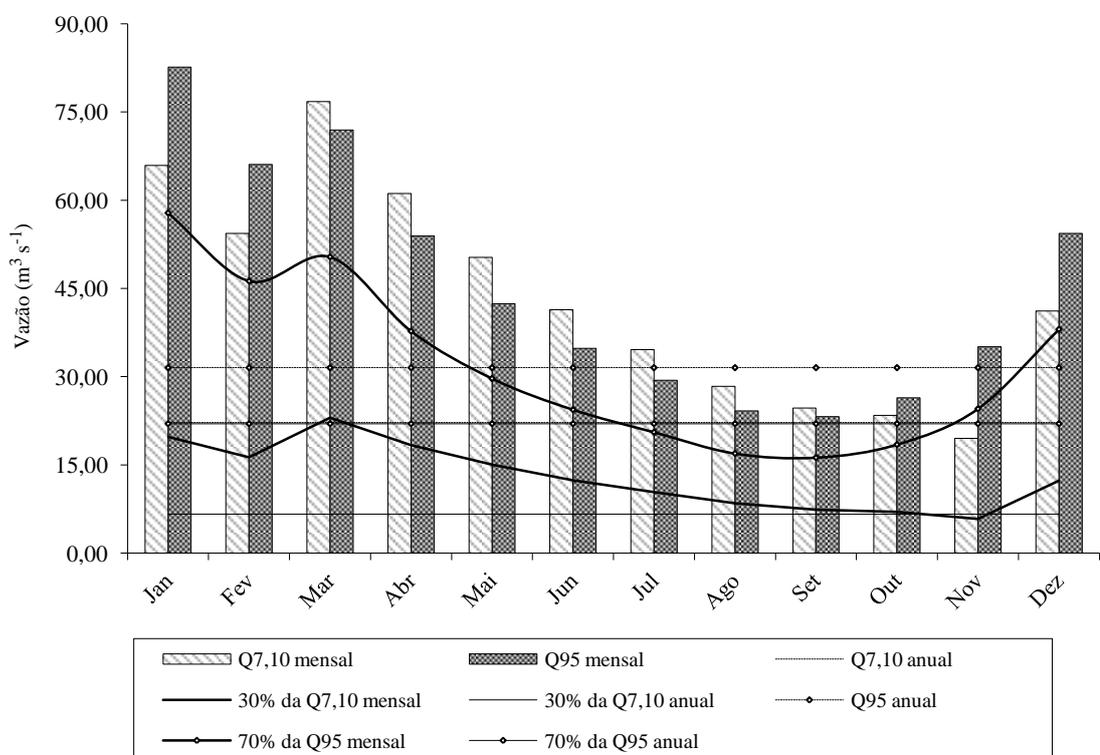


Figura 12 –  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , mensais e anuais, e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Santa Rosa.

A utilização do critério correspondente a 70% da  $Q_{95}$  anual também apresenta a característica de limitar o uso de água nos períodos de maior disponibilidade a uma restrição evidenciada apenas em períodos com pouca disponibilidade hídrica. Neste caso, evidencia-se que o critério, além de ser bastante restritivo nos meses de maior disponibilidade hídrica, é excessivamente permissivo nos meses com menor disponibilidade. Isto pode levar a um alto risco de ocorrência de condições que possam implicar até na completa seca do rio, principalmente nos meses de setembro e outubro.

Nesses mesmos meses, 70% da  $Q_{95}$  anual, aproxima-se dos valores de  $Q_{7,10}$  mensais, o que implica em alto risco de que o rio seque, mas com o uso do critério de 70% da  $Q_{95}$  mensal esse risco diminui de forma expressiva.

Para novembro ou dezembro são evidenciadas em algumas estações (Figuras 7, 8, 10, 11 e 12), casos em que 70% da  $Q_{95}$  mensal supera a  $Q_{7,10}$  mensal, enquanto que a 70% da  $Q_{95}$  anual é inferior à  $Q_{7,10}$  mensal, sendo assim, o uso do critério baseado na  $Q_{95}$  mensal, pode aumentar o risco de que o rio seque nestes meses. Entretanto, para os demais meses, o uso do critério baseado na  $Q_{95}$  mensal, sempre aumenta a vazão máxima permitível para a outorga sem implicar em um aumento dos riscos ambientais.

De uma forma geral, a utilização do critério baseado nas vazões mensais potencializa um melhor plano de utilização da água, à medida que permite um maior uso da água no período em que há disponibilidade e impõe uma restrição mais realista no período crítico de disponibilidade de água.

Pela análise da Figura 7, o uso da  $Q_{7,10}$  mensal potencializa um aumento muito expressivo da vazão permitível para outorga em alguns meses, como, por exemplo, de janeiro a junho, e menos expressivo em outros meses, como setembro, outubro e novembro. Entretanto, mesmo nesses meses, ocorre aumento na disponibilidade de água (no caso da estação Fazenda Limoeiro, de, no mínimo, 8%), seja para o consumo pelos diferentes segmentos de usuários, seja para a diluição de efluentes.

A análise da utilização da  $Q_{95}$  produz resultados ainda mais interessantes. Evidencia-se que o uso de uma base mensal para a estimativa das vazões mínimas conduz a uma maior proximidade entre a  $Q_{7,10}$  e a  $Q_{95}$ . Enquanto na base anual a  $Q_{95}$  é 47% maior que a  $Q_{7,10}$ , em uma base mensal esta diferença diminui, havendo, inclusive, muitos meses em que a  $Q_{7,10}$  mensal passa a ser maior que a  $Q_{95}$  mensal.

Considerando ainda que o volume de água permitível para a outorga é representado pela área sob a curva (ou reta) relativa ao critério de outorga adotado, tem-se que para a estação Fazenda Limoeiro (Figura 7), para o critério correspondente a 30% da  $Q_{7,10}$  anual, o volume de outorga permitido seria de 11,82 hm<sup>3</sup>, enquanto que

para os critérios correspondentes a 70% da  $Q_{95}$  anual seria de  $40,68 \text{ hm}^3$ , 30% da  $Q_{7,10}$  mensal de  $24,51 \text{ hm}^3$  e 70% da  $Q_{95}$  mensal de  $51,59 \text{ hm}^3$ , valores 3,4; 2,1 e 4,3 vezes, respectivamente, superiores ao volume máximo permitido pelo critério utilizado para concessão de outorga em Minas Gerais.

Na Tabela 3 é apresentada a diferença relativa percentual do volume total anual de água permissível para outorga, entre os critérios do IGAM e da ANA, em bases anual e mensal, nas seis estações fluviométricas analisadas no estudo.

Tabela 3 – Diferença relativa percentual ( $DVc\%$ ) do volume total anual de água permissível para outorga entre os critérios do IGAM e da ANA, em bases anual e mensal, nas seis estações fluviométricas analisadas no estudo

Código das Estações	Base anual	Base mensal
42250000	244,2	110,5
42251000	282,3	115,9
42255000	211,1	152,8
42257000	269,7	113,5
42290000	234,6	130,7
42395000	232,8	143,6

A análise realizada considerando a base anual permite evidenciar que o volume permissível para a outorga pelo critério da ANA é expressivamente maior do que o volume permissível para a outorga pelo critério do IGAM, variando de 211,1 a 282,3% o valor de  $DVc\%$ . Esta diferença é bem menor em base mensal, variando de 110,5 a 152,8%, devido ao fato das diferenças entre os valores de  $Q_{7,10}$  mensal e  $Q_{95}$  mensal serem menores do que aquelas correspondentes aos valores anuais.

Na Tabela 4 é apresentada a diferença relativa percentual, para as seis estações fluviométricas, do volume de água permissível para a outorga quando da mudança dos critérios do IGAM e da ANA, de uma base anual para uma base mensal.

Existe um aumento do volume de água permissível para a outorga quando da alteração da base anual para a base mensal, em ambos os critérios analisados, sendo que no critério do IGAM o aumento do volume foi mais expressivo do que no critério da ANA.

A mudança da base anual para a base mensal, considerando o critério do IGAM, conduz a um aumento do volume permissível para a outorga que varia de 91,0 a 168,6%.

Quando a mudança é aplicada considerando o critério da ANA, o aumento do volume permissível para a outorga varia de 26,7 a 67,1%. Este aumento é menor para o

critério da ANA, visto que em alguns meses, como no período de julho a outubro, a  $Q_{95}$  mensal é inferior à  $Q_{95}$  anual.

Tabela 4 – Diferença relativa percentual ( $DVb\%$ ) do volume total anual permissível para outorga entre os critérios mensal e anual, considerando o padrão estabelecido pelo IGAM e pela ANA, nas seis estações fluviométricas analisadas no estudo

Código das Estações	Critério do IGAM	Critério da ANA
42250000	107,3	26,7
42251000	168,6	51,7
42255000	91,0	55,2
42257000	164,5	67,1
42290000	119,0	51,0
42395000	96,6	43,9

Na Figura 13 estão representados os gráficos da amplitude de variação, considerando as seis estações fluviométricas utilizadas no estudo, da diferença relativa entre as vazões  $Q_{7,10}$  mensais e anual e  $Q_{95}$  mensais e anual.

O único mês em que ocorreram valores de  $Q_{7,10}$  mensais menores do que os de  $Q_{7,10}$  anual foi novembro, tendo este comportamento sido evidenciado apenas nas estações BR 40 – Paracatu e Santa Rosa. Nas demais condições os valores de  $Q_{7,10}$  mensal foram superiores aos de  $Q_{7,10}$  anual, caracterizando o potencial do aumento da vazão permissível para a outorga, fato ainda mais acentuado no período de janeiro a maio, em que os aumentos foram sempre superiores a 50%.

No caso da  $Q_{95}$  (Figura 13b), no período de janeiro a abril, observa-se um aumento da vazão permissível para a outorga sempre superior a 50% e entre os meses de junho e outubro foram obtidos valores negativos de diferença relativa, que, embora impliquem em uma redução da vazão máxima permissível para a outorga nestes meses, traz como benefício, uma maior segurança ambiental, à medida que o uso de 70% da  $Q_{95}$  anual conduz a valores que se aproximam da própria  $Q_{7,10}$  mensal, principalmente nos meses de setembro e outubro.

Além do uso das vazões mínimas estimadas em uma base anual representar uma restrição única para todo o ano, há ainda o fato de que o período de maior demanda pelos recursos hídricos nem sempre coincide com o período de menor disponibilidade hídrica.

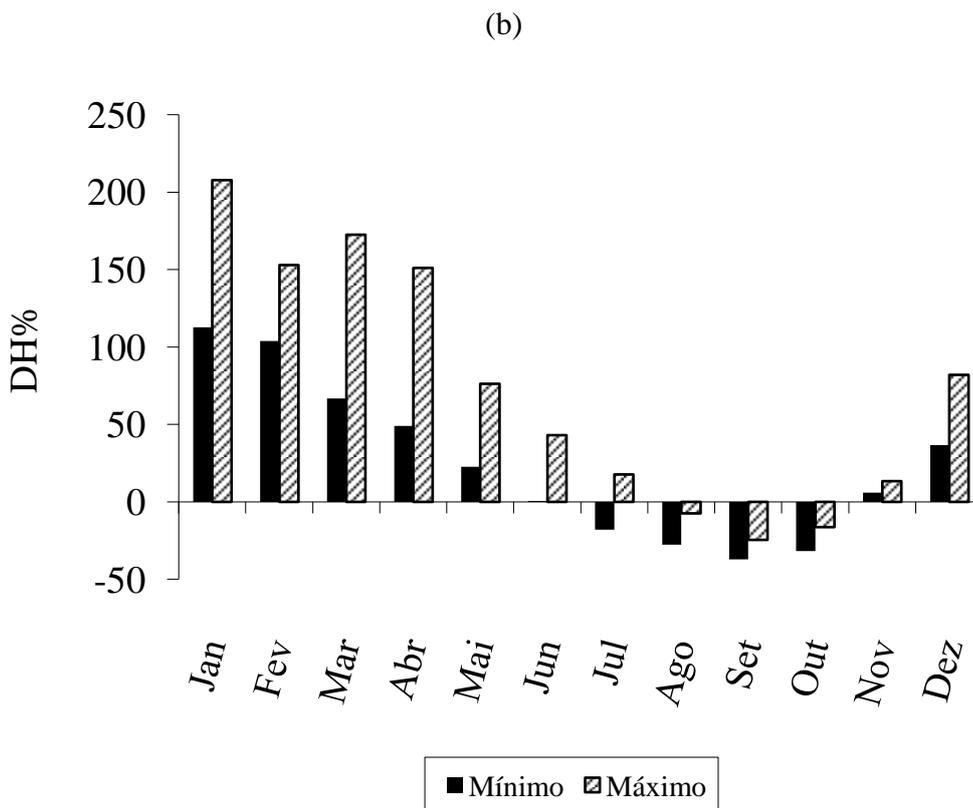
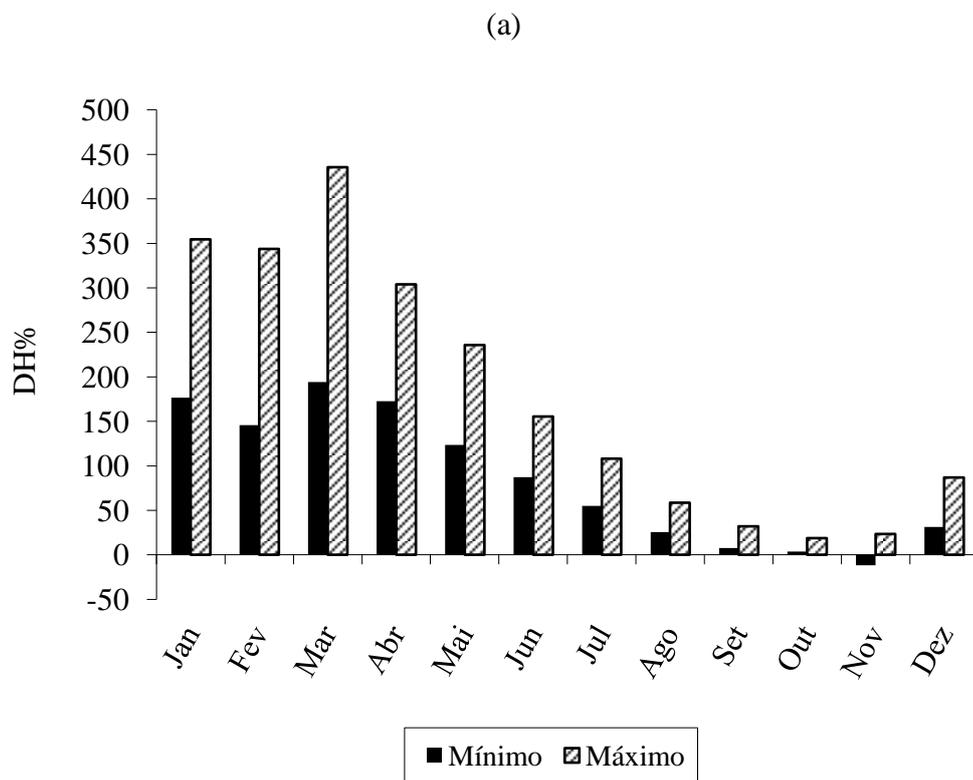


Figura 13 – Amplitude de variação, considerando as seis estações fluviométricas utilizadas no estudo, da diferença relativa entre as vazões  $Q_{7,10}$  mensais e anual(a) e  $Q_{95}$  mensais e anual (b).

Tal análise pode também ser estendida para uma abordagem relativa à qualidade de água, à medida que, em muitos casos, pelas características do tipo de empreendimento e sua sazonalidade, principalmente aqueles industriais, a maior quantidade de efluentes lançados não coincide com o período de menor disponibilidade hídrica.

É evidente que a consideração das vazões estimadas em uma base mensal irá trazer um aumento expressivo no trabalho requerido para a quantificação da disponibilidade hídrica. Entretanto, esta apresenta, conforme mostrado neste estudo, um alto potencial para o aumento da vazão máxima permissível para a outorga.

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

### 4.2.1. Equações de regionalização

Com base nos critérios de seleção dos modelos de regionalização e nas tabelas e figuras constantes nos apêndices B e C, foram selecionadas as equações apresentadas na Tabela 5 para a regionalização da  $Q_{7,10}$  e na Tabela 6 para a regionalização da  $Q_{95}$ .

Tabela 5 – Equações utilizadas para a regionalização das  $Q_{7,10}$  mensais e anual

$Q_{7,10}$	Equação
Anual	$Q_{7,10} = 0,0040 \text{ Área}^{0,8937}$
Janeiro	$Q_{7,10} = 0,0119 \text{ Área}^{0,9130}$
Fevereiro	$Q_{7,10} = 0,0142 \text{ Área}^{0,8872}$
Março	$Q_{7,10} = 0,0100 \text{ Área}^{0,9491}$
Abril	$Q_{7,10} = 0,0115 \text{ Área}^{0,9060}$
Maió	$Q_{7,10} = 0,0098 \text{ Área}^{0,9017}$
Junho	$Q_{7,10} = 0,0084 \text{ Área}^{0,8932}$
Julho	$Q_{7,10} = 0,0066 \text{ Área}^{0,8985}$
Agosto	$Q_{7,10} = 0,0055 \text{ Área}^{0,8939}$
Setembro	$Q_{7,10} = 0,0044 \text{ Área}^{0,9006}$
Outubro	$Q_{7,10} = 0,0048 \text{ Área}^{0,8825}$
Novembro	$Q_{7,10} = 0,0085 \text{ Área}^{0,8001}$
Dezembro	$Q_{7,10} = 0,0034 \text{ Área}^{0,9784}$

Tabela 6 – Equações utilizadas para a regionalização das  $Q_{95}$  mensais e anual

$Q_{95}$	Equação
Anual	$Q_{95} = 0,0055 \text{ Área}^{0,9027}$
Janeiro	$Q_{95} = 0,0097 \text{ Área}^{0,9558}$
Fevereiro	$Q_{95} = 0,0151 \text{ Área}^{0,8747}$
Março	$Q_{95} = 0,0100 \text{ Área}^{0,9342}$
Abril	$Q_{95} = 0,0118 \text{ Área}^{0,8898}$
Maiο	$Q_{95} = 0,0087 \text{ Área}^{0,8967}$
Junho	$Q_{95} = 0,0073 \text{ Área}^{0,8909}$
Julho	$Q_{95} = 0,0062 \text{ Área}^{0,8857}$
Agosto	$Q_{95} = 0,0049 \text{ Área}^{0,8903}$
Setembro	$Q_{95} = 0,0037 \text{ Área}^{0,9099}$
Outubro	$Q_{95} = 0,0040 \text{ Área}^{0,9100}$
Novembro	$Q_{95} = 0,0062 \text{ Área}^{0,9008}$
Dezembro	$Q_{95} = 0,0058 \text{ Área}^{0,9563}$

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

Os mapas de diferença relativa entre a vazão mensal e a vazão anual para a  $Q_{7,10}$ , são apresentados nas Figuras 14 a 19.

Verifica-se que, de forma geral, há um aumento expressivo da  $DH_{\%}$  quando da substituição do critério anual pelo critério mensal, exceto no mês de novembro e em alguns trechos da hidrografia, sendo estas variações dos valores de  $DH_{\%}$ , altamente dependentes do mês e da posição do trecho considerado.

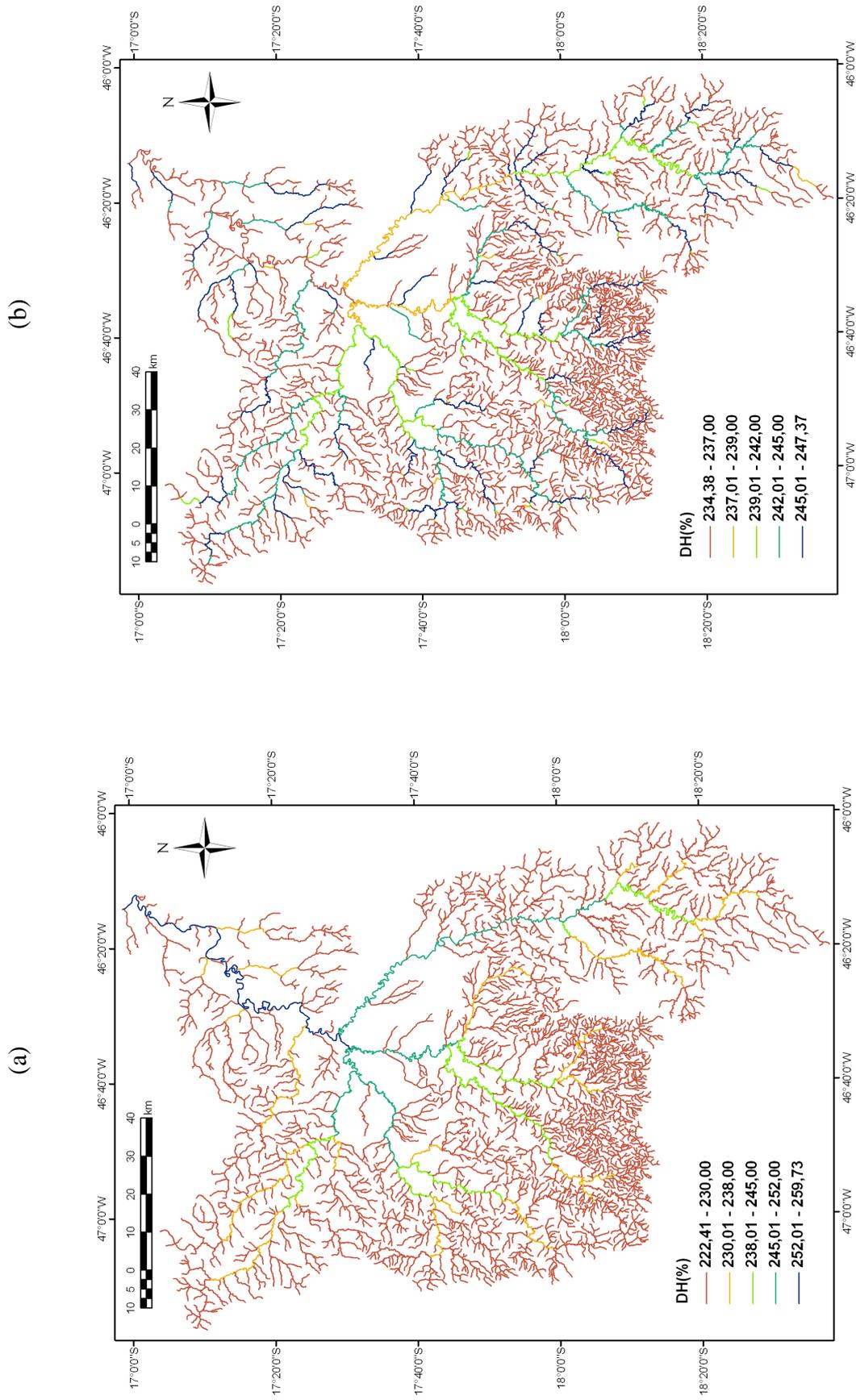


Figura 14 – Diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de janeiro e a  $Q_{7,10}$  anual (a) e diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de fevereiro e a  $Q_{7,10}$  anual (b).

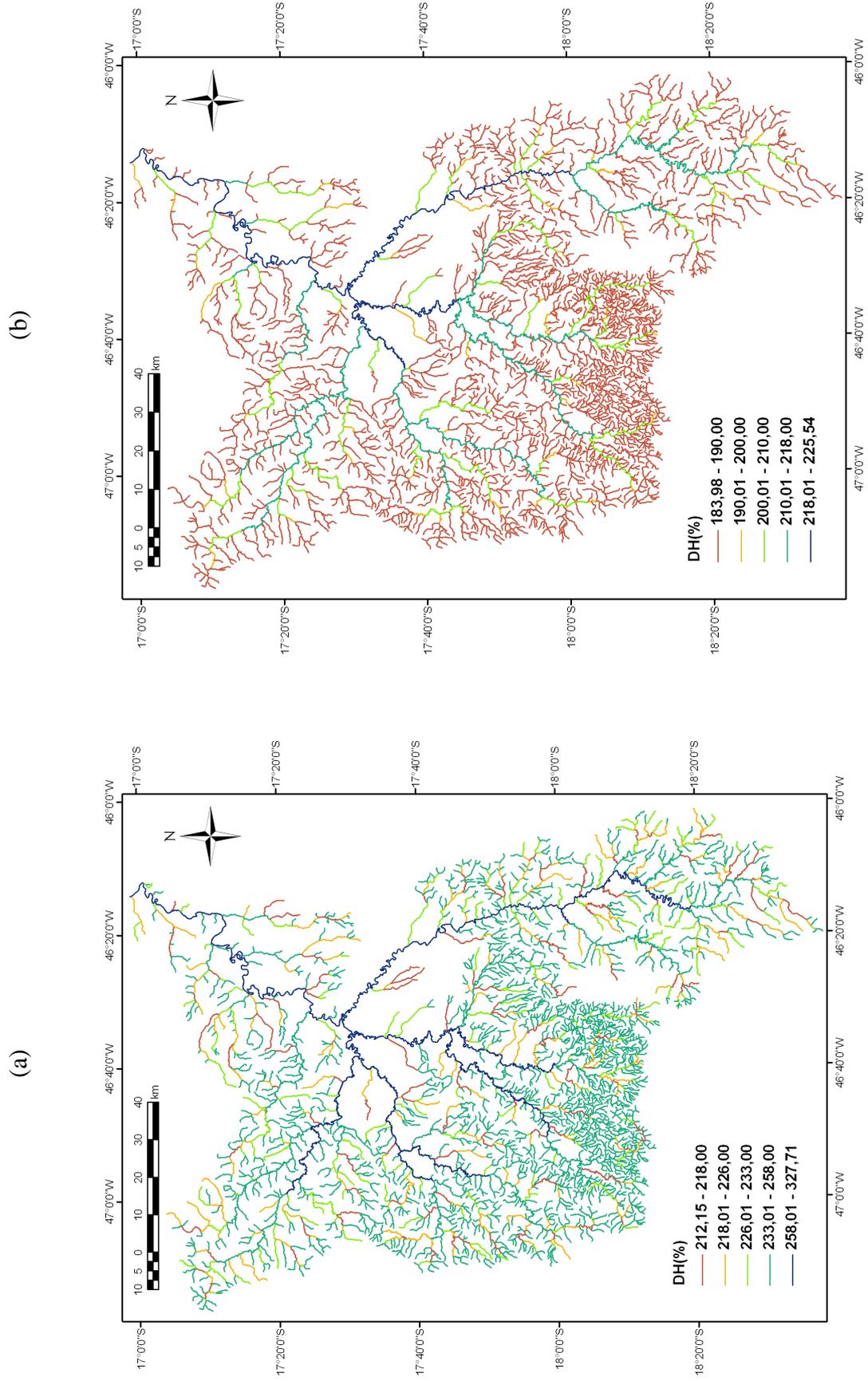


Figura 15 – Diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de março e a  $Q_{7,10}$  anual (a) e diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de abril e a  $Q_{7,10}$  anual (b).

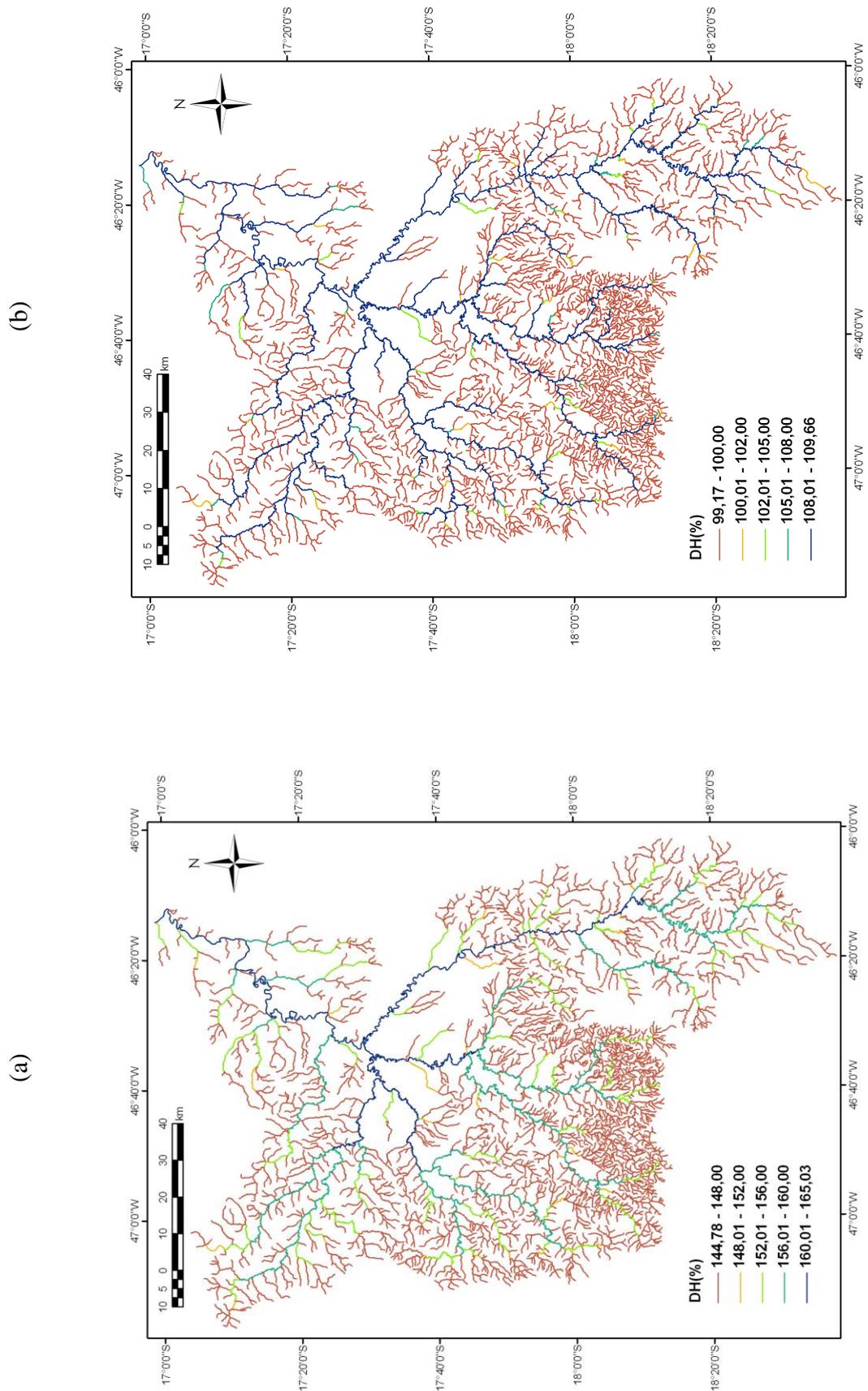


Figura 16 – Diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de maio e a  $Q_{7,10}$  anual (a) e diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de junho e a  $Q_{7,10}$  anual (b).

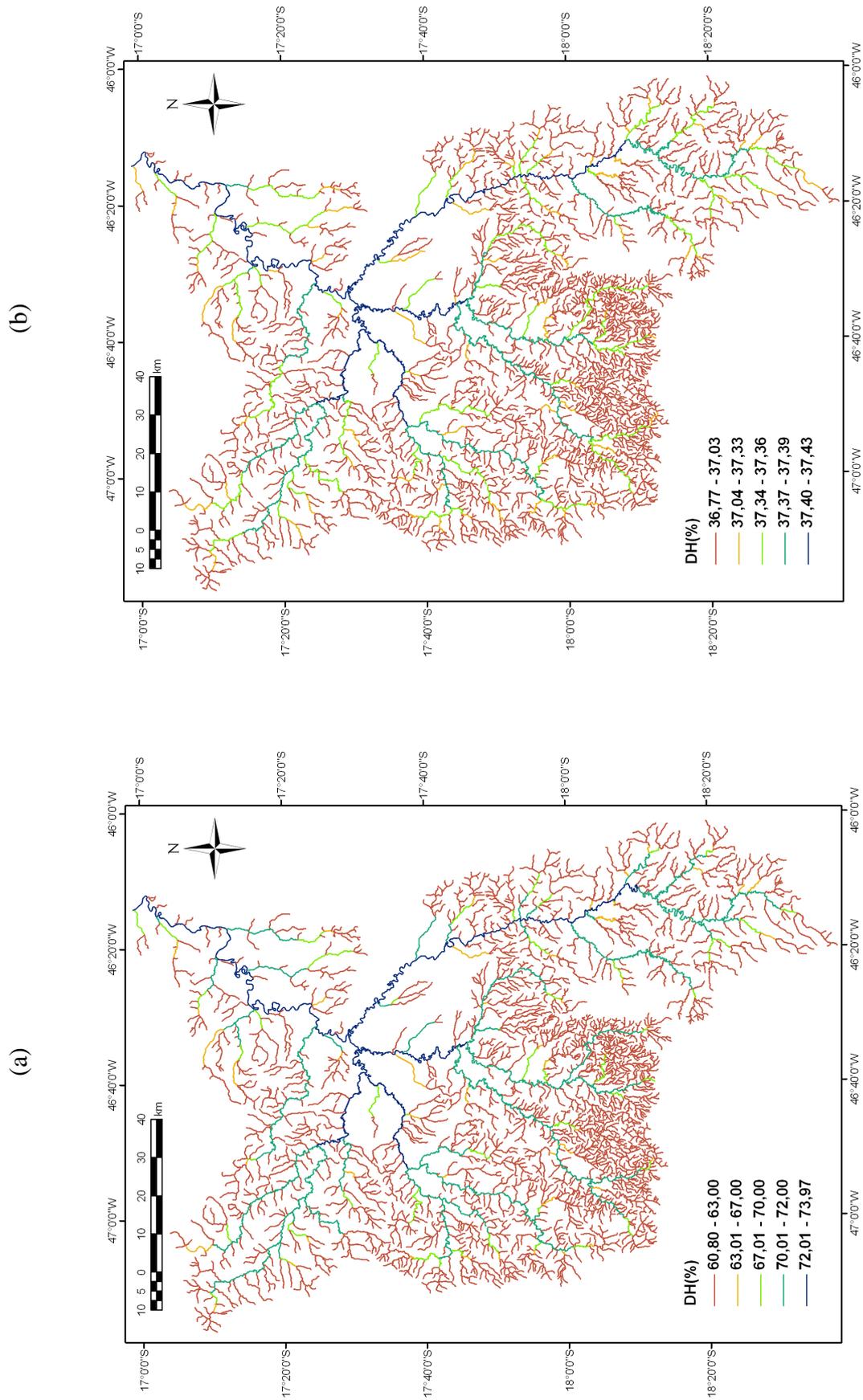


Figura 17 – Diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de julho e a  $Q_{7,10}$  anual (a) e diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de agosto e a  $Q_{7,10}$  anual (b).

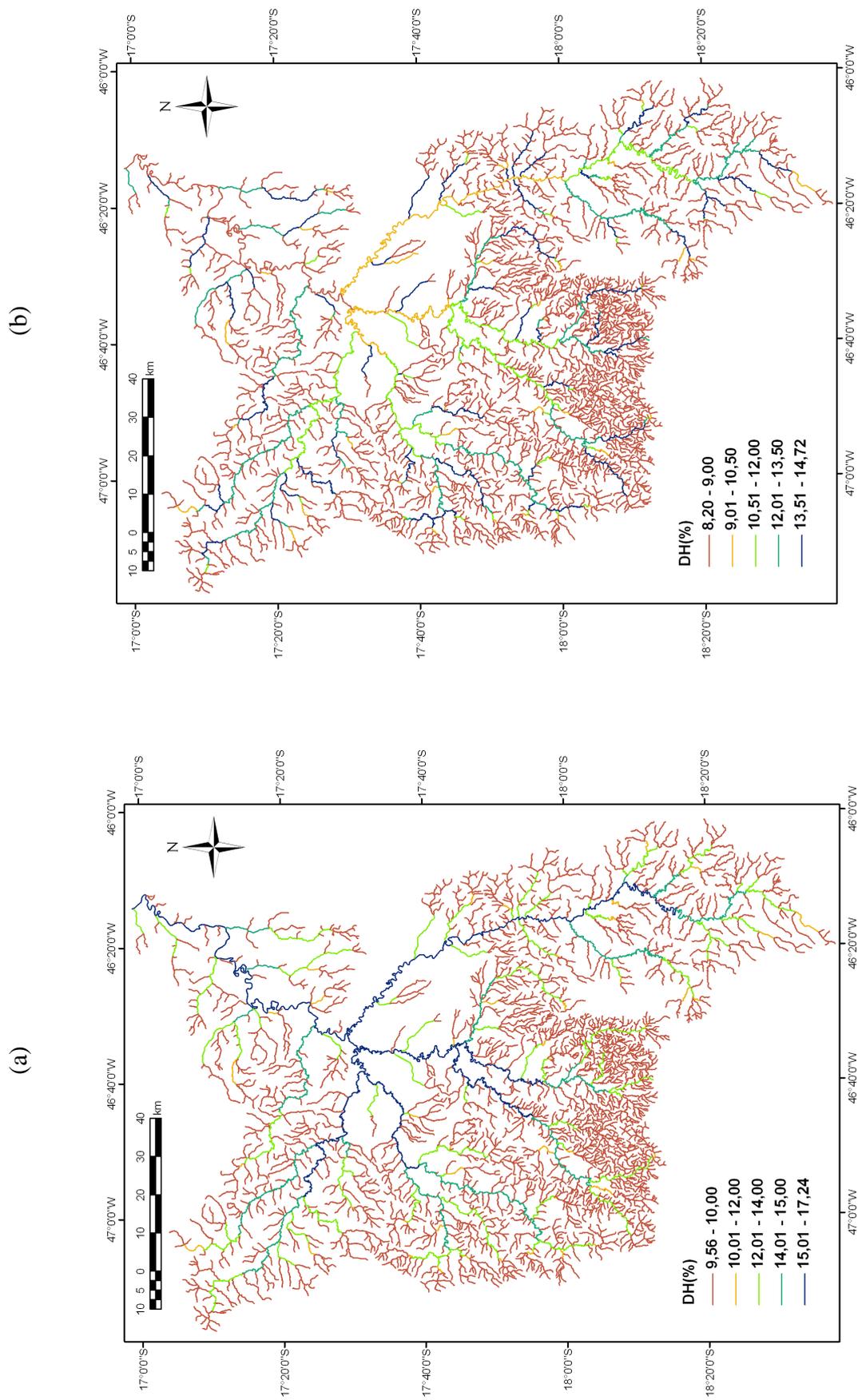


Figura 18 – Diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de setembro e a  $Q_{7,10}$  anual (a) e diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de outubro e a  $Q_{7,10}$  anual (b).

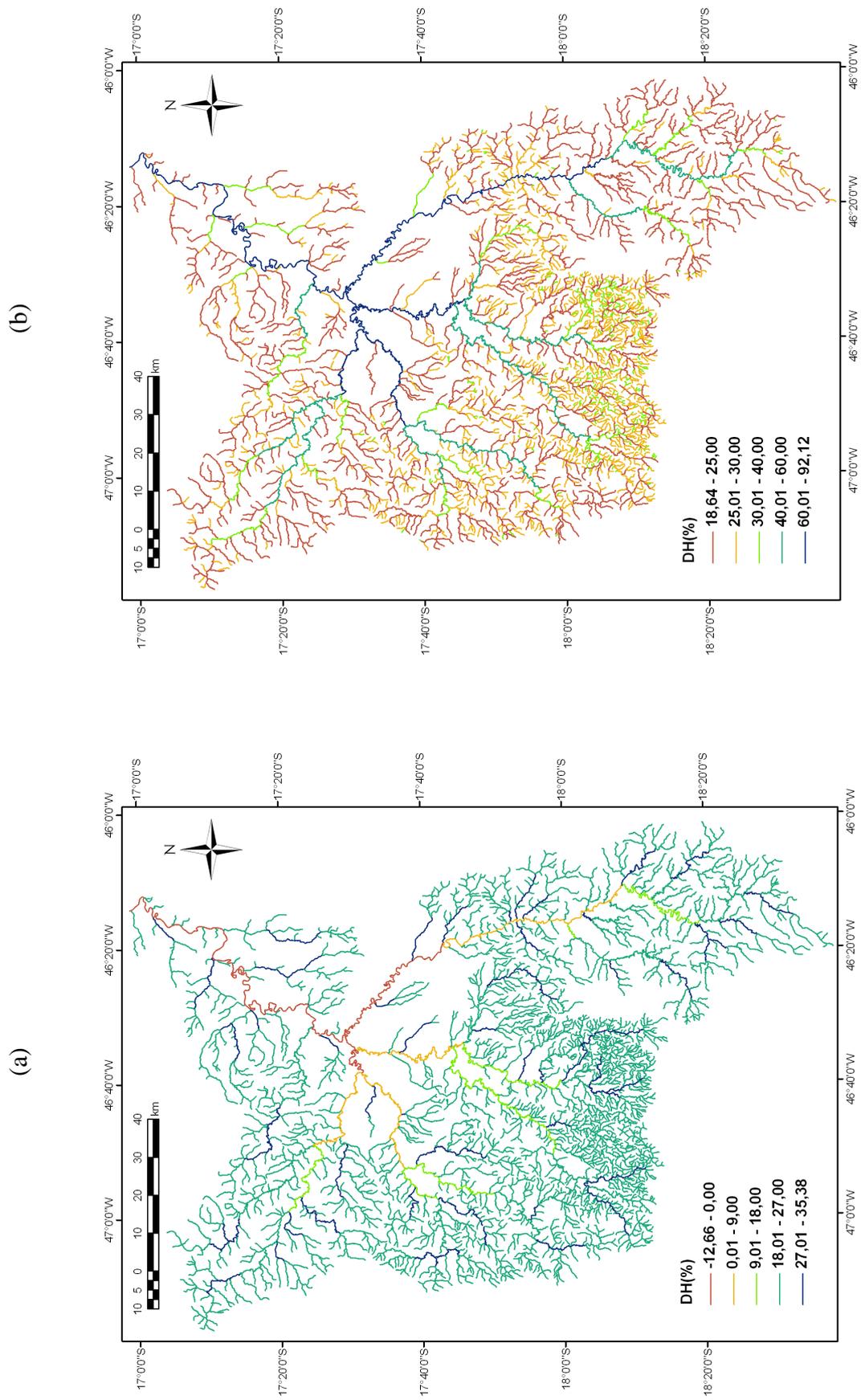


Figura 19 – Diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de novembro e a  $Q_{7,10}$  anual (a) e diferença relativa entre a  $Q_{7,10}$  de dezembro e a  $Q_{7,10}$  anual (b).

Na Figura 20 são apresentadas curvas de frequência relacionando as diferenças relativas ( $DH_{\%}$ ) entre as  $Q_{7,10}$  mensais e a  $Q_{7,10}$  anual com sua frequência de ocorrência nos trechos da hidrografia.

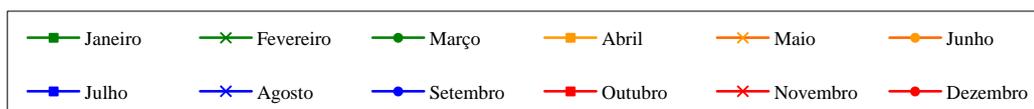
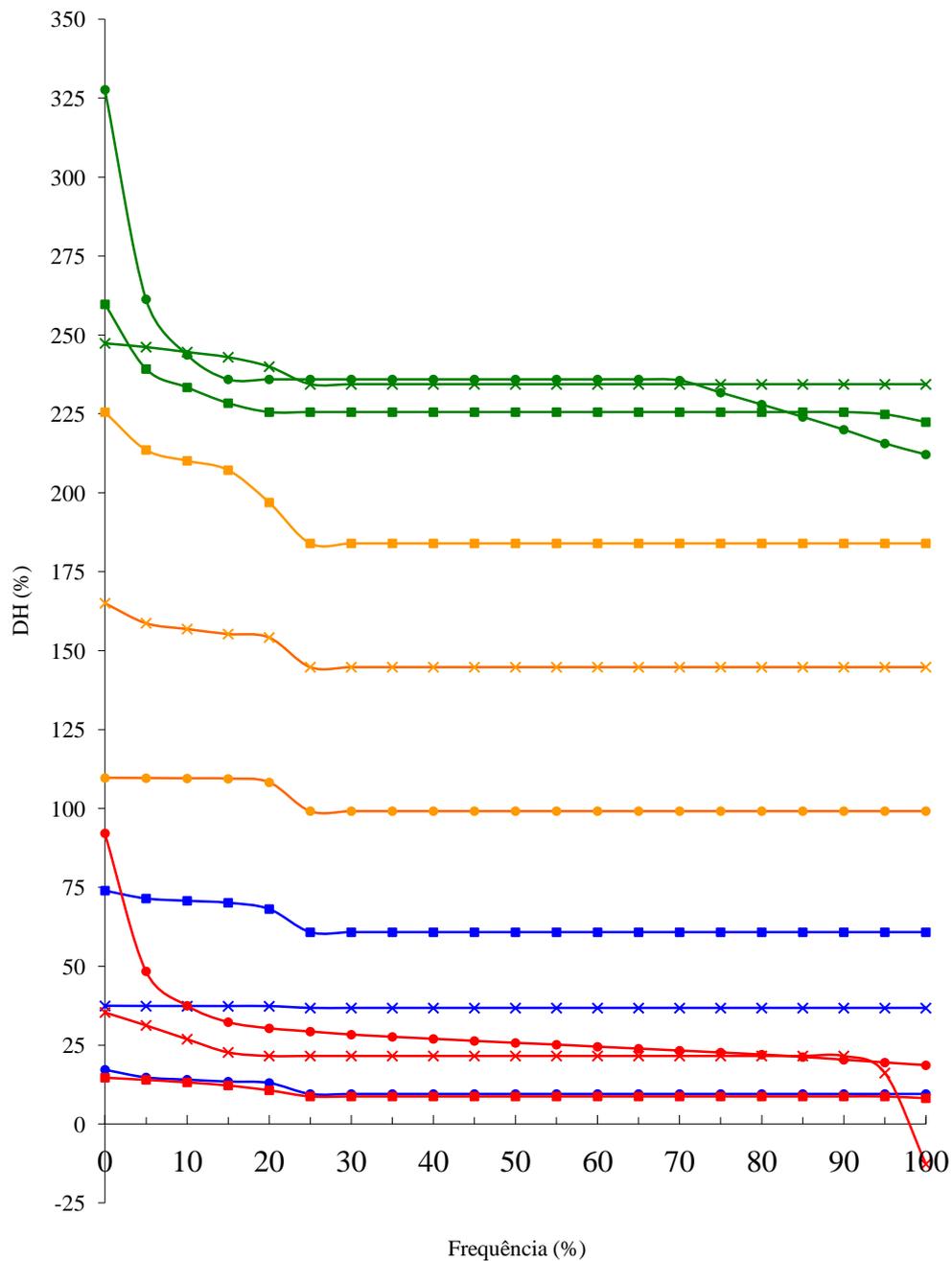


Figura 20 – Frequência de ocorrência das diferenças relativas entre as  $Q_{7,10}$  mensais e a  $Q_{7,10}$  anual considerando os trechos da hidrografia da bacia de estudo.

O maior aumento nos valores de  $DH_{\%}$  ocorreu nos meses do primeiro trimestre do ano (curvas de cor verde), variando de 212 a 327%. No segundo trimestre (curvas de cor laranja), a  $DH_{\%}$  variou de 100 a 227%. Em julho ocorreram valores de  $DH_{\%}$  compreendidos entre 60 e 75% e agosto (Figura 17b) foi o mês em que os valores de  $DH_{\%}$  apresentaram a menor amplitude de variação (inferior a 1%), ficando estes valores compreendidos entre 36,8 e 37,4%. Os meses com menores valores de  $DH_{\%}$  foram setembro e outubro, (Figuras 18a e 18b), estando os valores de  $DH_{\%}$  nestes meses compreendidos entre 8 e 17%.

Em novembro (Figura 19a) passa a haver uma inversão na tendência de declínio de  $DH_{\%}$  que vinha ocorrendo ao longo do ano, atingindo valores superiores a 20% em mais de 90% dos trechos. Este mês, entretanto, foi o único em que ocorreram valores negativos de  $DH_{\%}$  os quais estiveram associados a trechos com maior área de drenagem e tendo sido estes evidenciados em menos de 5% dos trechos.

O mês de dezembro (Figura 19b) apresentou uma grande variação dos valores de  $DH_{\%}$  ao longo da hidrografia, sendo que em 5% dos trechos ocorreram  $DH_{\%}$  que variaram de 48 a 92%. Em mais da metade dos trechos o aumento da  $DH_{\%}$  foi maior que 25% e em todos os trechos este aumento foi superior a 18%.

De uma forma geral, os maiores valores de  $DH_{\%}$  ocorreram em posições de jusante, exceto nos meses de fevereiro e outubro, em que não se observa um padrão definido de distribuição da  $DH_{\%}$  associado à posição dos trechos na bacia, e em novembro, mês em que os menores valores de  $DH_{\%}$ , inclusive atingindo valores negativos, ocorreram nos trechos com maiores áreas de drenagem.

A título de caracterização da curva de frequência procede-se, na sequência, a descrição do comportamento relativo ao mês de março, no qual evidencia-se uma faixa, associada a frequências de 0 a 15%, em que os valores de  $DH_{\%}$  variam de 235 a 327%. Uma segunda faixa, associada à frequência de 15 a 70%, apresenta valor de  $DH_{\%}$  igual a 235%. Finalmente, numa terceira faixa (frequência de 70 a 100%), os valores de  $DH_{\%}$  variam de 212 a 235%. O comportamento estabelecido pela curva de frequência de março está diretamente relacionada às imposições de restrição da vazão, que provocam o ajuste das equações para a sua estimativa. Para o mês de março (Figura 21), a região de imposição de restrição para a  $Q_{7,10}$  anual foi maior que para a  $Q_{7,10}$  mensal.

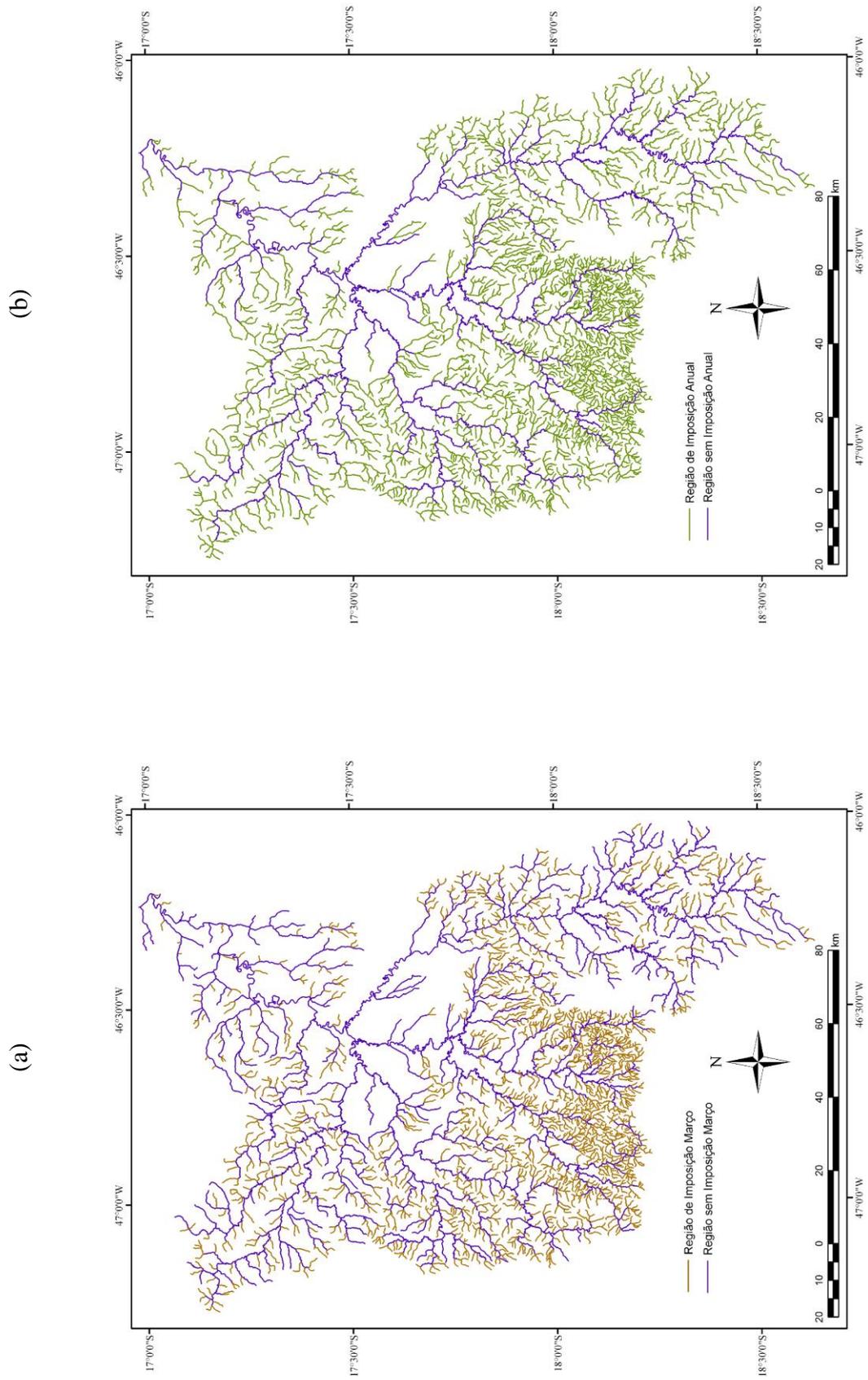


Figura 21 – Regiões onde foi realizado o ajuste da  $Q_{7,10}$  de março (a), e da  $Q_{7,10}$  anual (b).

O comportamento da curva de frequência para o mês de março pode ser melhor compreendido pela análise do esquema representado na Figura 22.

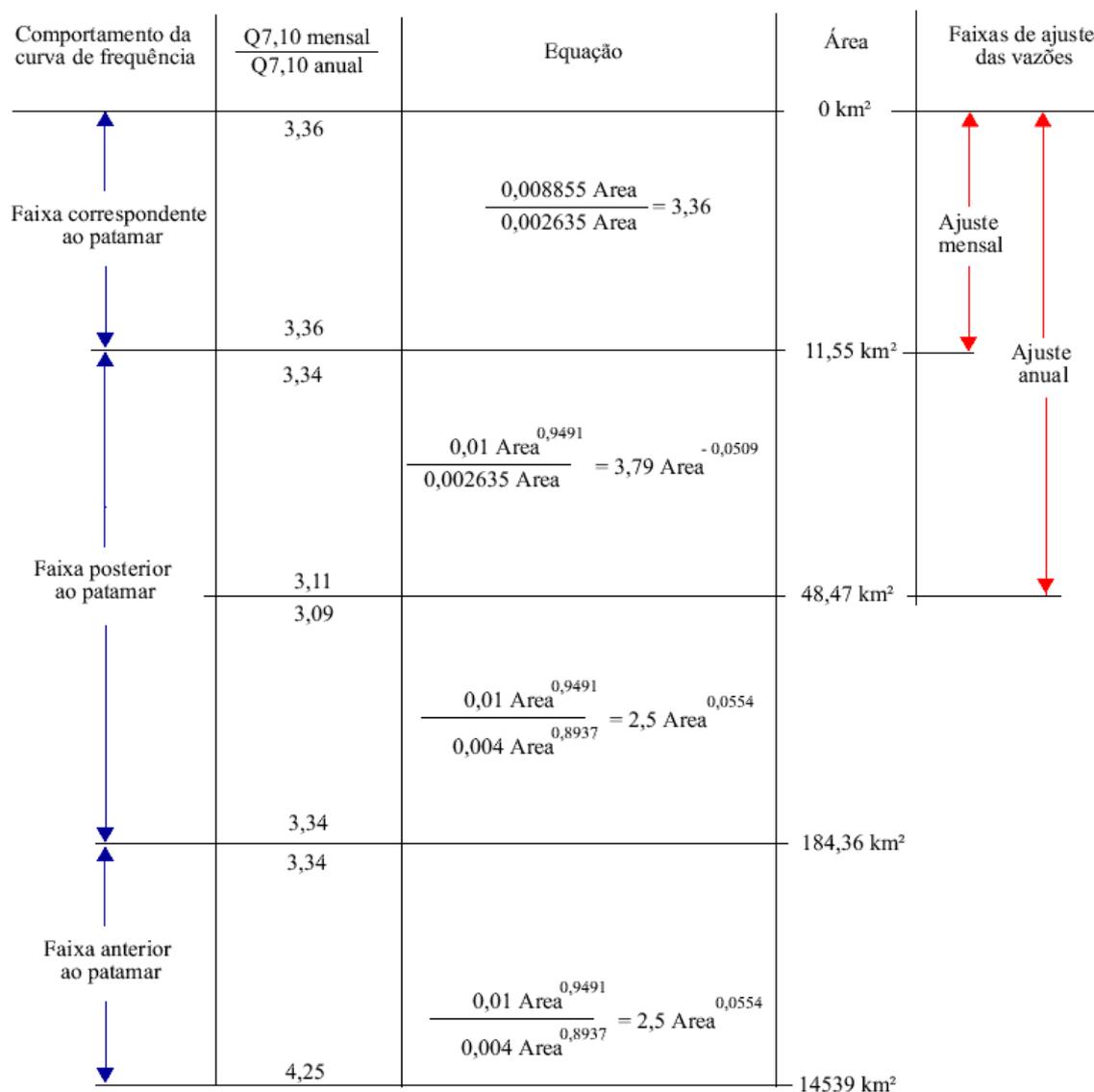


Figura 22 – Representação esquemática do comportamento das  $Q_{7,10}$  mensal e anual e da curva de frequência em função da área de drenagem e da relação  $Q_{7,10}$  mensal /  $Q_{7,10}$  anual.

O esquema representado foi elaborado com base na espacialização das vazões  $Q_{7,10}$  de março e  $Q_{7,10}$  anual ao longo da hidrografia. Para os trechos com área de drenagem até 11,55 km<sup>2</sup> ocorreu o ajuste tanto da  $Q_{7,10}$  mensal quanto da  $Q_{7,10}$  anual, de forma que a relação entre as duas variáveis é constante e igual a 3,36 nesta região, que na curva de frequência corresponde à faixa em que se estabeleceu o patamar da curva.

Para trechos cuja área de drenagem está compreendida entre 11,55 e 48,47 km<sup>2</sup> ocorreu o ajuste apenas na  $Q_{7,10}$  anual, sendo que a equação de relação entre a vazão

mensal e a anual é expressa pela equação  $3,79 \text{ Area}^{-0,0509}$ , fazendo com que a relação  $Q_{7,10} \text{ mensal} / Q_{7,10} \text{ anual}$  varie de 3,34 a 3,11 nesta região, que está toda inclusa na faixa posterior ao patamar da curva de frequência.

Nos trechos cuja área de drenagem está compreendida entre 48,47 e 184,36 km<sup>2</sup> não ocorreu o ajuste na  $Q_{7,10}$  mensal e nem na  $Q_{7,10}$  anual, e toda esta região também está inclusa na faixa posterior ao patamar, sendo que a relação entre a vazão mensal e a anual é expressa pela equação  $2,5 \text{ Area}^{0,0554}$ , promovendo uma variação de 3,09 a 3,34 na relação entre as vazões mensal e anual.

Para trechos com área de drenagem superior a 184,36 km<sup>2</sup> também não ocorre o ajuste na  $Q_{7,10}$  mensal e nem na  $Q_{7,10}$  anual, porém estes trechos estão associados à faixa anterior ao patamar, cujo valor da relação entre as vazões mensal e anual variou de 3,34 a 4,25 e a relação entre a vazão mensal e a anual também é expressa pela equação  $2,5 \text{ Area}^{0,0554}$ .

Quando o ajuste da vazão mensal cobre uma região menor do que o ajuste da vazão anual, verificou-se que se estabelece uma faixa posterior ao patamar na curva de frequência, como no caso dos meses de janeiro, março e novembro.

No mês de dezembro não é evidenciada a presença do patamar existente na curva de frequência de todos os demais meses, tendo em vista o fato de que neste mês não houve o ajuste das vazões.

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

Os mapas de diferença relativa entre a vazão mensal e a vazão anual para a  $Q_{95}$ , são apresentados nas Figuras 23 a 28.

Verifica-se que, de forma geral, há um aumento expressivo da  $DH_{\%}$  de novembro a junho, e de julho a outubro evidenciou-se valores negativos de  $DH_{\%}$ .

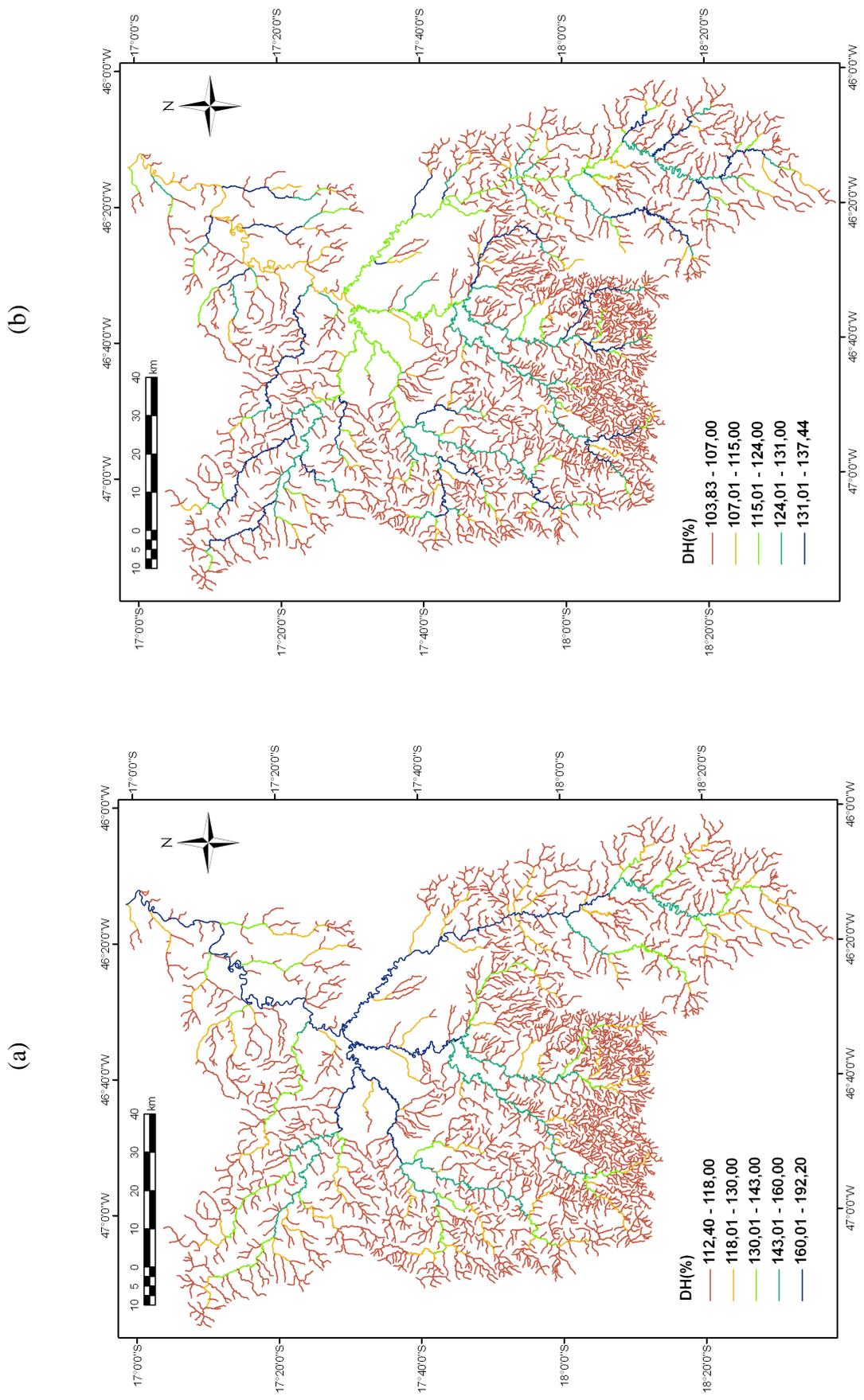


Figura 23 – Diferença relativa entre a  $Q_{95}$  anual e  $Q_{95}$  de janeiro e a  $Q_{95}$  de fevereiro e a  $Q_{95}$  anual (b).

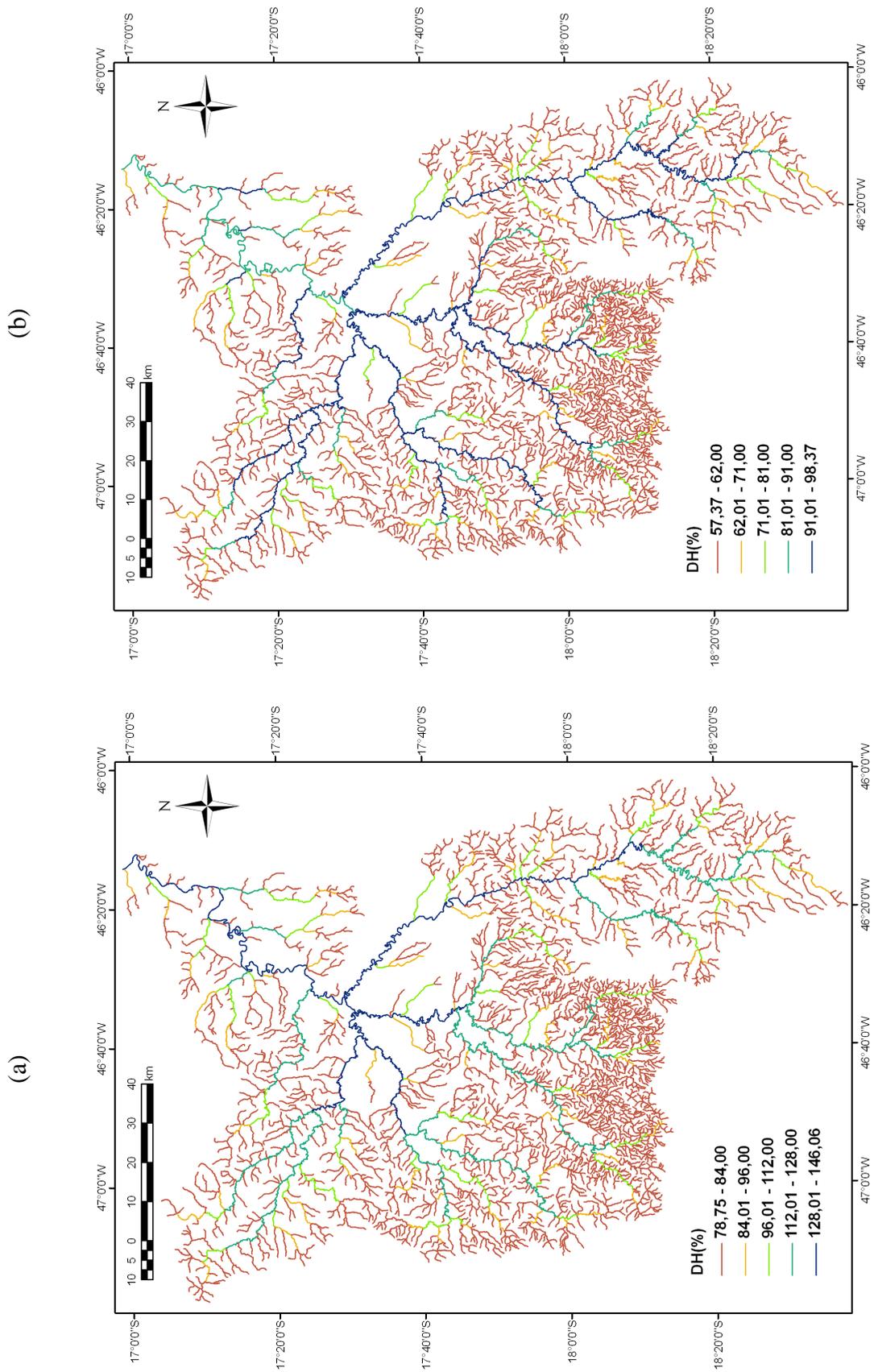


Figura 24 – Diferença relativa entre a Q<sub>95</sub> de março e a Q<sub>95</sub> anual (a) e diferença relativa entre a Q<sub>95</sub> de abril e a Q<sub>95</sub> anual (b).

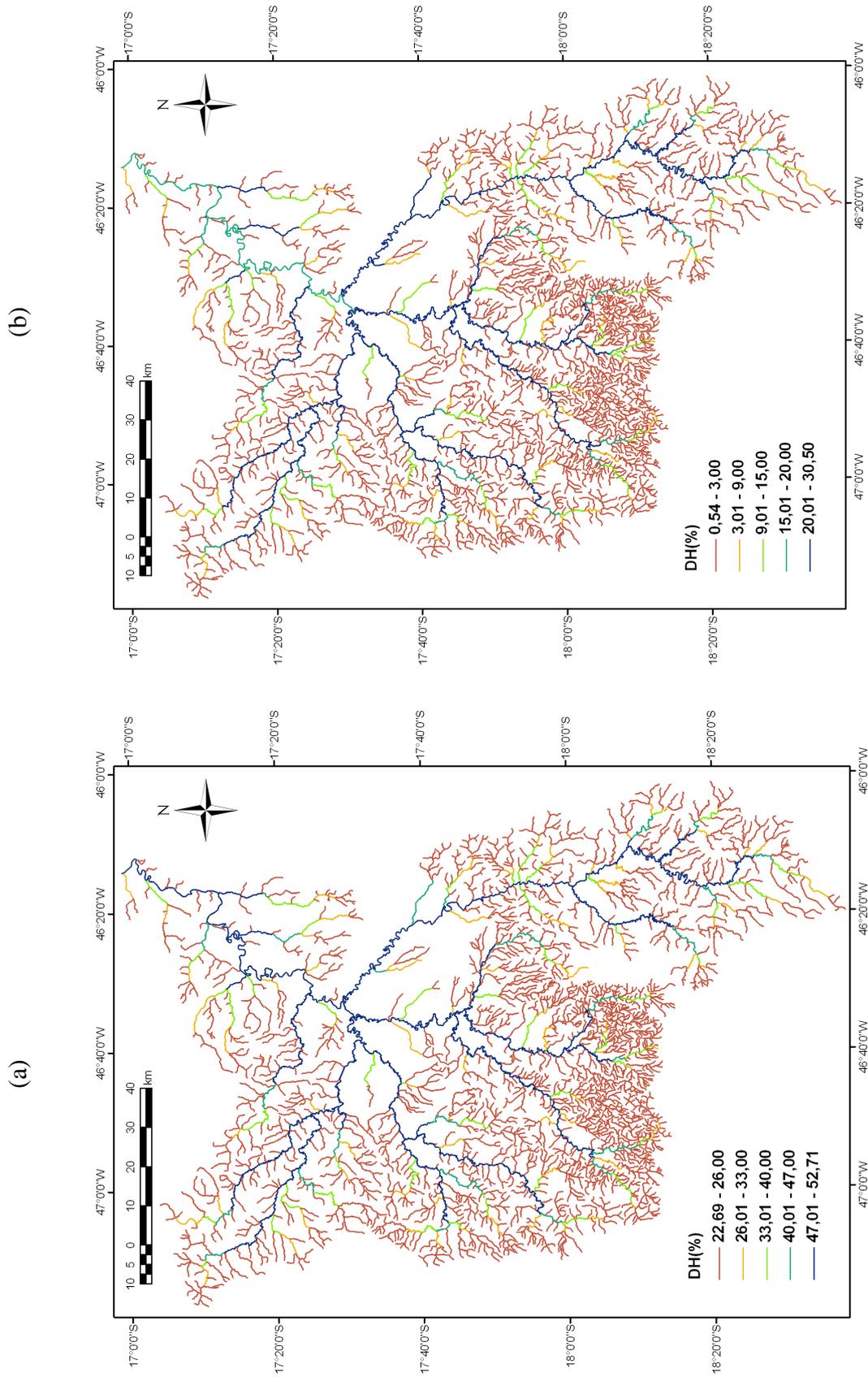


Figura 25 – Diferença relativa entre a  $Q_{95}$  de maio e a  $Q_{95}$  anual (a) e diferença relativa entre a  $Q_{95}$  de junho e a  $Q_{95}$  anual (b).

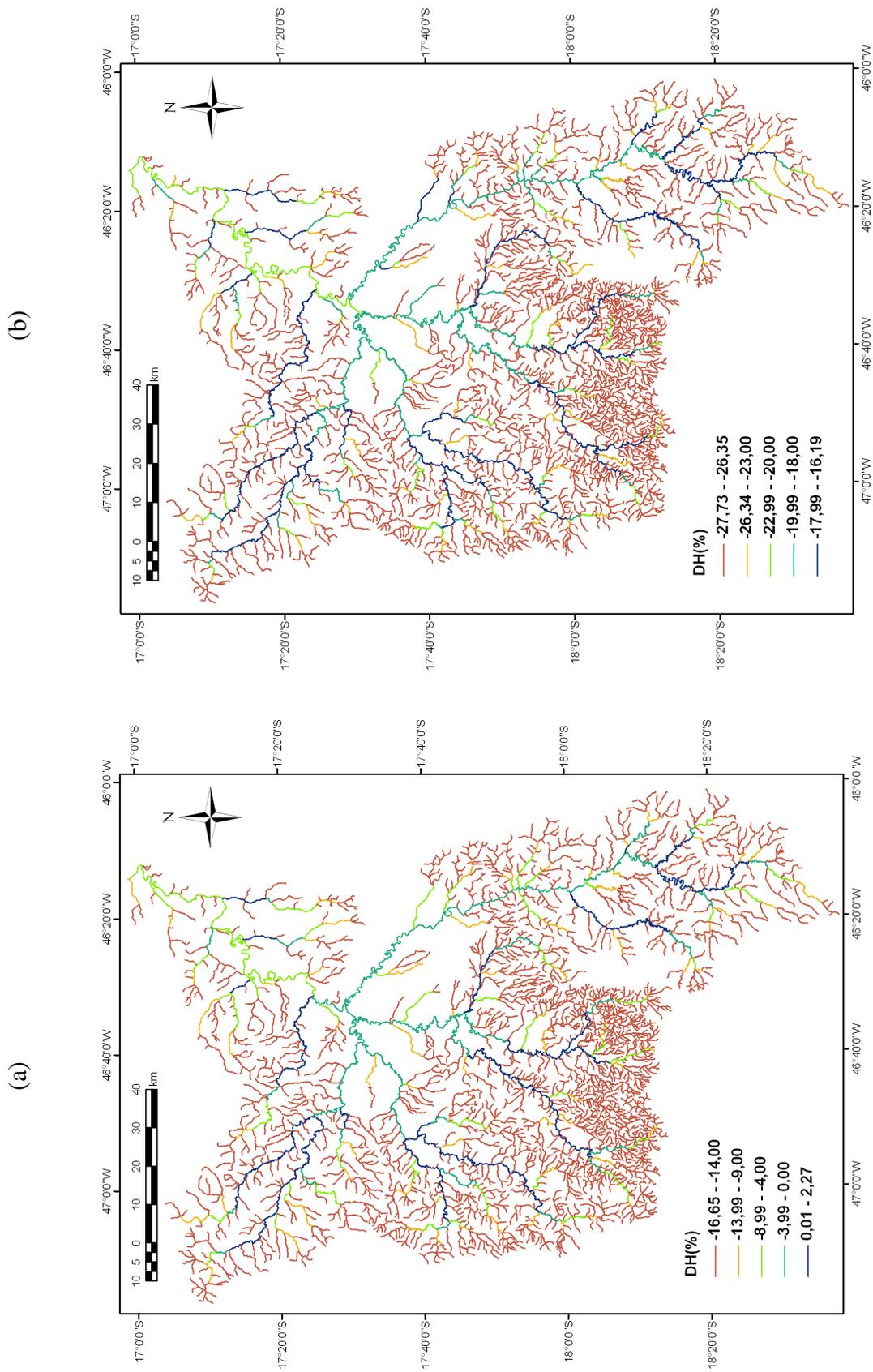


Figura 26 – Diferença relativa entre a  $Q_{95}$  de julho e a  $Q_{95}$  anual (a) e diferença relativa entre a  $Q_{95}$  de agosto e a  $Q_{95}$  anual (b).

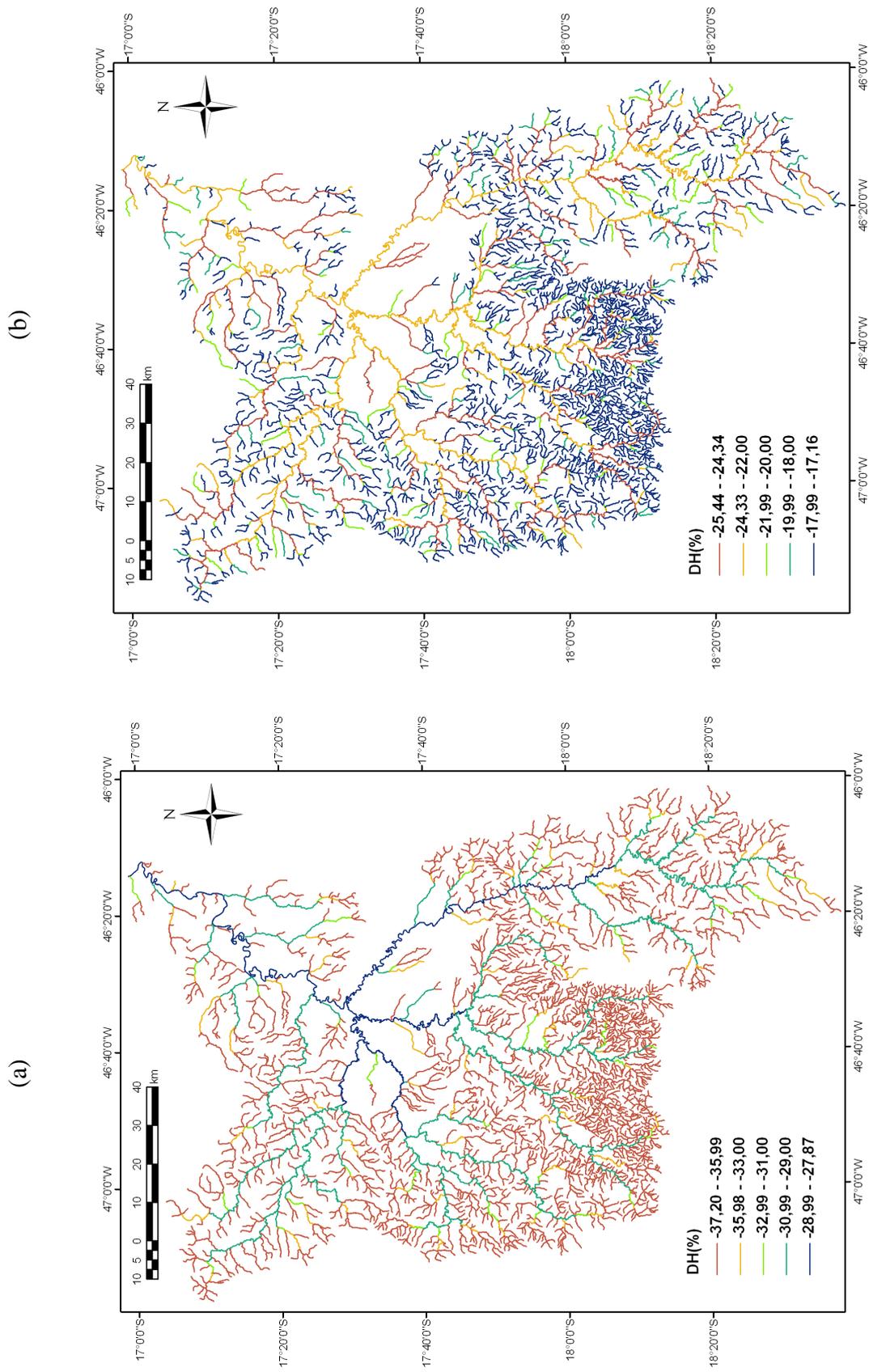


Figura 27 – Diferença relativa entre a  $Q_{95}$  de setembro e a  $Q_{95}$  anual (a) e diferença relativa entre a  $Q_{95}$  de outubro e a  $Q_{95}$  anual (b).

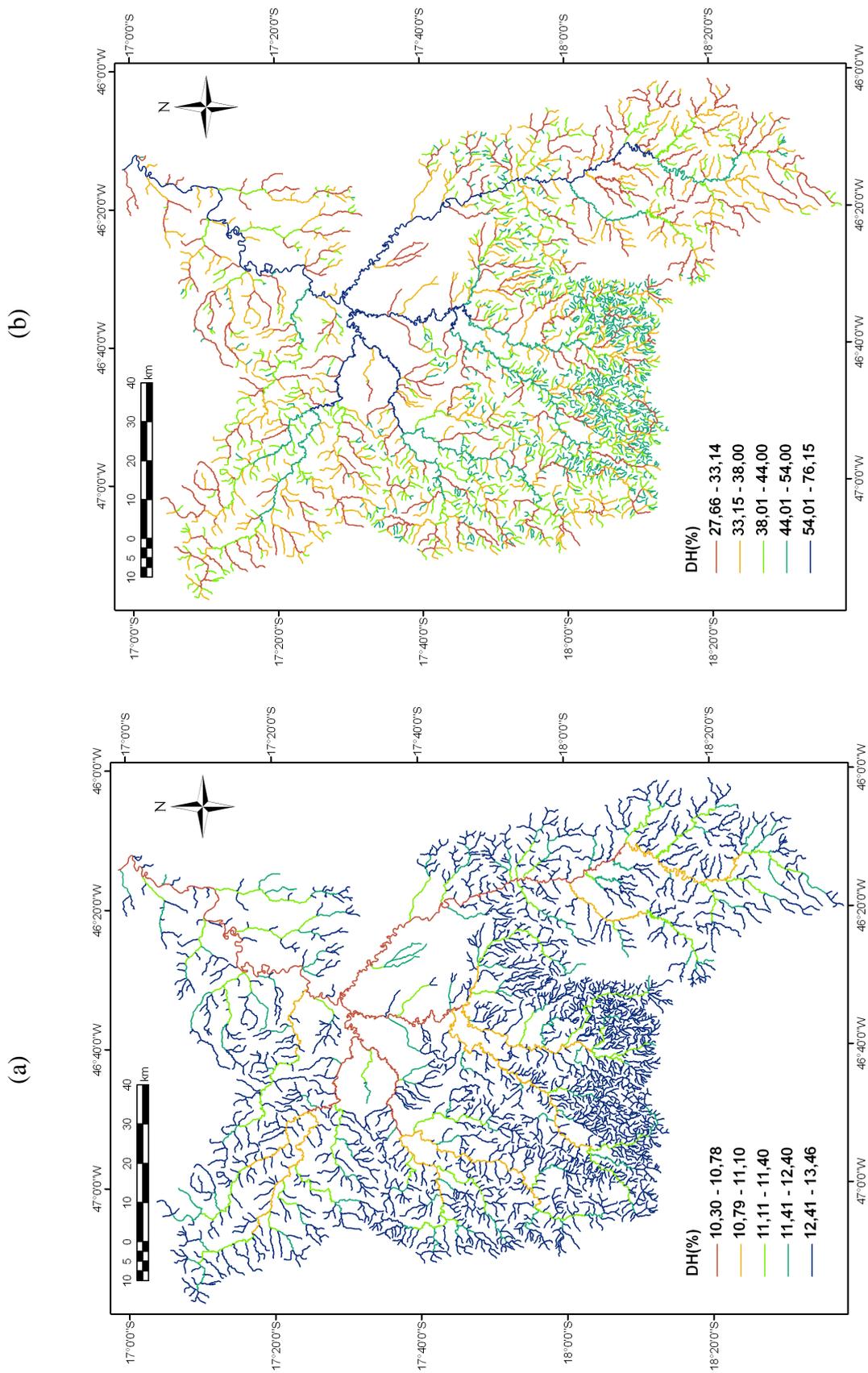


Figura 28 – Diferença relativa entre a  $Q_{95}$  anual de novembro e a  $Q_{95}$  anual (a) e diferença relativa entre a  $Q_{95}$  de dezembro e a  $Q_{95}$  anual (b).

Na Figura 29 são apresentadas curvas de frequência relacionando as diferenças relativas ( $DH_{\%}$ ) entre as  $Q_{95}$  mensais e a  $Q_{95}$  anual com sua frequência de ocorrência nos trechos da hidrografia.

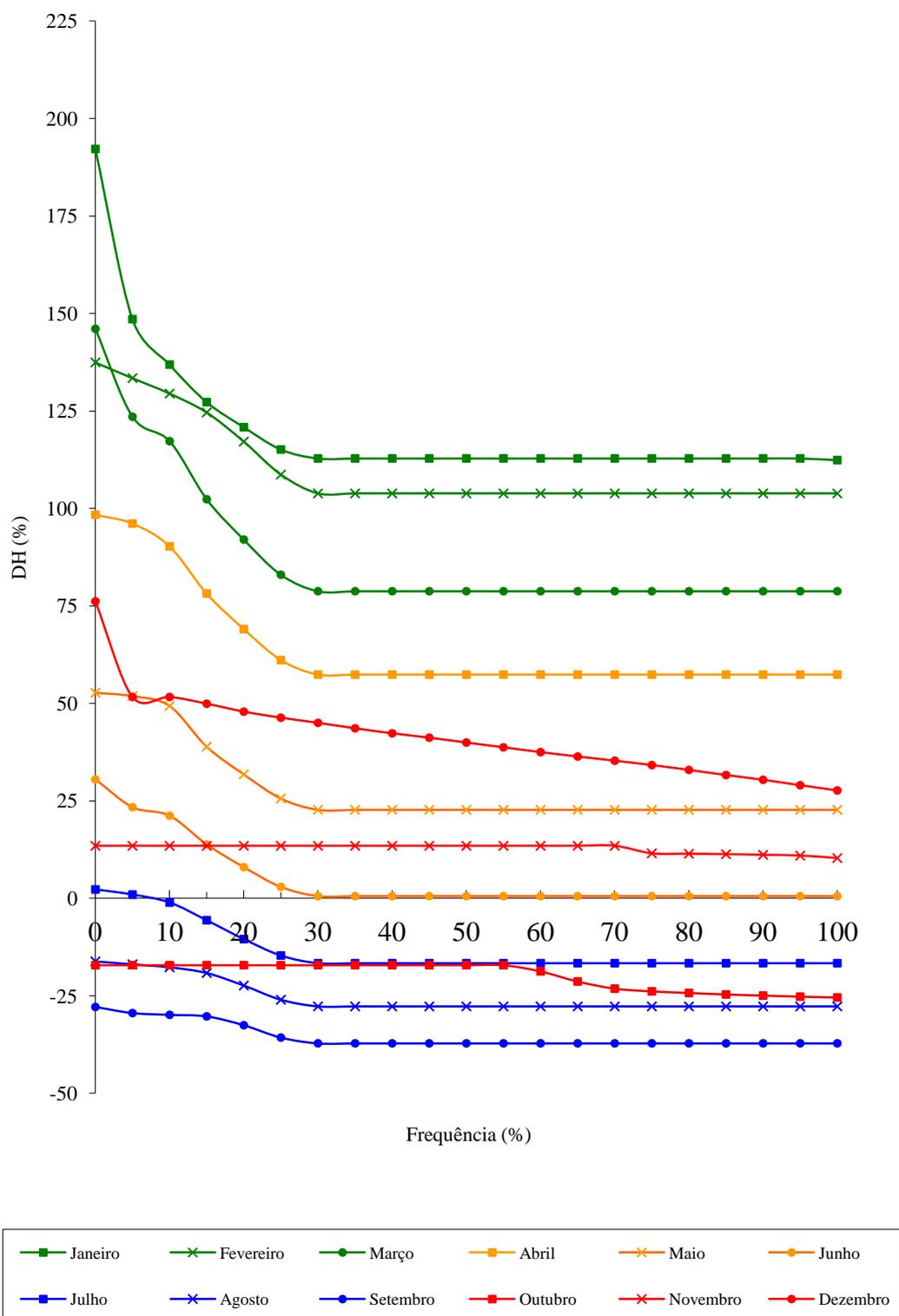


Figura 29 – Frequência de ocorrência das diferenças relativas entre as  $Q_{95}$  mensais e a  $Q_{95}$  anual considerando os trechos da hidrografia da bacia de estudo.

De acordo com a Figura 29, os maiores valores de  $DH_{95}$  para a  $Q_{95}$  ocorreram nos meses do primeiro trimestre do ano (curvas de cor verde), variando de 103 a 193%. No segundo trimestre (curvas de cor laranja), a  $DH_{95}$  variou de 0 a 98%. No terceiro trimestre (curvas de cor azul) a  $DH_{95}$  foi negativa, exceto em 10% dos trechos no mês de julho, caracterizando uma maior restrição do uso da água neste trimestre quando da substituição do critério de outorga anual pelo mensal. Neste trimestre os valores de  $DH_{95}$  variaram de - 37 a 2%.

Em outubro, passa a haver uma inversão na tendência de declínio de  $DH_{95}$  que vinha ocorrendo ao longo do ano, mas todo este mês também apresenta valores negativos de  $DH_{95}$ , que variaram de -25 a -17%.

A partir de novembro, os valores de  $DH_{95}$  passam a ser positivos, variando de 10 a 13%, e em dezembro os valores de  $DH_{95}$  variaram de 27 a 76%.

Em comparação com a  $DH_{95}$  para  $Q_{7,10}$ , a  $DH_{95}$  referente à  $Q_{95}$  apresentou valores menores, mas mesmo assim, ocorre um aumento expressivo da vazão máxima outorgável baseada no critério da  $Q_{95}$  mensal em boa parte do ano.

Da mesma forma que ocorre na curvas de frequência da  $DH_{95}$  para a  $Q_{7,10}$ , as curvas de frequência referentes à  $Q_{95}$  também apresentaram os patamares caracterizados pelo ajuste simultâneo das vazões mensal e anual.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados permitiram as seguintes conclusões:

- A mudança do critério de 30% da  $Q_{7,10}$  anual para 30% da  $Q_{7,10}$  mensal aumenta expressivamente o volume de água permissível para a outorga;
- O critério de utilização de 70% da  $Q_{95}$  anual é restritivo nos meses de maior disponibilidade hídrica e permissivo nos meses de menor disponibilidade, ocasionando o risco de desabastecimento nestes meses; e
- De uma forma geral, 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 um aumento do risco de desabastecimento, além de conduzir a uma maior proximidade entre os critérios baseados na  $Q_{7,10}$  e na  $Q_{95}$ .

## 6. REFERÊNCIAS

ANA — AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país. Diretrizes e prioridades. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/pnrh\\_novo/documentos/07%20Outorgas/VF%20Outorga.pdf](http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/07%20Outorgas/VF%20Outorga.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2009.

BRASIL. Decreto No 24.643, de 10 de julho de 1934. In: *A necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos*. M.M.A., IBAMA. Brasília, DF. 1994.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988. 292p.

BRASIL. *Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos: Lei Federal No. 9433, de 8 de janeiro de 1997*. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. 64p.

BOF, L. H. N.; PRUSKI F.F.; SOUZA, W. A. M. Impacto do uso de diversos critérios para a concessão de outorga. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande - MS. *Anais...* Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. 1 CD.

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

ESLAMIAN, S., BIABANAKI, M. Low flow regionalization modeling. *International Journal of Ecological Economics & Statistics*, set./nov. 2008. Disponível em: <[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_6925/is\\_12/ai\\_n28516608/](http://findarticles.com/p/articles/mi_6925/is_12/ai_n28516608/)>. Acesso em: 24 mar. 2010.

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. (Org.). *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987. p. 95-210 (Coleção ABRH).

GETIRANA, A. C. V. *Análise de soluções de conflitos pelo uso da água no setor agrícola através de técnicas de programação linear*. 2005. 140f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ. 2005.

GLEICK, P. H. Water Conflict Chronology. The Pacific Institute. Disponível em: <[www.worldwater.org/conflict.htm](http://www.worldwater.org/conflict.htm)>. Acesso em: 31 de mar. 2010.

HOBAN, J. T. Managing conflict: a guide for watershed partnerships. Disponível em: <[www.ctic.purdue.edu/KYW/Brochures/ManageConflict.html](http://www.ctic.purdue.edu/KYW/Brochures/ManageConflict.html)>. Acesso em: 31 de mar. 2010.

IBIAPINA, A. V.; FERNANDES, D.; CARVALHO, D. C.; OLIVEIRA, E. SILVA; M. C. M.; GUIMARÃES V. Evolução da hidrometria no Brasil. In: Freitas, M. A. V. (Org.). *O estado das águas no Brasil*. Brasília - DF: ANEEL, SIH; MMA, SRH; MME, 1999.

KELMAN, J. Gerenciamento dos recursos hídricos. In: VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1997, Vitória - ES. *Anais...* Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. 1 CD.

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

LI, Z., LIU, W., ZHANG, X., ZHENG, F. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in a agricultural catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology*, v. 377, p.35- 42, 2009.

MOREIRA, M. C. *Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água*. 2006. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. 2006.

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

PEREIRA, J. S. *Análise de critérios de outorga e cobrança pelo uso da água na bacia do Rio dos Sinos, RS*. 1996. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS. 1996.

PLATE, E. J. Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology*, v. 267, p.2-11, 2002.

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

PRUSKI F. F.; 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*, mar./abr. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662007000200011&lng=enptg&nrm=iso&tlng=enptg](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662007000200011&lng=enptg&nrm=iso&tlng=enptg)>.

RAYMOND, P. A., OH, N. H., TURNER, R. E., BROUSSARD, W. Anthropogenically enhanced fluxes of water and carbon from the Mississippi River. *Nature*, v. 451, p.449-452, 2008.

RODRIGUEZ, R. G. *Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: estudo de caso da bacia do Paracatu*. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. 2004.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G.; I. C. C. PEREIRA. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. Brasília, DF: ANEEL/ANA, 2001. 328p.

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

SOUZA FILHO, F.A., CAMPOS, J. N. B. A outorga como instrumento de gestão: estudo de caso. In: Simpósio de recursos hídricos do nordeste, 3., 1996, Salvador. *Anais...* Salvador: ABRH, 1996. p. 327-333.

TIAN, F., LI, H., SIVAPLAN, M. Model Diagnostic Analysis of Seasonal Switching of Runoff Generation Mechanisms in the Blue River Basin, Oklahoma. *Journal of Hydrology*. No prelo.

TOMER, M. D., SCHILLING, K. E. A simple approach to distinguish land-use and climate-change effects on watershed hydrology. *Journal of Hydrology*, v. 376, p.24-33, 2009.

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

## **APÊNDICES**

## APÊNCIDE A

Quadro 1 A – Diagrama de disponibilidade de dados de vazão no período de 1960 a 1985 nas estações fluviométricas utilizadas no estudo

Cód. da Estação	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	
42250000																											
42251000																											
42255000																											
42257000																											
42290000																											
42395000																											

Quadro 2 A – Diagrama de disponibilidade de dados de vazão no período de 1986 a 2010 nas estações fluviométricas utilizadas no estudo

Cód. da Estação	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
42250000																										
42251000																										
42255000																										
42257000																										
42290000																										
42395000																										

Legenda:  Anos com mais de 95% dos dados

## APÊNCIDE B

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

	42250000	42251000	42255000	42257000	42290000	42395000
Anual	1,25	3,2	0,51	2,96	11,4	22,1
Janeiro	4,07	13,4	1,41	13,45	38,23	65,91
Fevereiro	4,18	12,64	1,45	13,14	42,92	54,35
Março	3,89	17,14	1,5	14,13	43,7	76,72
Abril	3,55	12,92	1,39	11,61	34,45	61,14
Maiο	3,06	10,75	1,14	8,88	28,59	50,26
Junho	2,49	8,17	0,96	7,05	22,46	41,37
Julho	2,01	6,66	0,79	5,87	18,54	34,59
Agosto	1,71	5,08	0,64	4,33	15,01	28,32
Setembro	1,37	4,22	0,55	3,7	12,51	24,68
Outubro	1,36	3,8	0,56	3,5	11,82	23,4
Novembro	1,52	3,6	0,63	3,12	10,11	19,5
Dezembro	1,88	4,75	0,67	5,19	21,29	41,13

Tabela 2B – Valores de  $Q_{95}$  ( $m^3s^{-1}$ ) mensais e anual para cada estação fluviométrica

	42250000	42251000	42255000	42257000	42290000	42395000
Anual	1,84	5,24	0,68	4,69	16,34	31,52
Janeiro	3,92	14,67	1,61	14,43	46,75	82,59
Fevereiro	3,75	11,73	1,72	11,02	34,39	66,05
Março	3,07	13,45	1,64	12,77	38,43	71,93
Abril	2,74	10,32	1,51	11,77	31,42	53,90
Maiο	2,26	8,62	1,11	8,27	24,93	42,40
Junho	1,85	6,44	0,93	6,71	20,06	34,82
Julho	1,51	5,35	0,80	4,85	16,24	29,36
Agosto	1,33	4,17	0,62	3,89	13,9	24,19
Setembro	1,15	3,81	0,51	3,43	11,34	23,19
Outubro	1,52	3,91	0,51	3,19	12,51	26,37
Novembro	2,09	5,55	0,76	5,14	18,40	35,05
Dezembro	2,79	7,32	0,93	8,53	27,9	54,35

Tabela 3B – Coeficientes de determinação obtidos em bases mensal e anual, pelo ajuste de regressão dos modelos linear e potencial para a  $Q_{7,10}$ , utilizando três variáveis independentes

Variável	Área		$P_{eq}$		$P_{eq750}$	
	Linear	Potencial	Linear	Potencial	Linear	Potencial
Anual	0,992	0,987	0,992	0,986	0,991	0,985
Jan	0,996	0,986	0,996	0,985	0,996	0,985
Fev	0,969	0,983	0,970	0,983	0,971	0,983
Mar	0,993	0,986	0,993	0,987	0,993	0,988
Abr	0,994	0,989	0,994	0,990	0,994	0,990
Mai	0,995	0,987	0,995	0,988	0,995	0,988
Jun	0,994	0,989	0,994	0,990	0,993	0,989
Jul	0,993	0,991	0,993	0,991	0,993	0,991
Ago	0,993	0,988	0,993	0,988	0,993	0,987
Set	0,990	0,990	0,990	0,990	0,989	0,990
Out	0,990	0,990	0,989	0,989	0,989	0,989
Nov	0,990	0,982	0,990	0,981	0,989	0,981
Dez	0,993	0,987	0,993	0,986	0,992	0,984

Tabela 4B – Resíduos percentuais obtidos em bases mensal e anual, pelo ajuste estatístico dos modelos linear e potencial para a  $Q_{7,10}$ , utilizando três variáveis independentes

Variável	Área		$P_{eq}$		$P_{eq750}$	
	Linear	Potencial	Linear	Potencial	Linear	Potencial
Anual	-41,702	-21,438	-43,650	-22,145	-45,865	-22,936
Jan	140,335	29,204	136,860	29,319	132,940	29,517
Fev	219,767	30,146	216,112	30,260	211,964	30,455
Mar	141,655	24,649	137,679	24,657	133,188	24,734
Abr	112,698	22,035	109,419	22,098	105,719	22,233
Mai	106,982	23,287	103,616	23,344	99,815	23,473
Jun	72,428	19,554	69,315	19,640	65,807	19,798
Jul	64,515	18,319	61,399	18,408	57,888	18,571
Ago	35,877	-21,113	32,760	-21,855	29,249	-22,685
Set	-24,867	-17,917	-26,846	-18,694	-29,096	-19,563
Out	-29,994	-18,797	-31,862	-19,534	-33,986	-20,359
Nov	-26,902	-22,245	-28,296	-22,880	-29,882	-23,591
Dez	-84,360	-24,895	-88,446	-25,612	-93,035	-26,414

Tabela 5B – Coeficientes das equações de regionalização obtidos para a  $Q_{7,10}$

Variável	Área				$P_{eq}$				$P_{eq750}$			
Modelo	Linear		Potencial		Linear		Potencial		Linear		Potencial	
Coeficiente	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
Anual	-0,0417	0,0016	0,0040	0,8937	-0,0541	0,0366	0,0654	0,8904	-0,0680	0,0788	0,1316	0,8864
Jan	2,2029	0,0048	0,0119	0,9130	2,1609	0,1083	0,2076	0,9099	2,1137	0,2333	0,4232	0,9063
Fev	3,6068	0,0042	0,0142	0,8872	3,5592	0,0941	0,2287	0,8842	3,5053	0,2028	0,4569	0,8806
Mar	2,2431	0,0056	0,0100	0,9491	2,1913	0,1262	0,1952	0,9463	2,1332	0,2719	0,4087	0,9430
Abr	1,8608	0,0044	0,0115	0,9060	1,8215	0,1000	0,1964	0,9031	1,7775	0,2156	0,3980	0,8997
Mai	1,4558	0,0037	0,0098	0,9017	1,4226	0,0825	0,1644	0,8989	1,3854	0,1778	0,3320	0,8955
Jun	0,9144	0,0030	0,0084	0,8932	0,8889	0,0676	0,1370	0,8903	0,8603	0,1457	0,2750	0,8868
Jul	0,6803	0,0025	0,0066	0,8985	0,6594	0,0565	0,1102	0,8955	0,6359	0,1218	0,2221	0,8920
Ago	0,3604	0,0021	0,0055	0,8939	0,3435	0,0465	0,0897	0,8908	0,3246	0,1001	0,1803	0,8872
Set	0,1797	0,0018	0,0044	0,9006	0,1658	0,0403	0,0733	0,8975	0,1501	0,0869	0,1480	0,8938
Out	0,1467	0,0017	0,0048	0,8825	0,1338	0,0382	0,0761	0,8793	0,1194	0,0824	0,1516	0,8755
Nov	0,4495	0,0014	0,0085	0,8001	0,4385	0,0314	0,1046	0,7972	0,4263	0,0677	0,1954	0,7937
Dez	-0,6536	0,0031	0,0034	0,9784	-0,6763	0,0692	0,0729	0,9746	-0,7017	0,1491	0,1566	0,9700

Tabela 6B – Coeficientes de determinação obtidos em bases mensal e anual, pelo ajuste estatístico dos modelos linear e potencial para a  $Q_{95}$ , utilizando três variáveis independentes

Variável	Área		$P_{eq}$		$P_{eq750}$	
Modelo	Linear	Potencial	Linear	Potencial	Linear	Potencial
Anual	0,992	0,988	0,992	0,987	0,991	0,987
Jan	0,998	0,995	0,998	0,995	0,997	0,995
Fev	0,992	0,995	0,992	0,995	0,991	0,994
Mar	0,993	0,996	0,993	0,997	0,993	0,997
Abr	0,995	0,996	0,995	0,996	0,995	0,996
Mai	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
Jun	0,998	0,998	0,997	0,998	0,997	0,998
Jul	0,997	0,998	0,996	0,998	0,996	0,998
Ago	0,999	0,997	0,999	0,997	0,999	0,996
Set	0,987	0,993	0,986	0,993	0,985	0,993
Out	0,983	0,977	0,983	0,976	0,982	0,975
Nov	0,994	0,987	0,993	0,986	0,993	0,985
Dez	0,992	0,987	0,992	0,986	0,991	0,984

Tabela 7B – Resíduos percentuais obtidos em bases mensal e anual, pelo ajuste estatístico dos modelos linear e potencial para a  $Q_{95}$ , utilizando três variáveis independentes

Variável	Área		$P_{eq}$		$P_{eq750}$	
	Linear	Potencial	Linear	Potencial	Linear	Potencial
Anual	-28,655	-22,244	-30,550	-22,971	-32,705	-23,783
Jan	69,550	16,220	65,758	16,316	61,483	16,487
Fev	26,983	-11,961	24,371	-12,770	21,432	-13,676
Mar	47,620	13,349	44,512	13,413	41,012	13,472
Abr	82,345	-13,351	79,748	-13,888	76,822	-14,490
Mai	86,448	-10,599	83,528	9,656	80,233	9,775
Jun	62,238	7,867	59,489	7,888	56,390	7,899
Jul	26,925	7,488	24,252	7,522	21,239	7,549
Ago	27,332	-11,026	24,461	-11,858	21,224	-12,790
Set	-25,853	14,289	-28,009	14,305	-30,461	-14,634
Out	-52,320	-28,703	-54,157	-29,365	-56,245	-30,104
Nov	-32,704	-23,914	-34,566	-24,612	-36,683	-25,393
Dez	-36,348	-24,810	-38,445	-25,519	-40,827	-26,311

Tabela 8B – Coeficientes das equações de regionalização obtidos para a  $Q_{95}$

Variável	Área				$P_{eq}$				$P_{eq750}$			
	Linear		Potencial		Linear		Potencial		Linear		Potencial	
	a	b	c	d	a	b	C	d	a	b	c	d
Anual	-0,1158	0,0039	0,0055	0,9027	0,2072	0,0518	0,0929	0,8995	0,1870	0,1116	0,1880	0,8957
Jan	1,2226	0,0061	0,0097	0,9558	1,1704	0,1376	0,1925	0,9527	1,1119	0,2964	0,4057	0,9489
Fev	1,0040	0,0048	0,0151	0,8747	0,9662	0,1077	0,2334	0,8717	0,9239	0,2320	0,4618	0,8681
Mar	1,1296	0,0052	0,0100	0,9342	1,0863	0,1181	0,1862	0,9314	1,0378	0,2545	0,3856	0,9279
Abr	1,7817	0,0039	0,0118	0,8898	1,7482	0,0887	0,1910	0,8868	1,7107	0,1911	0,3824	0,8833
Mai	1,3019	0,0031	0,0087	0,8967	1,2740	0,0701	0,1440	0,8939	1,2426	0,1510	0,2897	0,8905
Jun	0,8781	0,0026	0,0073	0,8909	0,8562	0,0576	0,1192	0,8879	0,8317	0,1241	0,2389	0,8844
Jul	0,4841	0,0022	0,0062	0,8857	0,4658	0,0485	0,0991	0,8828	0,4454	0,1045	0,1978	0,8794
Ago	0,3586	0,0018	0,0049	0,8903	0,3431	0,0404	0,0798	0,8873	0,3258	0,0870	0,1598	0,8836
Set	0,0620	0,0017	0,0037	0,9099	0,0494	0,0378	0,0639	0,9068	0,0353	0,0815	0,1301	0,9031
Out	-0,1798	0,0019	0,0040	0,9100	-0,1937	0,0431	0,0691	0,9066	-0,2092	0,0929	0,1406	0,9027
Nov	0,1904	0,0026	0,0062	0,9008	0,1703	0,0578	0,1038	0,8975	0,1477	0,1246	0,2098	0,8936
Dez	-0,1158	0,0040	0,0058	0,9563	-0,1450	0,0900	0,1160	0,9526	-0,1774	0,1939	0,2450	0,9482

Tabela 9B – Vazões específicas de imposição para minimização do risco de superestimativa nas regiões de extrapolação das equações

Estimativa	Q <sub>7,10</sub> específica de imposição	Q <sub>95</sub> específica de imposição
Anual	0,002635	0,003887
Janeiro	0,008579	0,008272
Fevereiro	0,008811	0,007923
Março	0,008852	0,006948
Abril	0,007483	0,006117
Maio	0,006450	0,004769
Junho	0,005248	0,003908
Julho	0,004237	0,003240
Agosto	0,003604	0,002809
Setembro	0,002887	0,002441
Outubro	0,002866	0,003220
Novembro	0,003204	0,004410
Dezembro	0,003963	0,005894

## APÊNDICE C

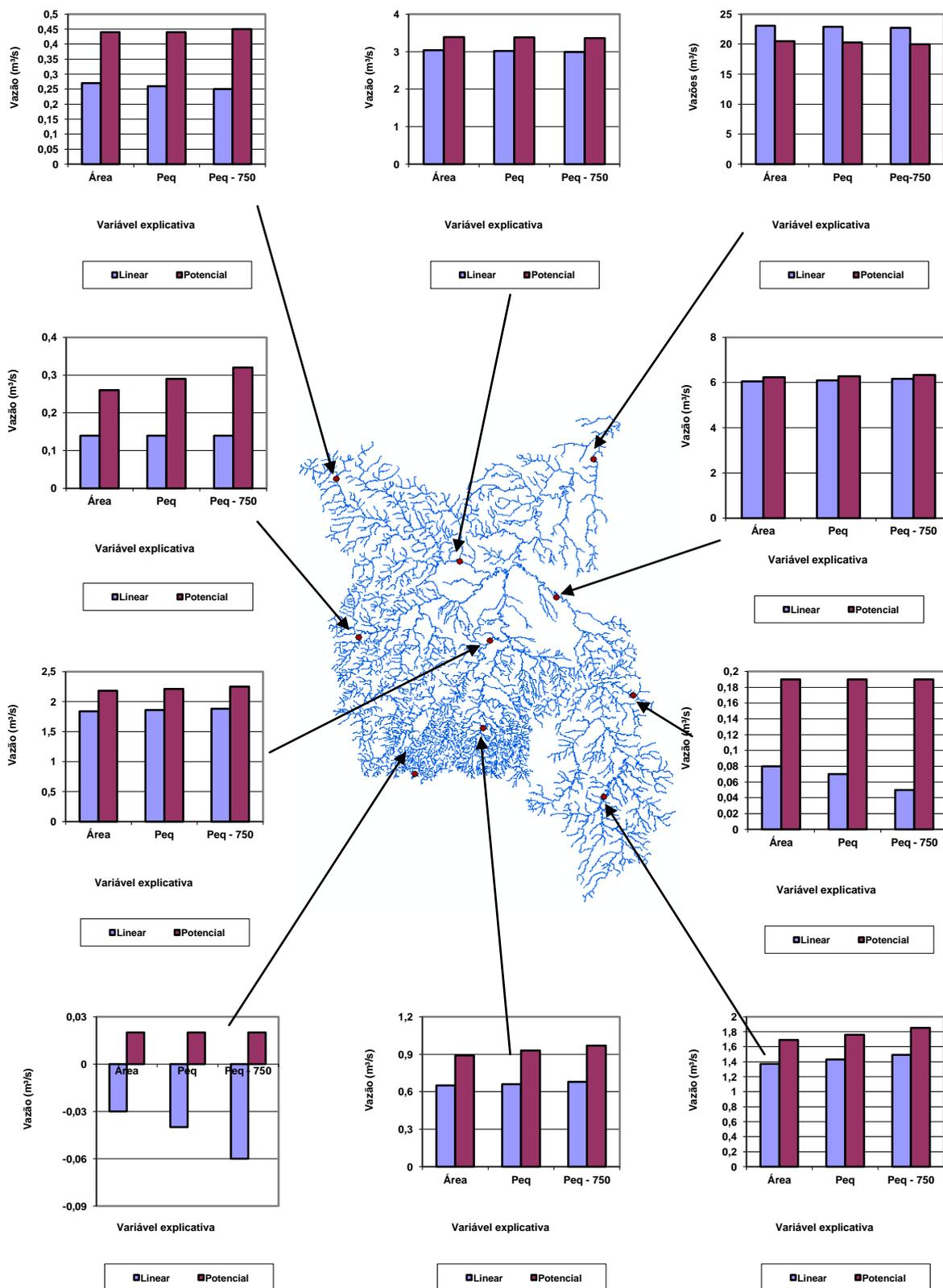


Figura 1C –  $Q_{7,10}$  anual estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

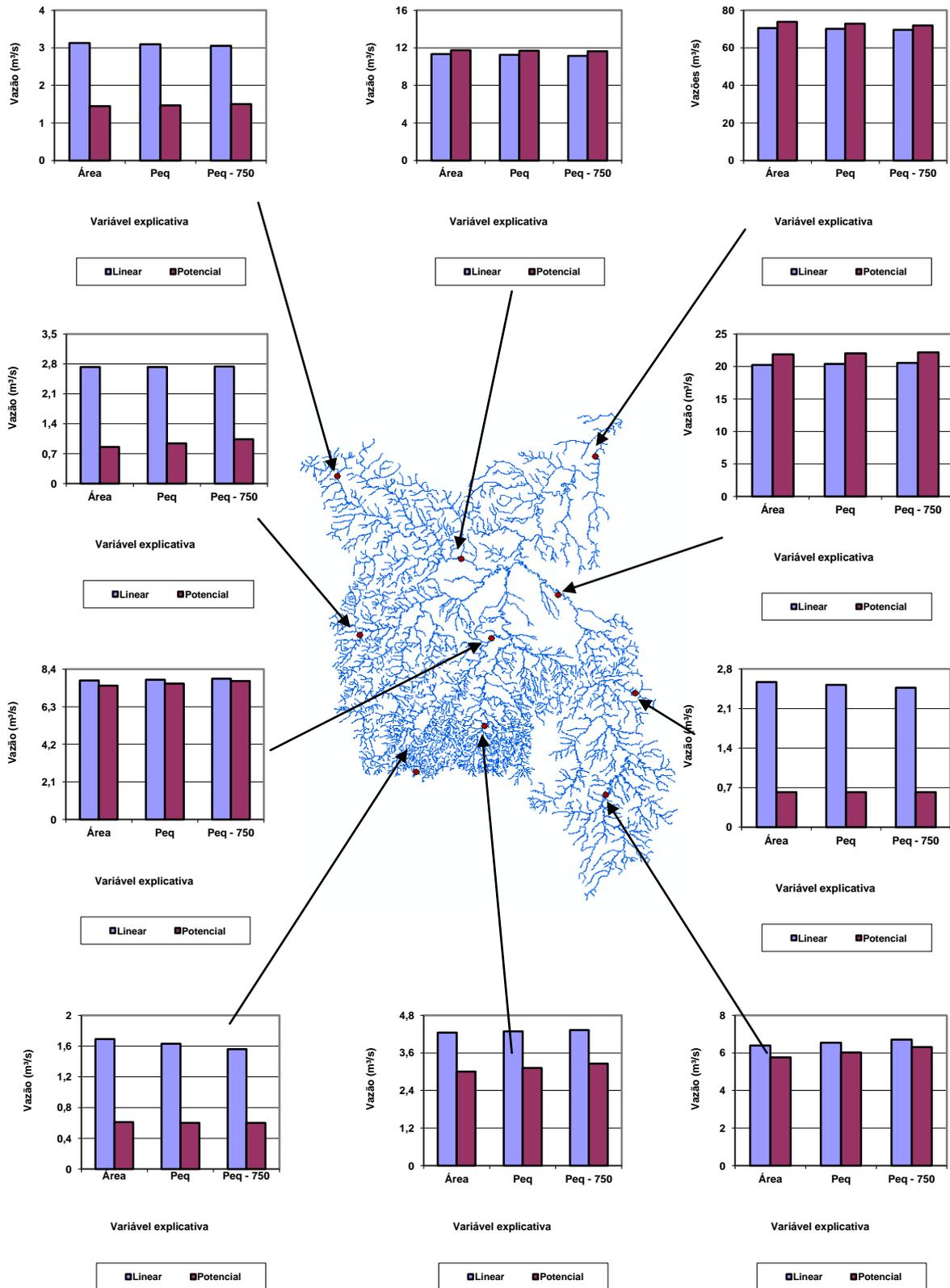


Figura 2 C –  $Q_{7,10}$  de janeiro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

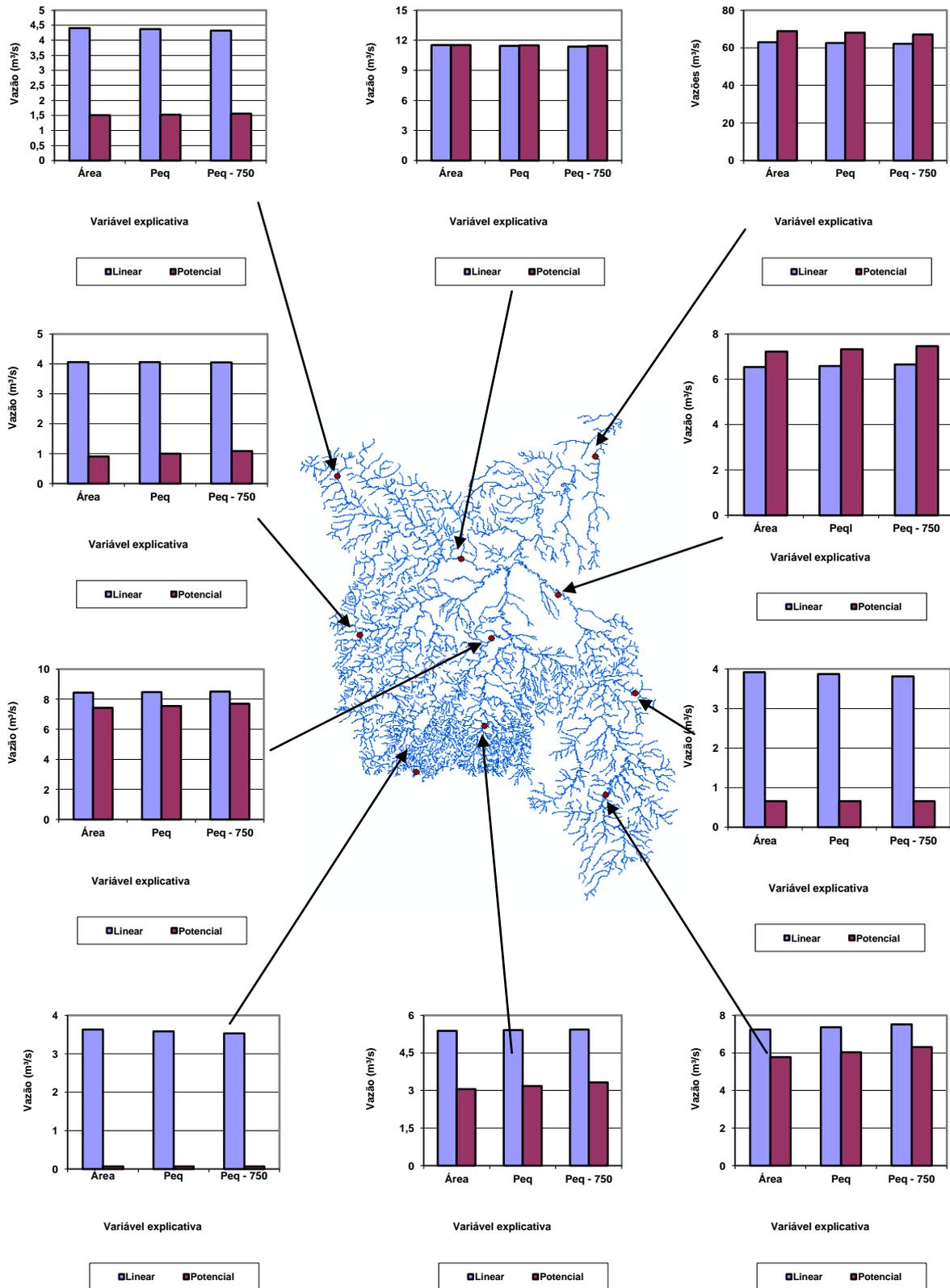


Figura 3 C –  $Q_{7,10}$  de fevereiro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

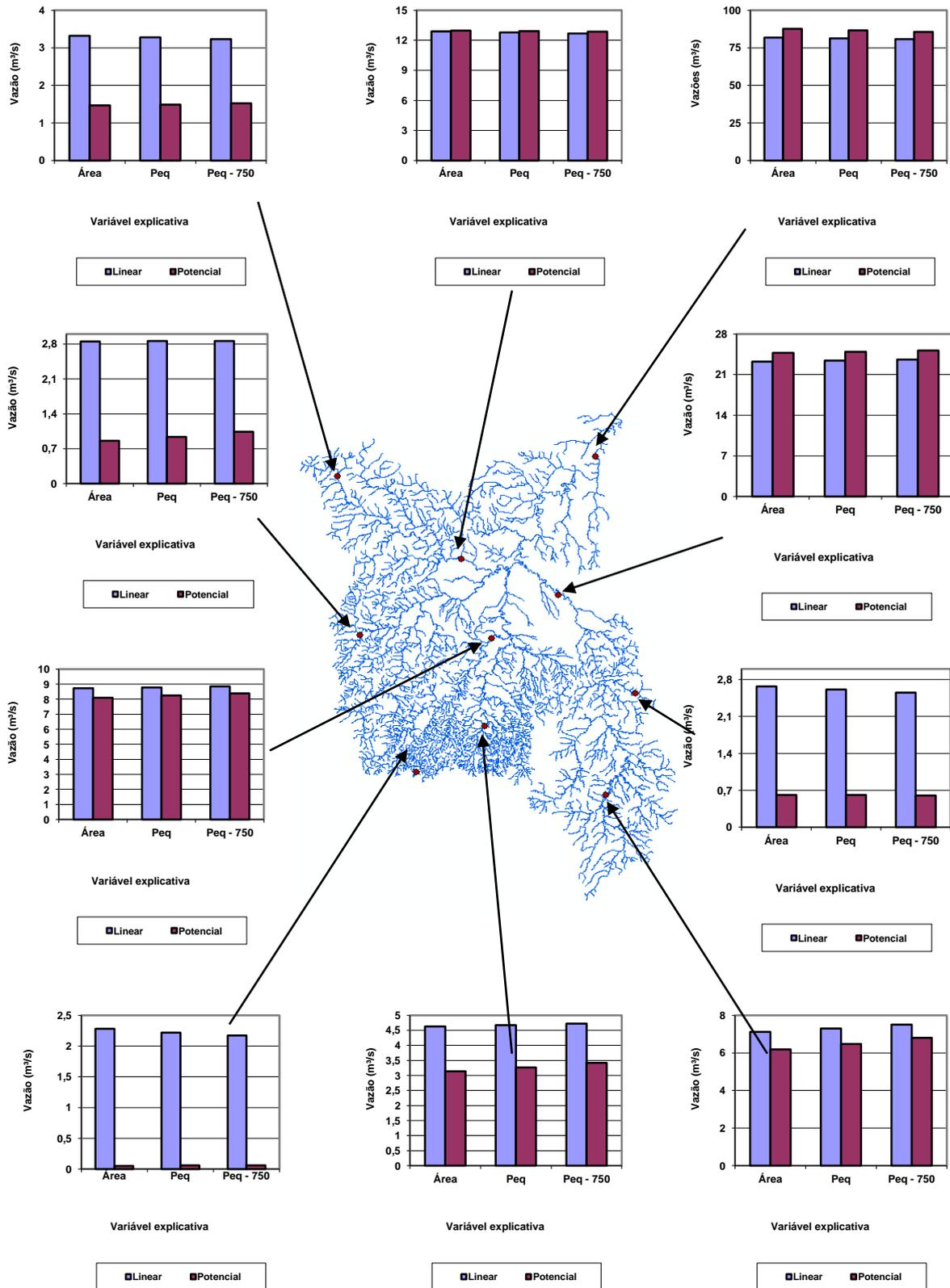


Figura 4 C –  $Q_{7,10}$  de março estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

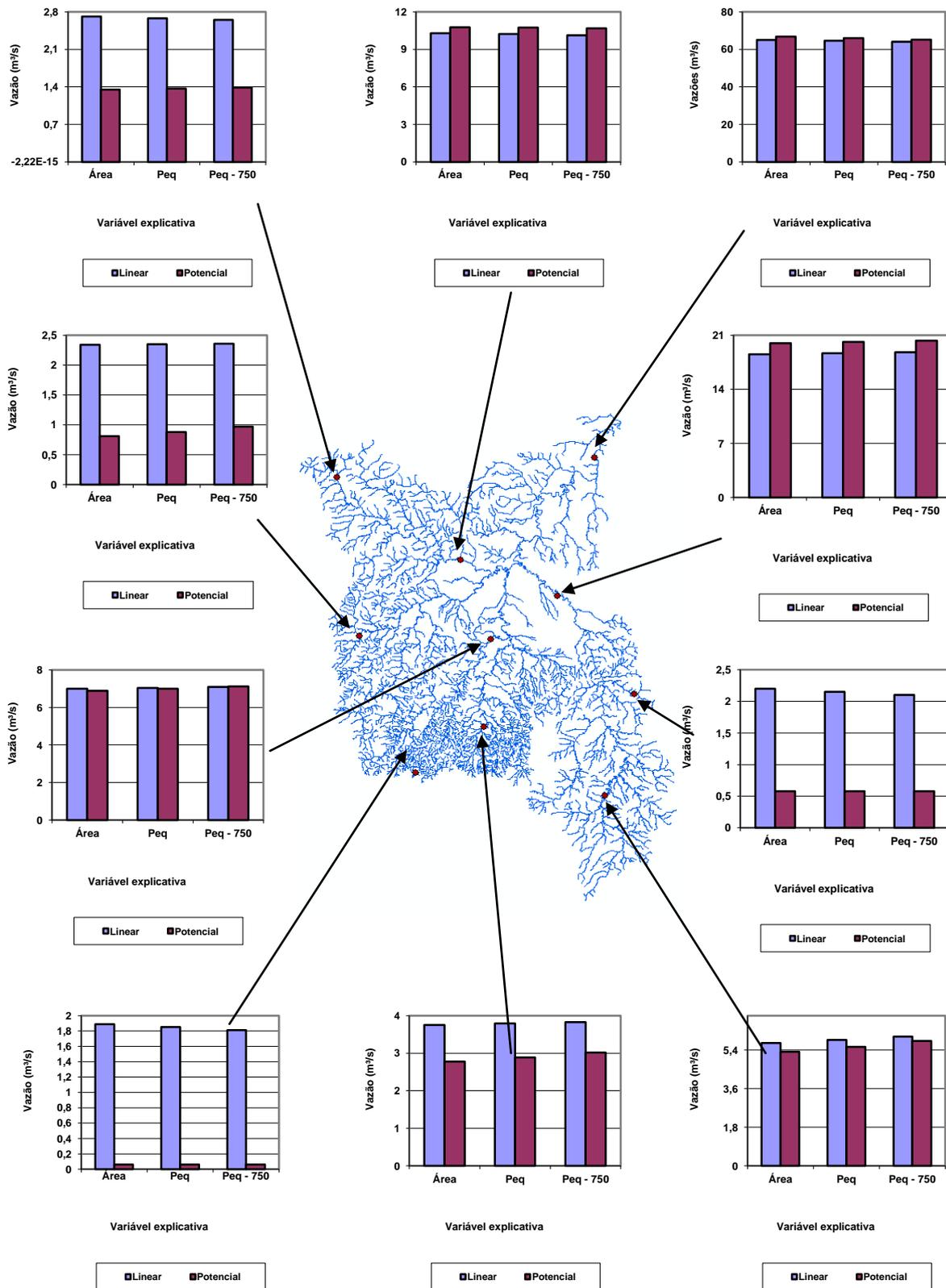


Figura 5 C –  $Q_{7,10}$  de abril estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

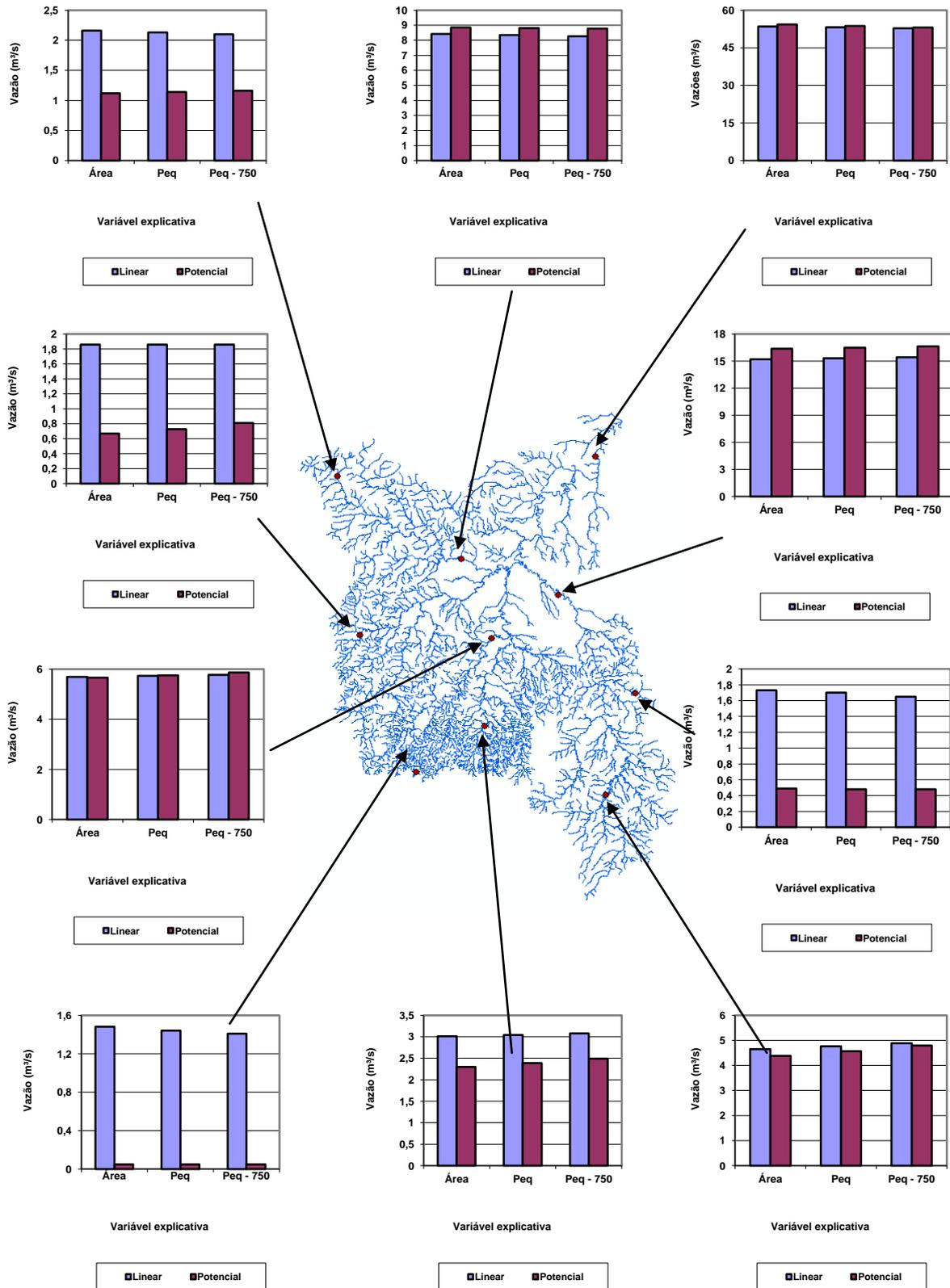


Figura 6 C –  $Q_{7,10}$  de maio estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

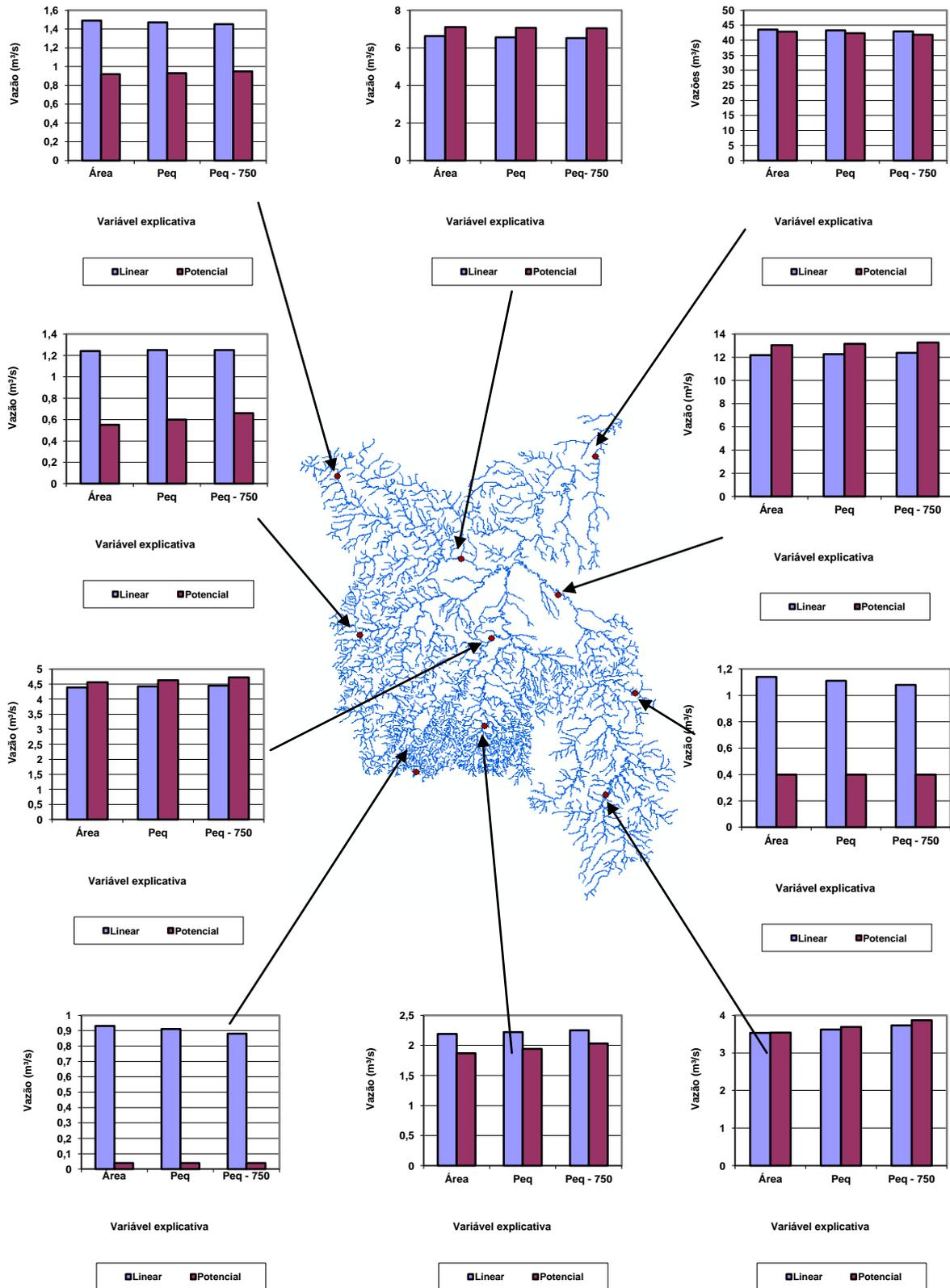


Figura 7 C –  $Q_{7,10}$  de junho estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

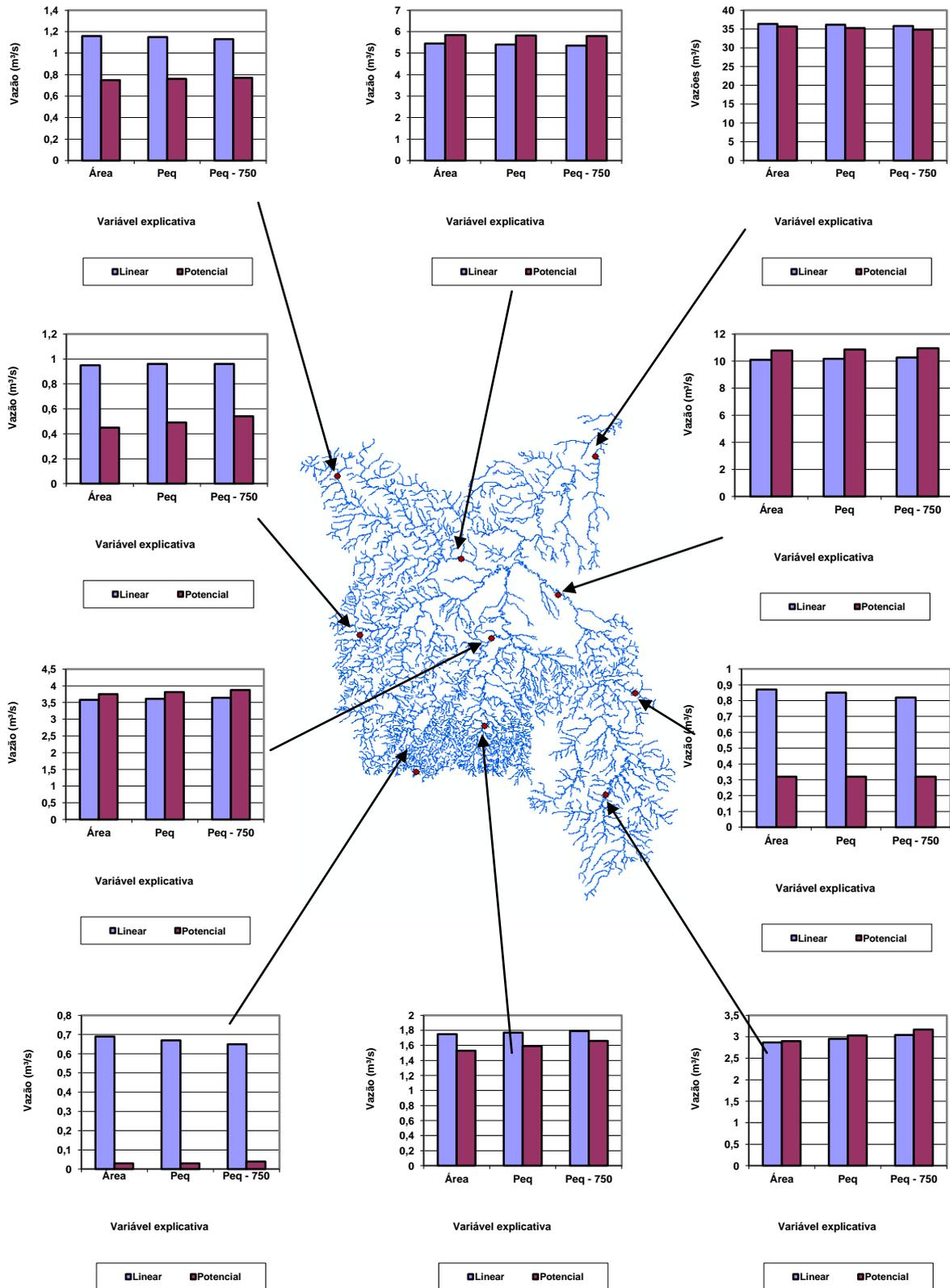


Figura 8 C –  $Q_{7,10}$  de julho estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

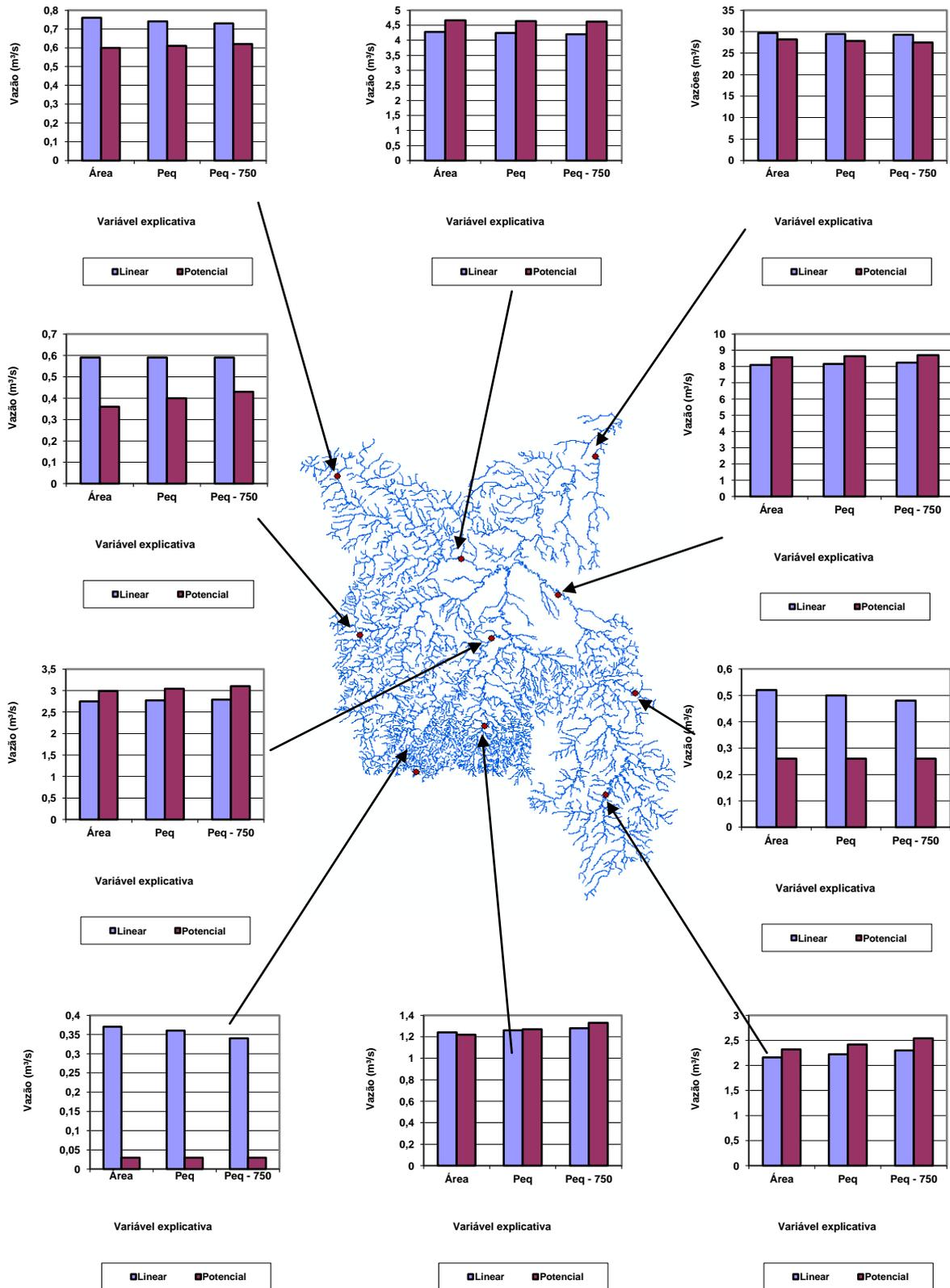


Figura 9 C –  $Q_{7,10}$  de agosto estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

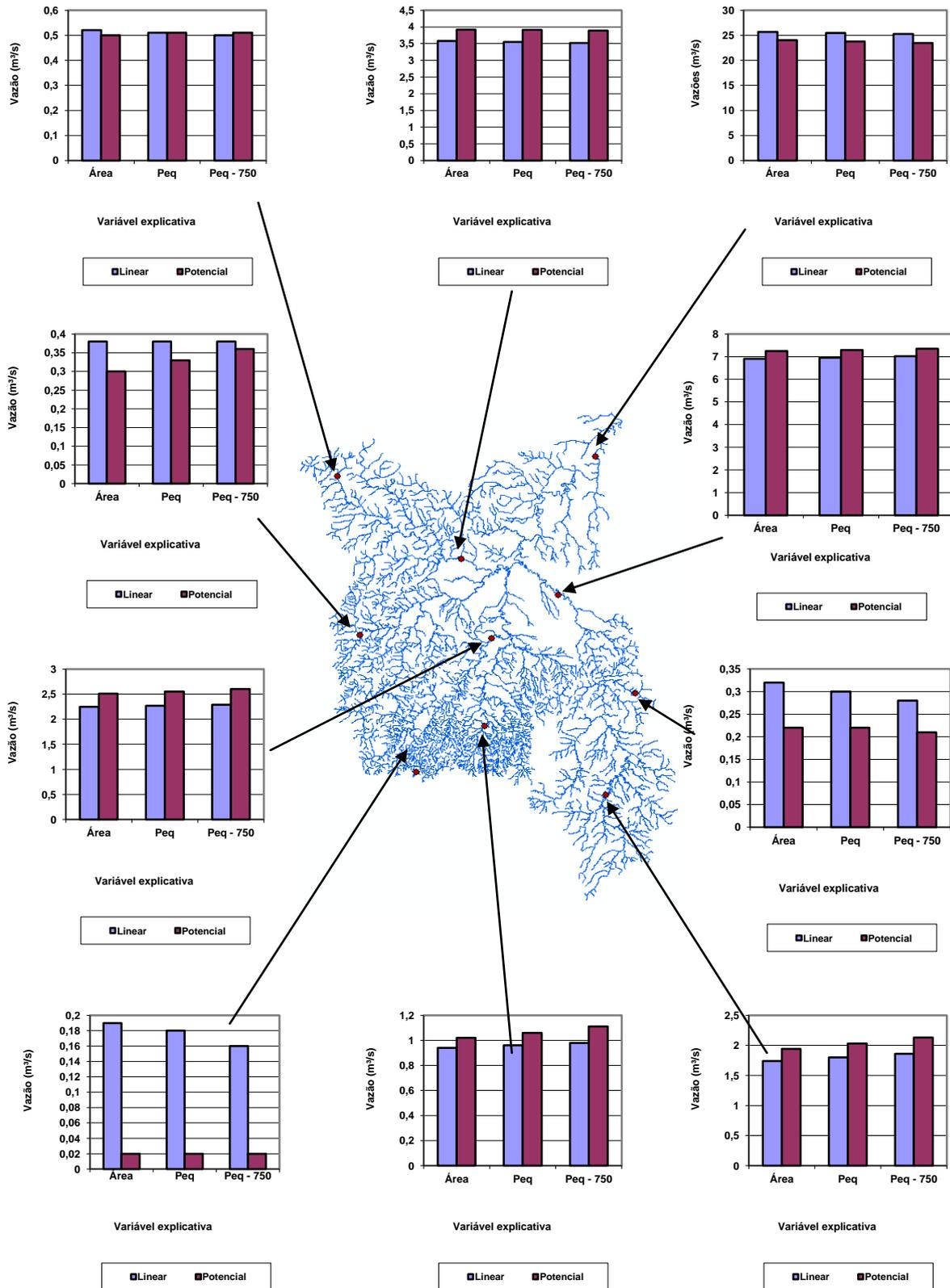


Figura 10 C –  $Q_{7,10}$  de setembro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

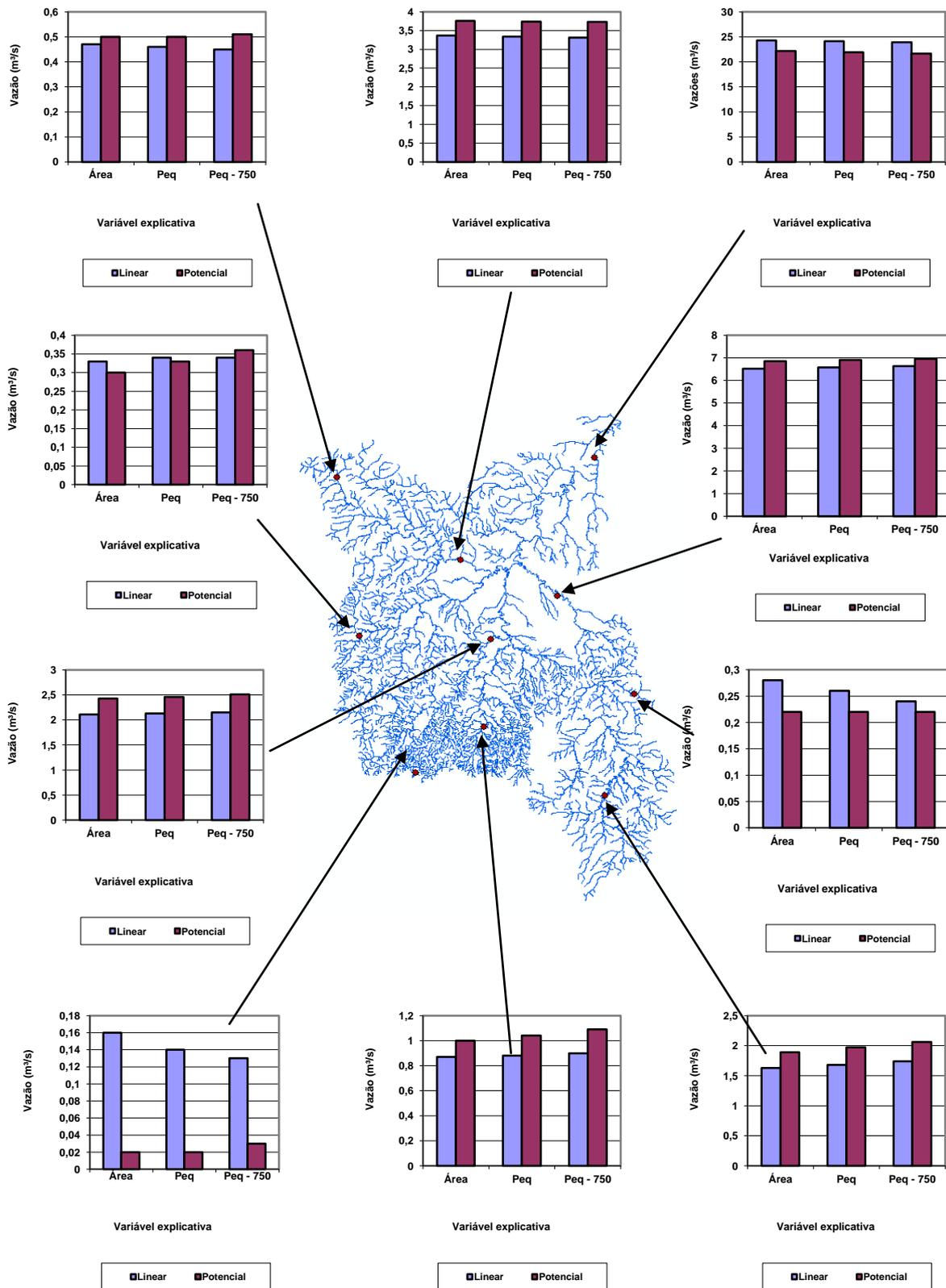


Figura 11 C –  $Q_{7,10}$  de outubro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

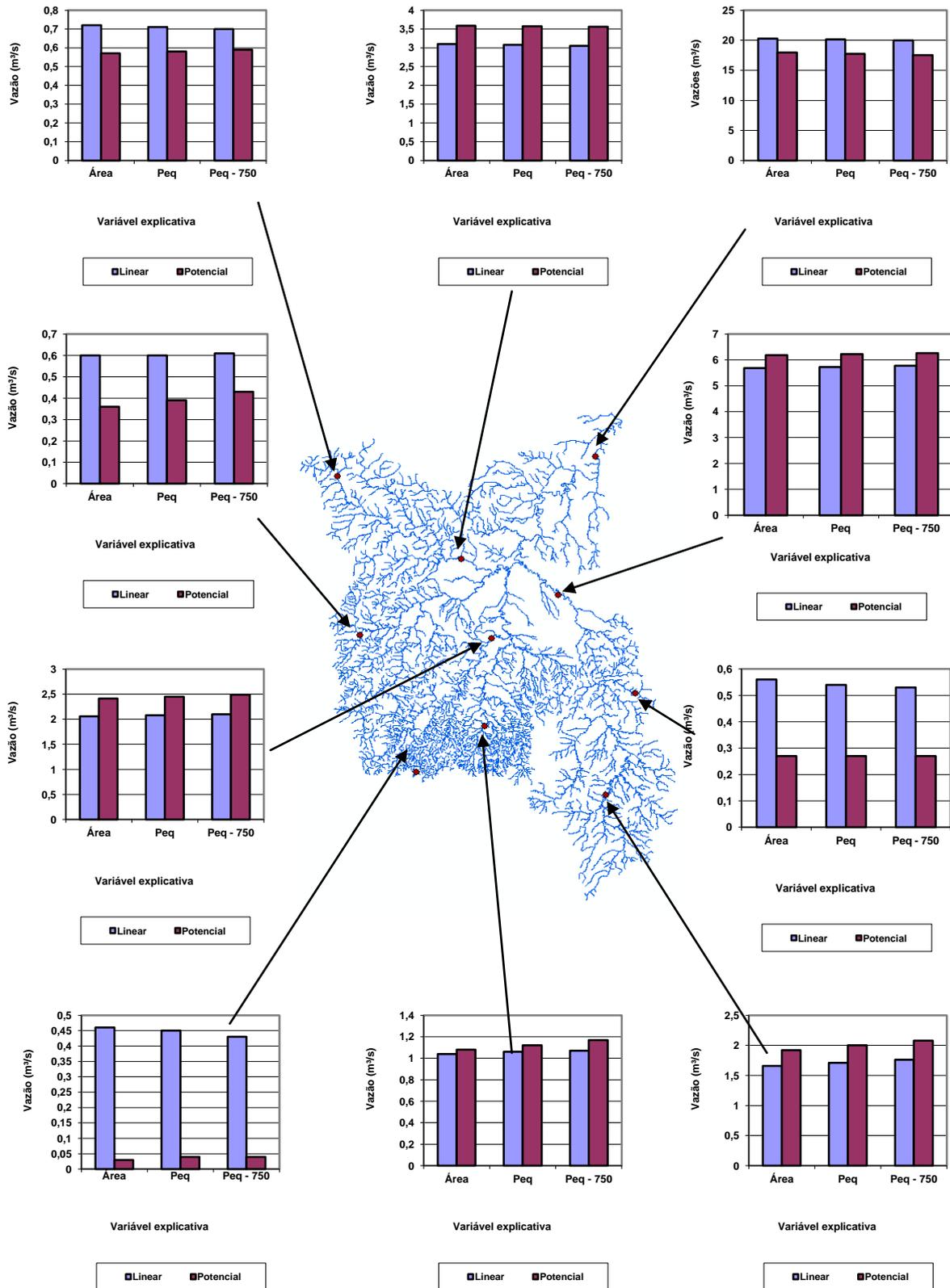


Figura 12 C –  $Q_{7,10}$  de novembro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

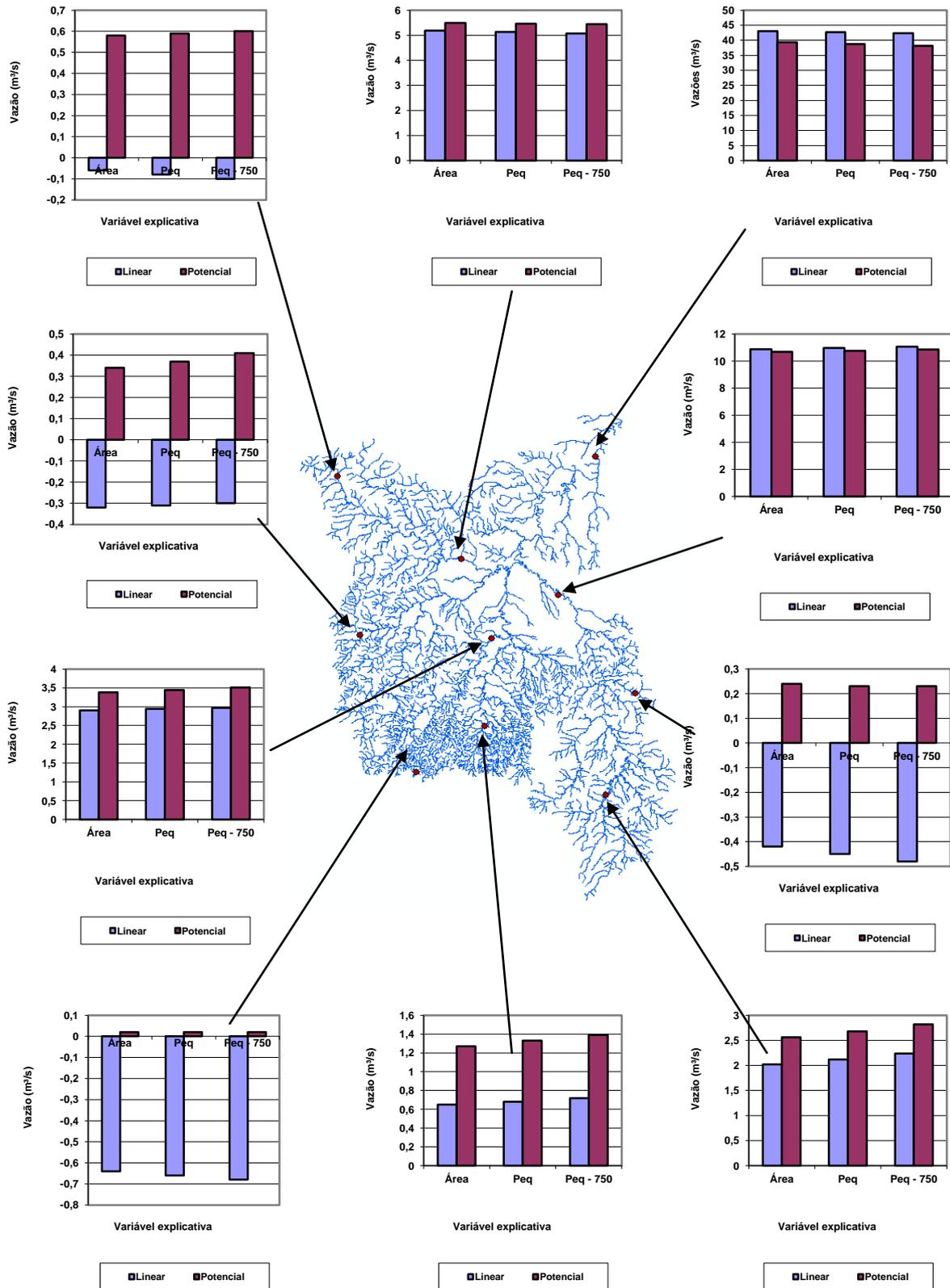


Figura 13 C –  $Q_{7,10}$  de dezembro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

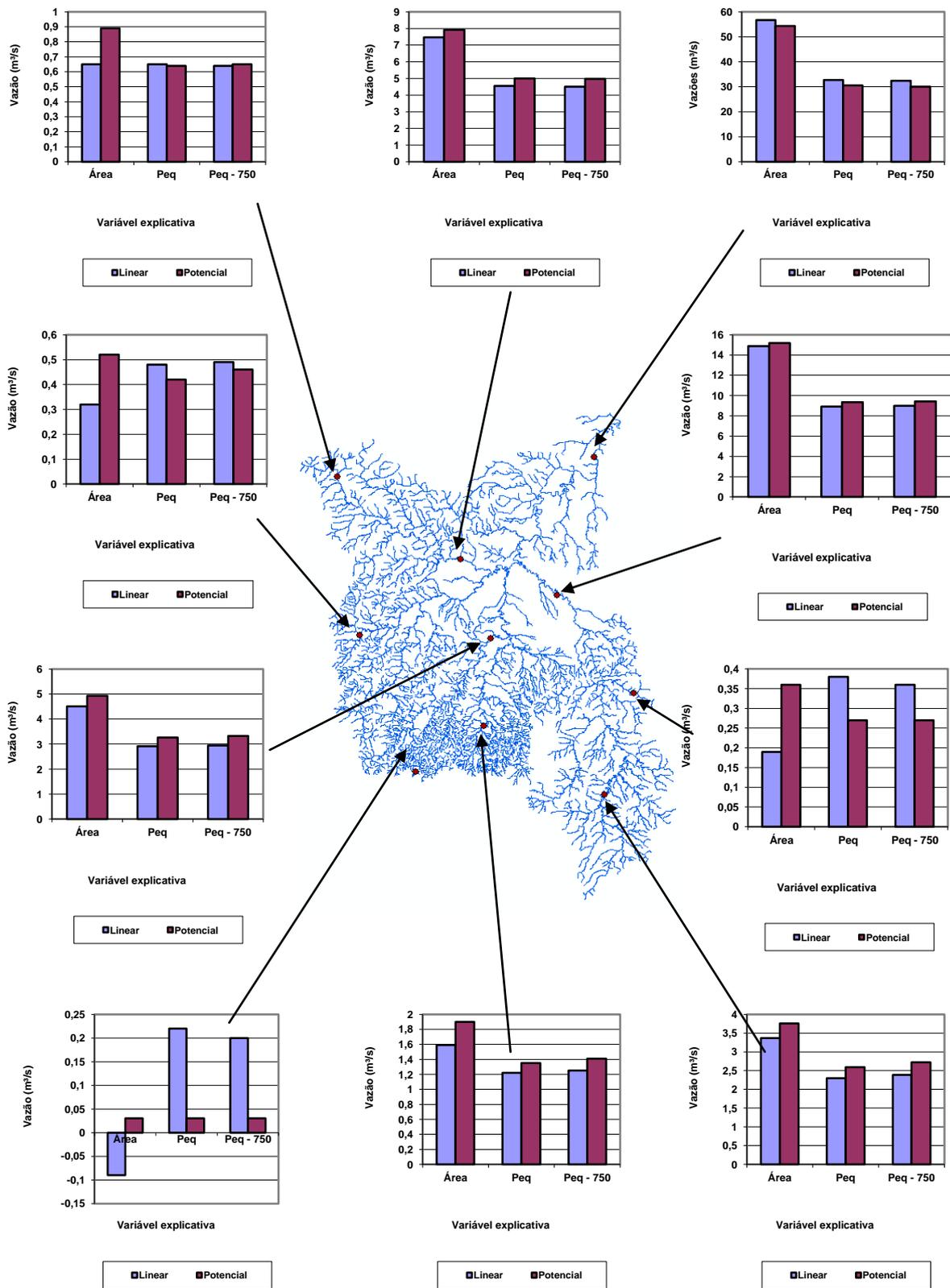


Figura 14 C – Q<sub>95</sub> anuais estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

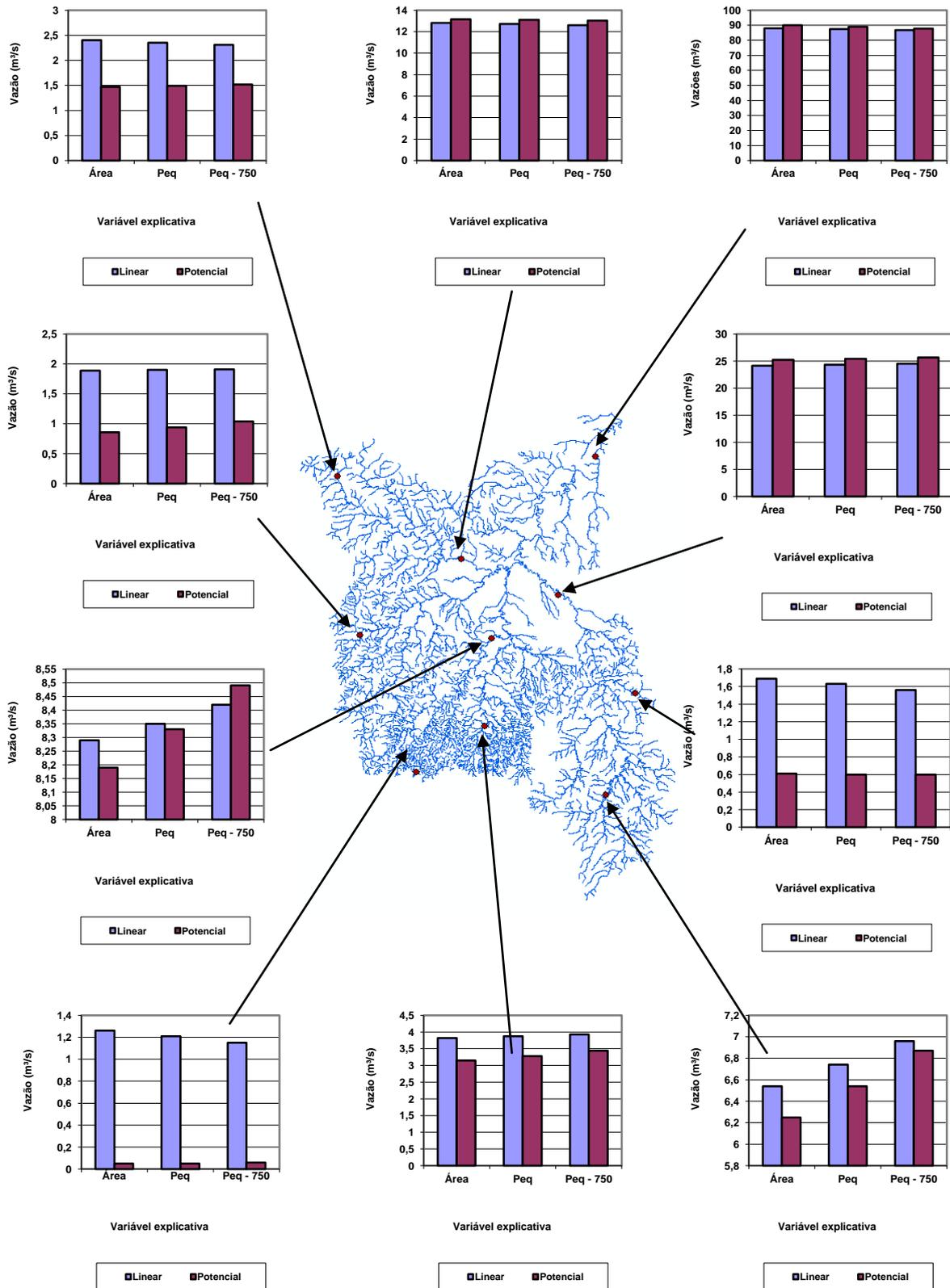


Figura 14 C – Q<sub>95</sub> de janeiro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

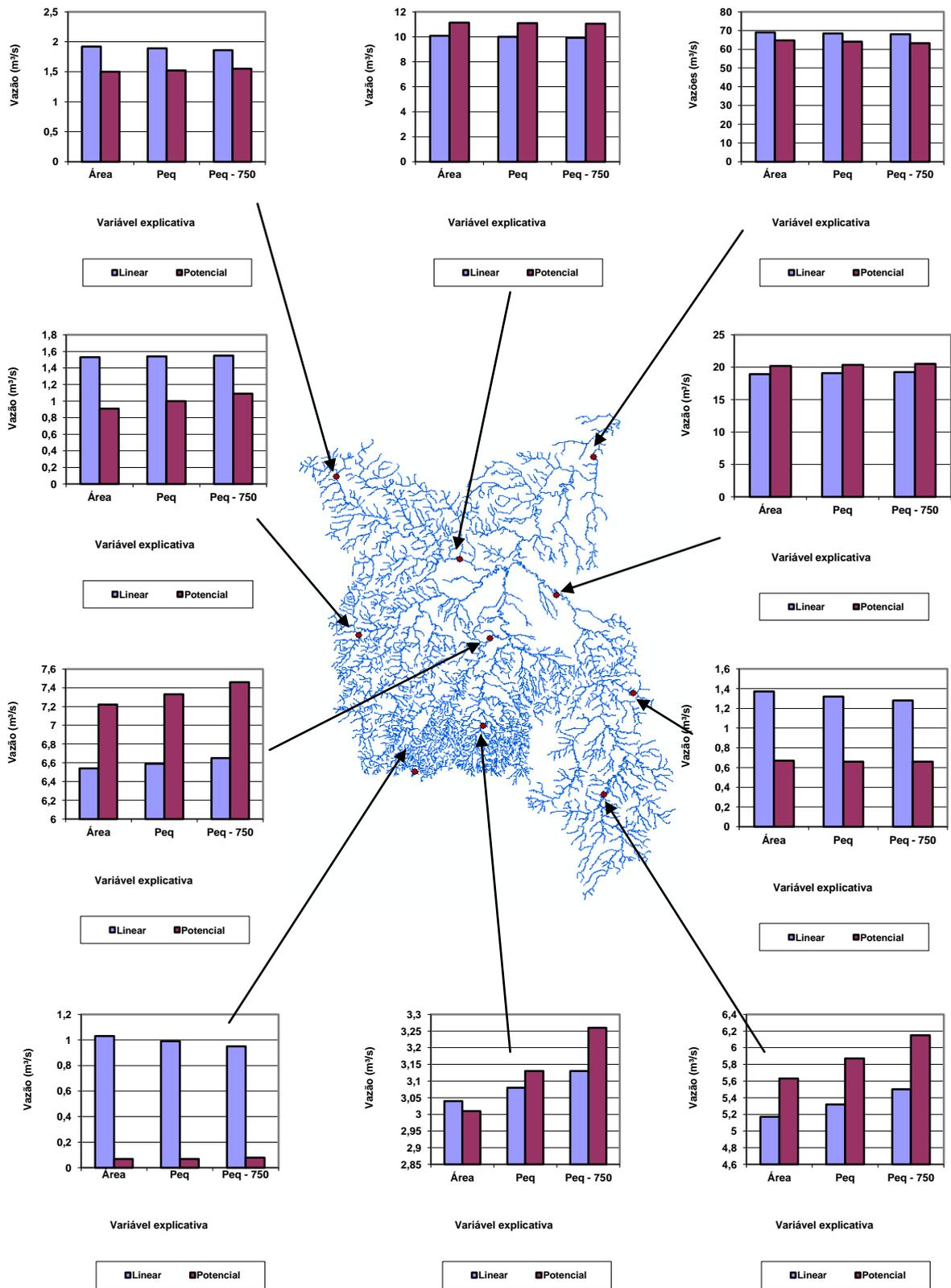


Figura 15 C –  $Q_{95}$  de fevereiro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

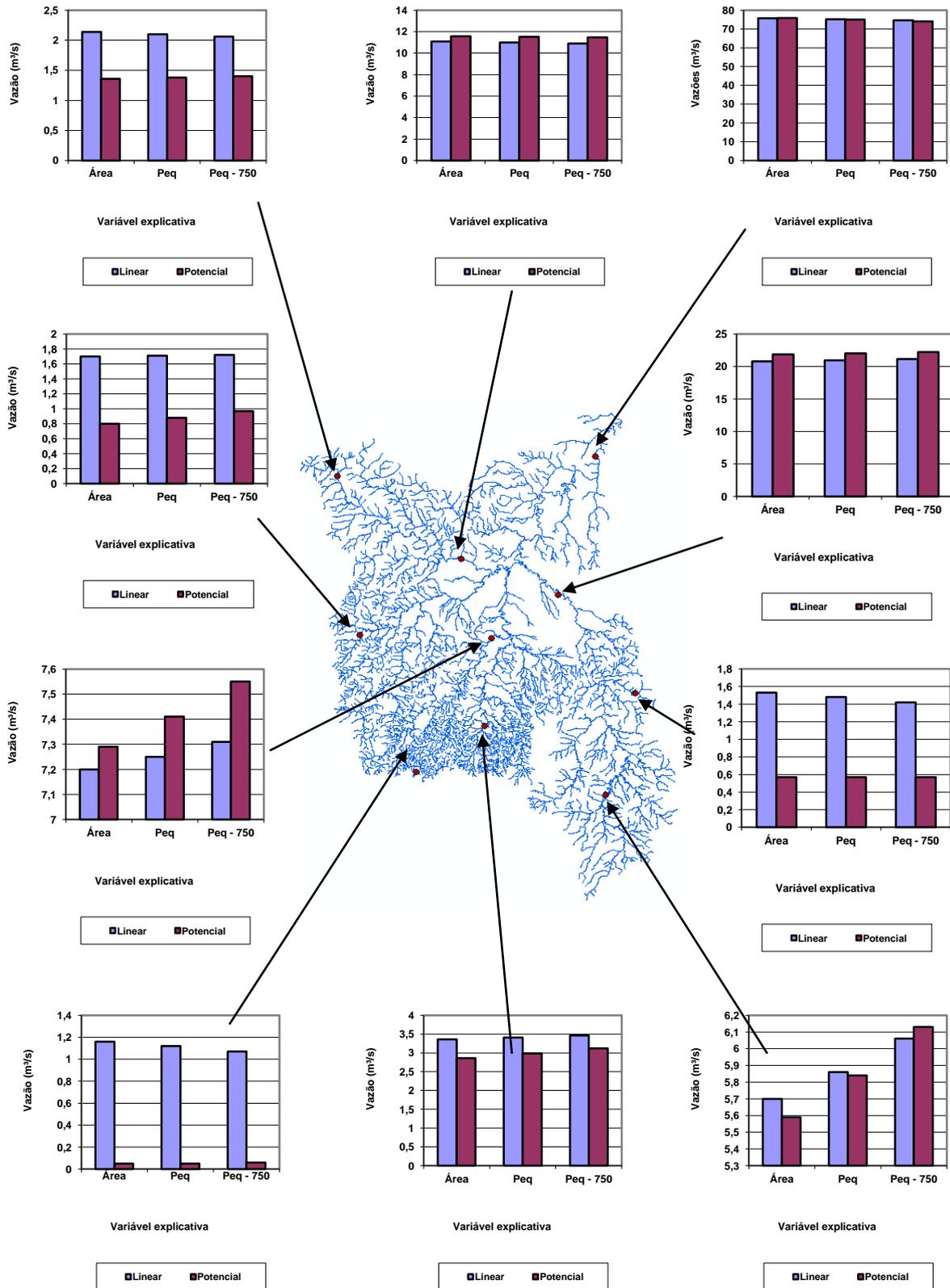


Figura 16 C– Q<sub>95</sub> de março estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

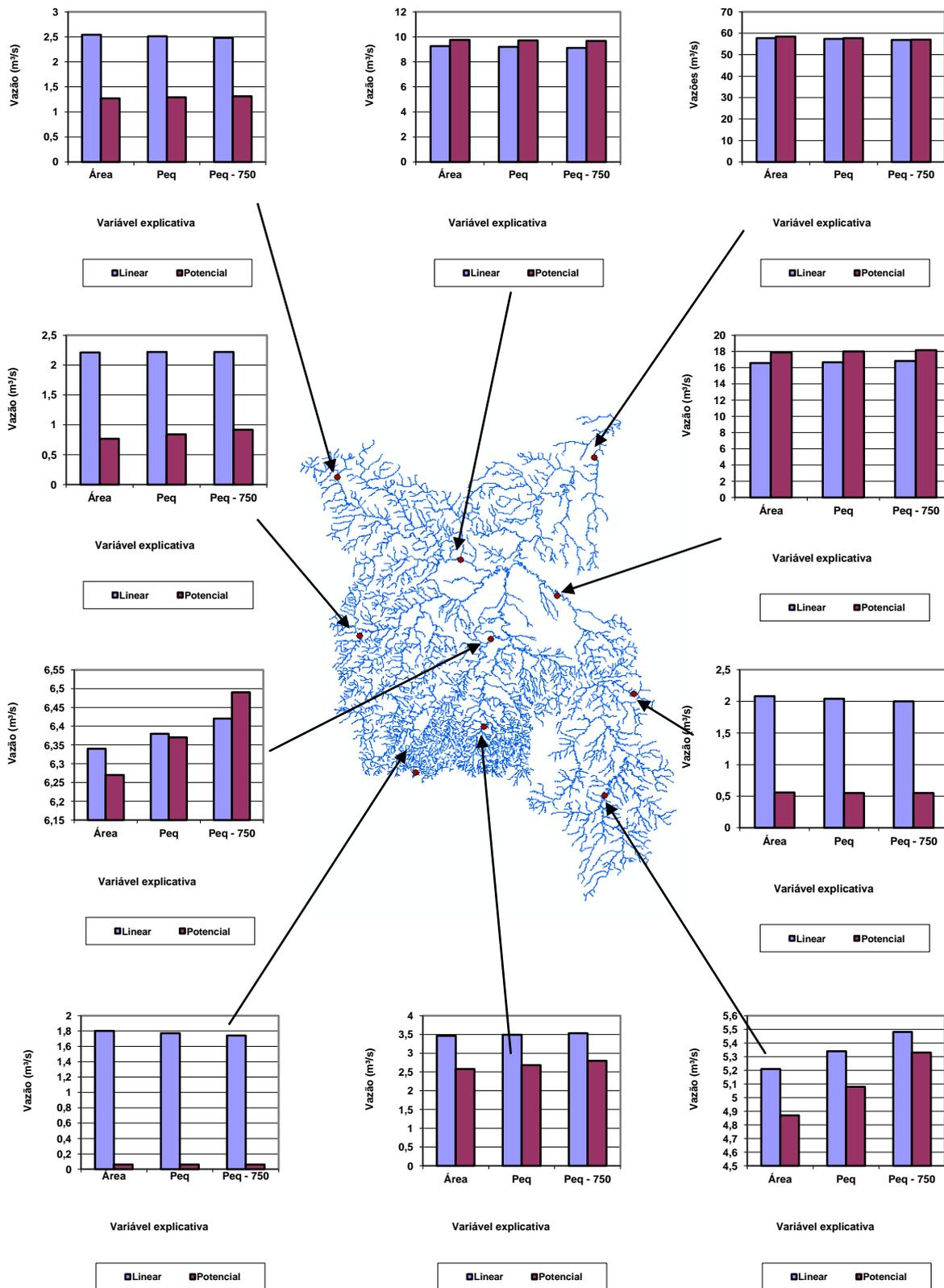


Figura 17 C –  $Q_{95}$  de abril estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

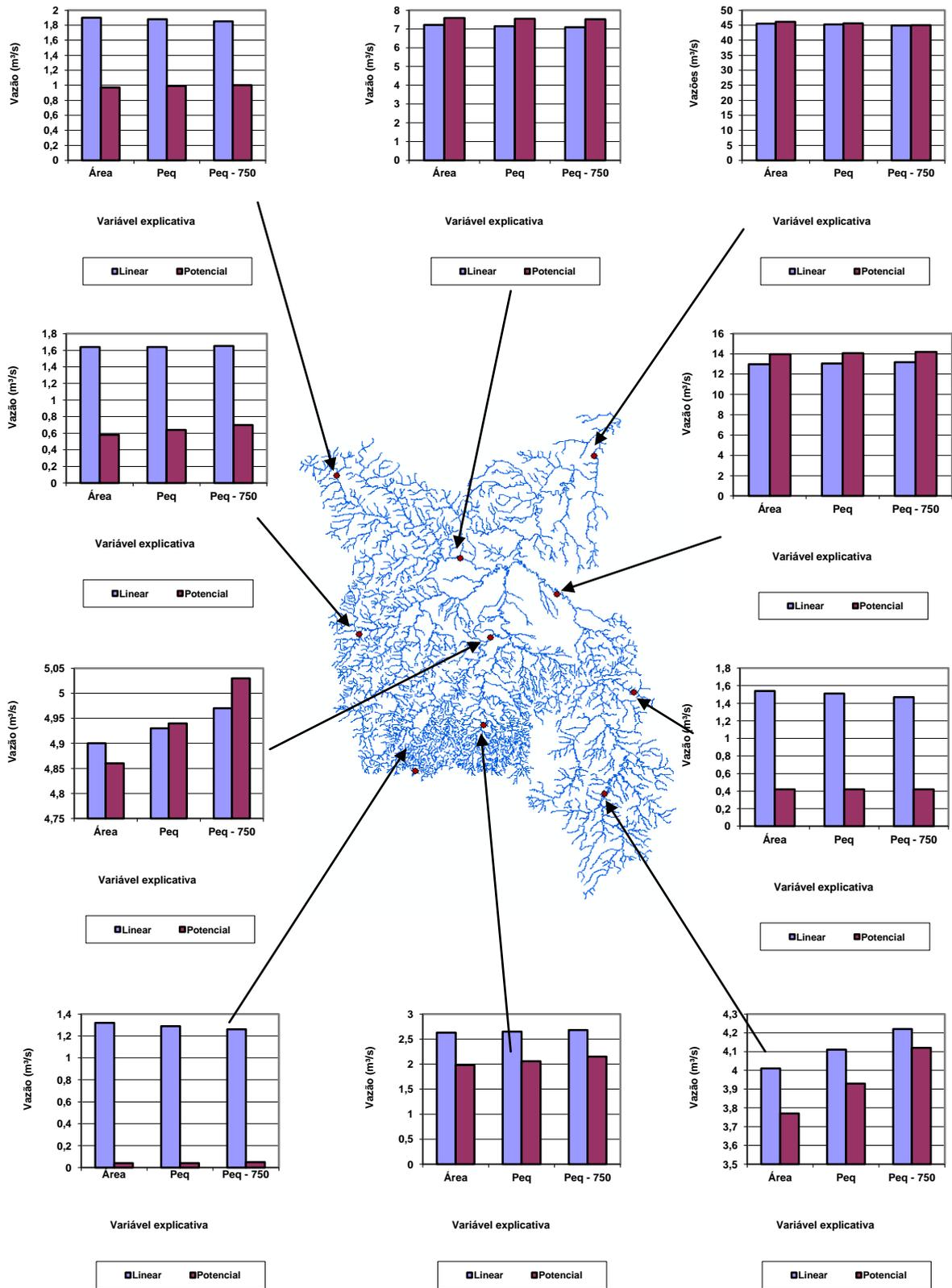


Figura 18 C –  $Q_{95}$  de maio estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

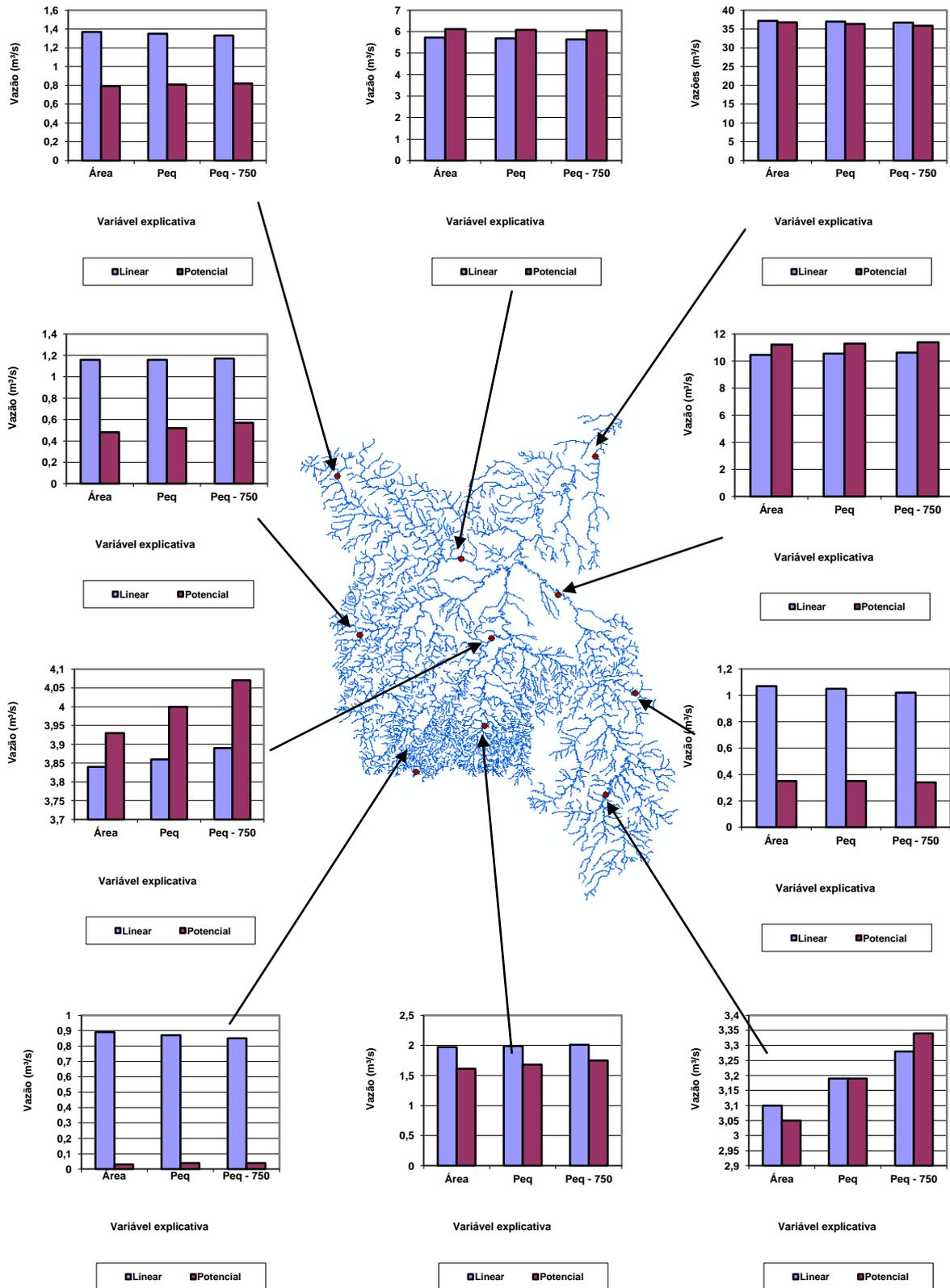


Figura 19 C – Q<sub>95</sub> de junho estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

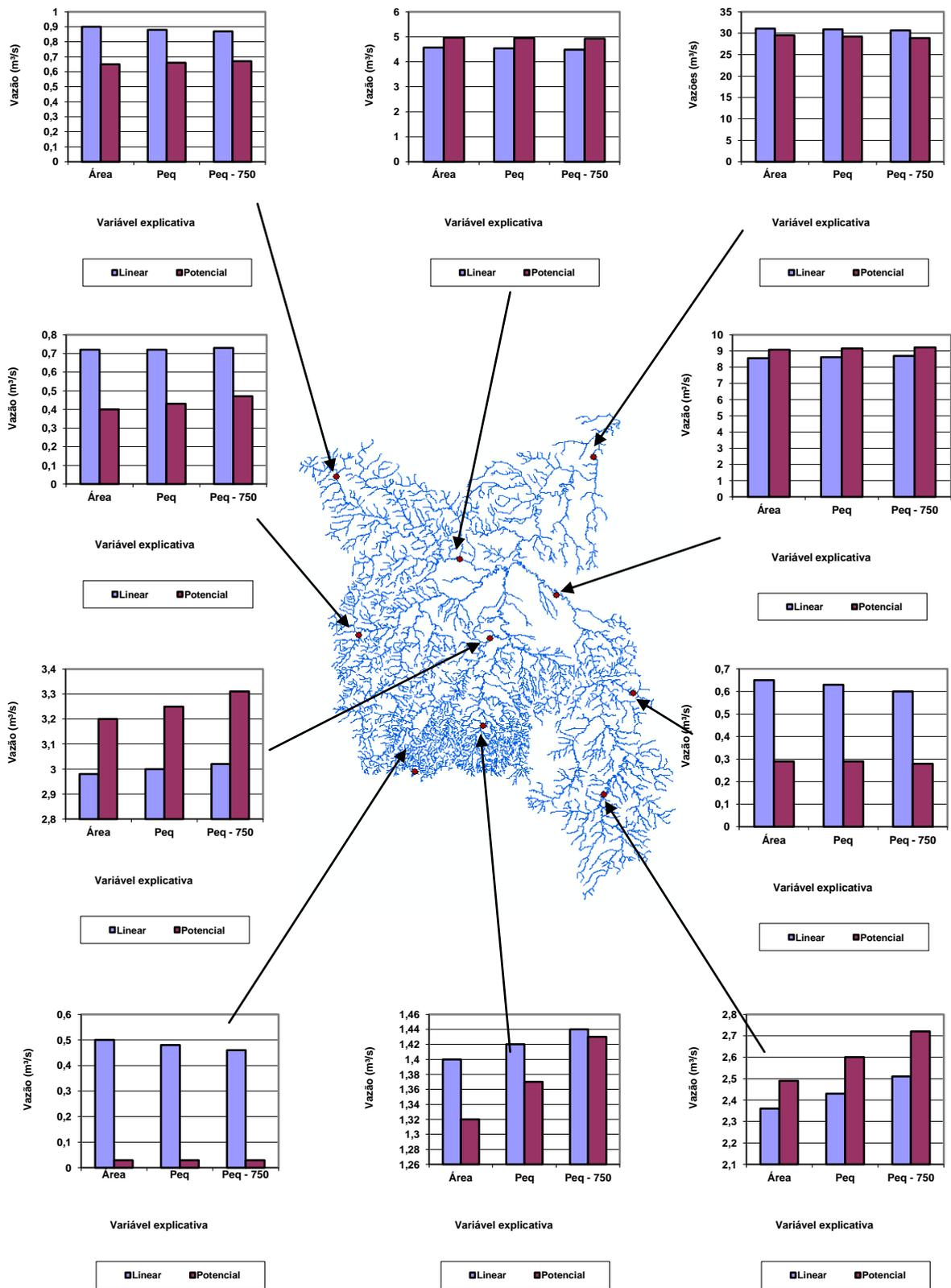


Figura 20 C – Q<sub>95</sub> de julho estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

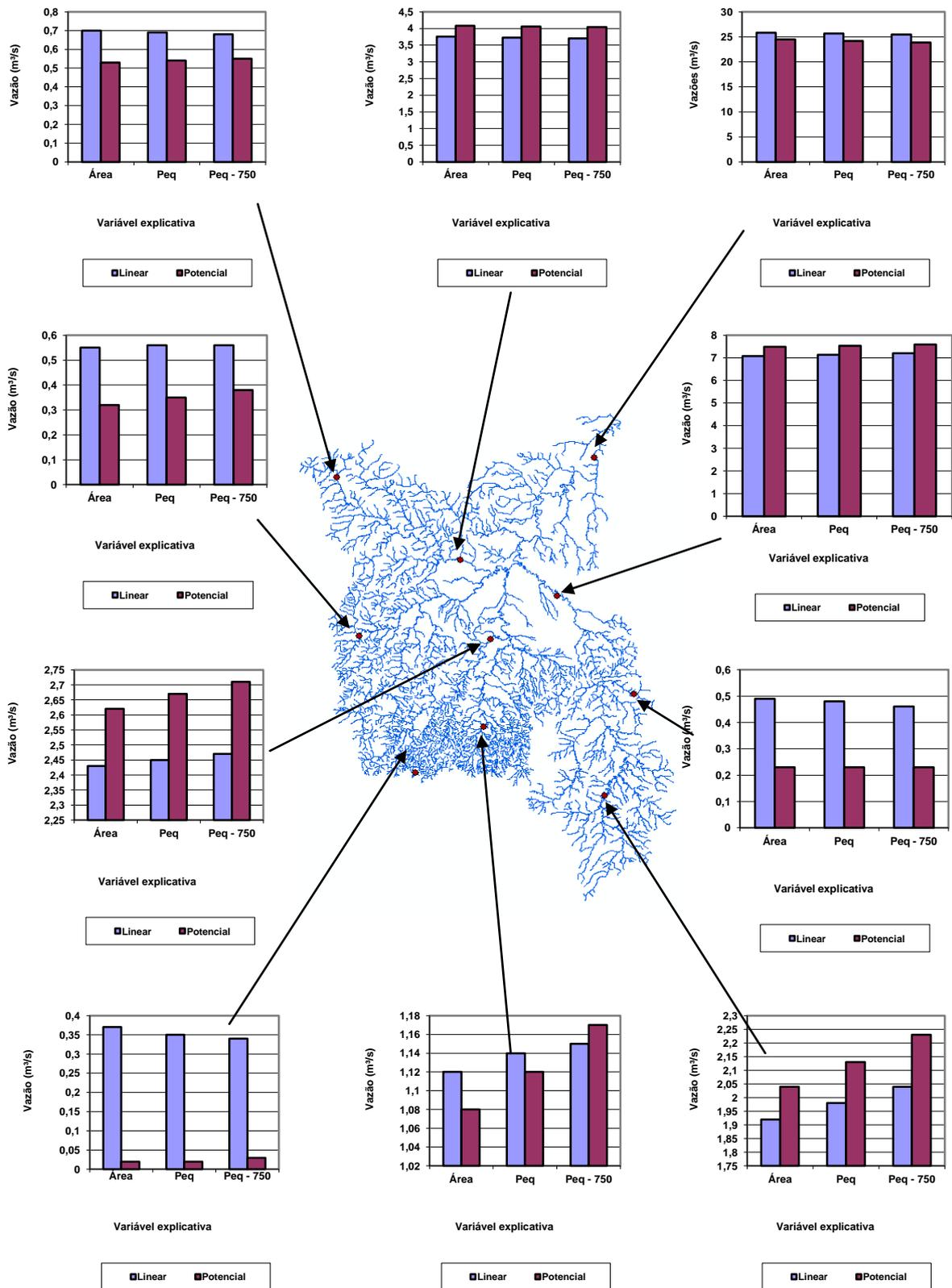


Figura 21 C – Q<sub>95</sub> de agosto estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

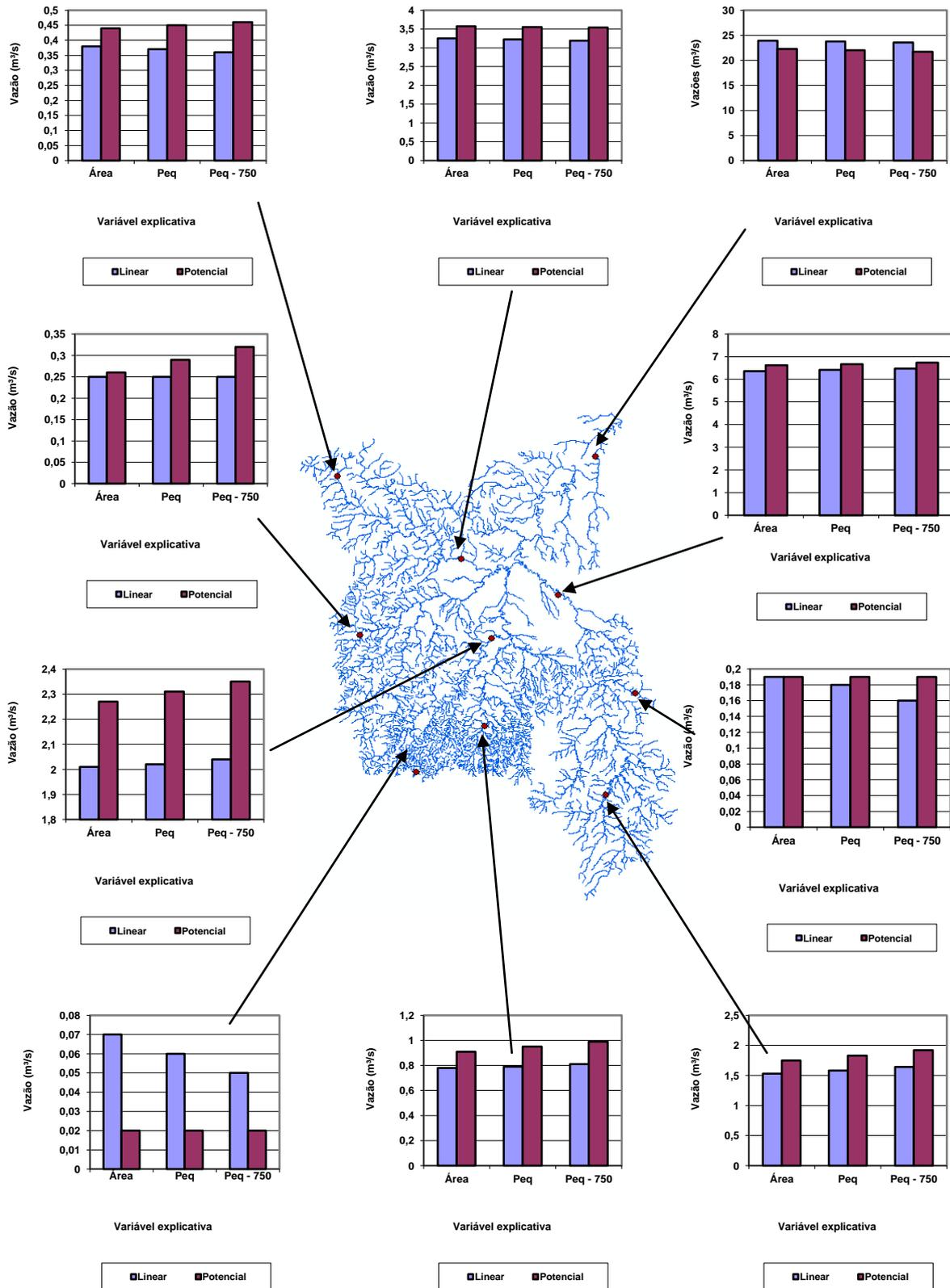


Figura 22 C –  $Q_{95}$  de setembro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

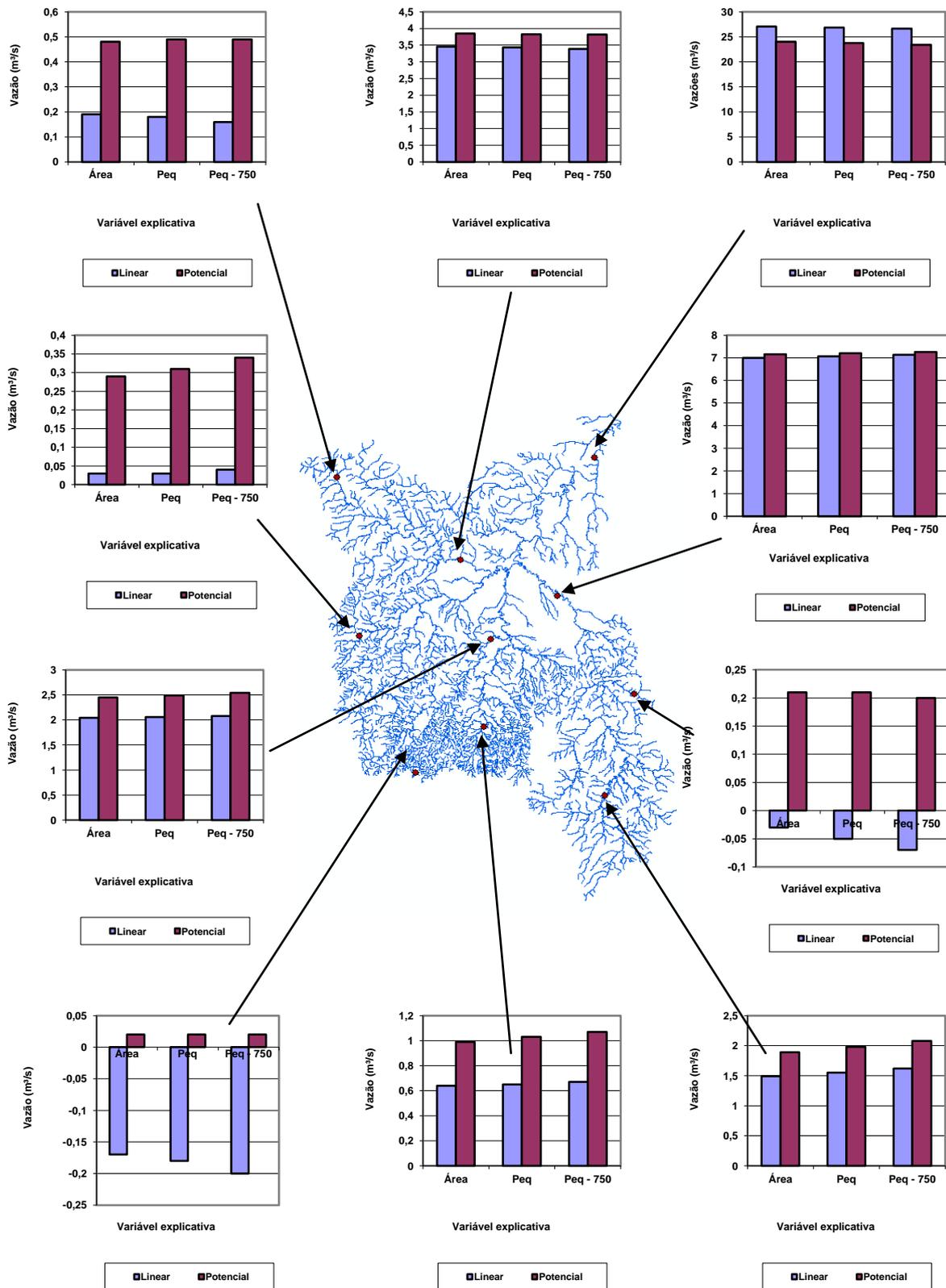


Figura 23 C –  $Q_{95}$  de outubro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

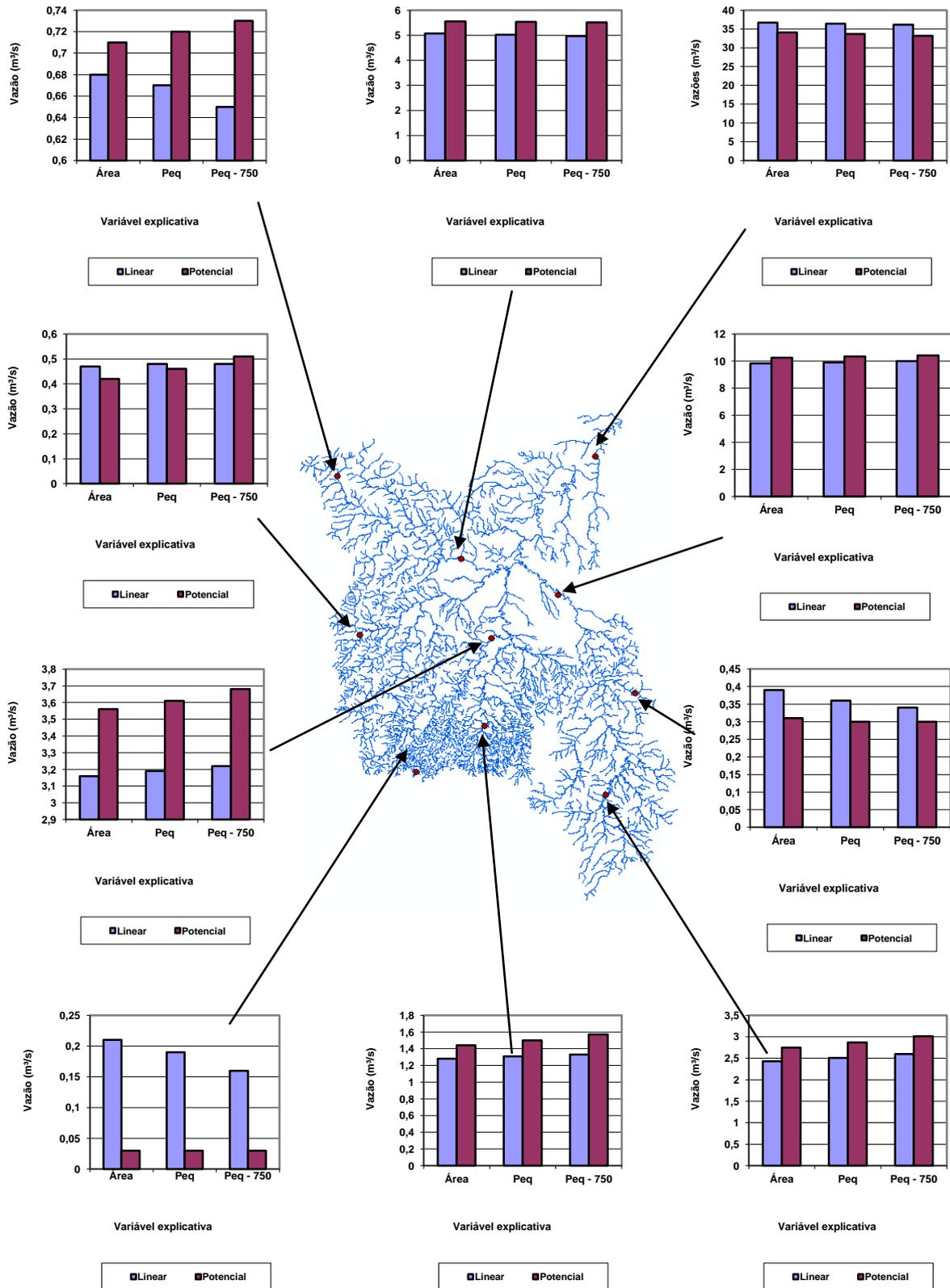


Figura 24 C –  $Q_{95}$  de novembro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.

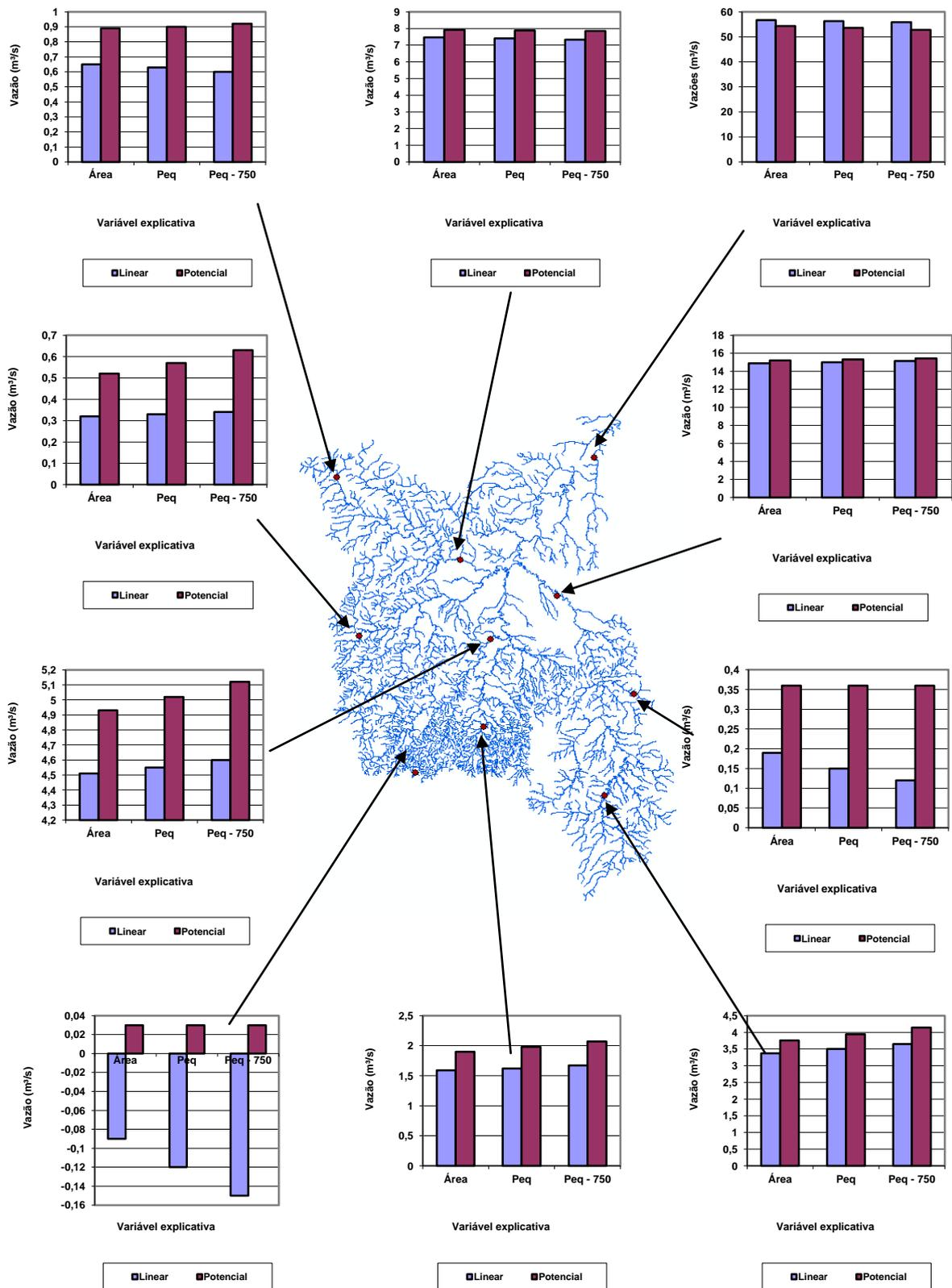


Figura 25 C –  $Q_{95}$  de dezembro estimada nas unidades de controle pelos modelos linear e potencial e para diferentes variáveis explicativas.