

# **IGAM-UFV**

**Estudo de regionalização  
de vazões para o  
aprimoramento do  
processo de outorga no  
Estado de Minas Gerais**

# Objetivo do Trabalho

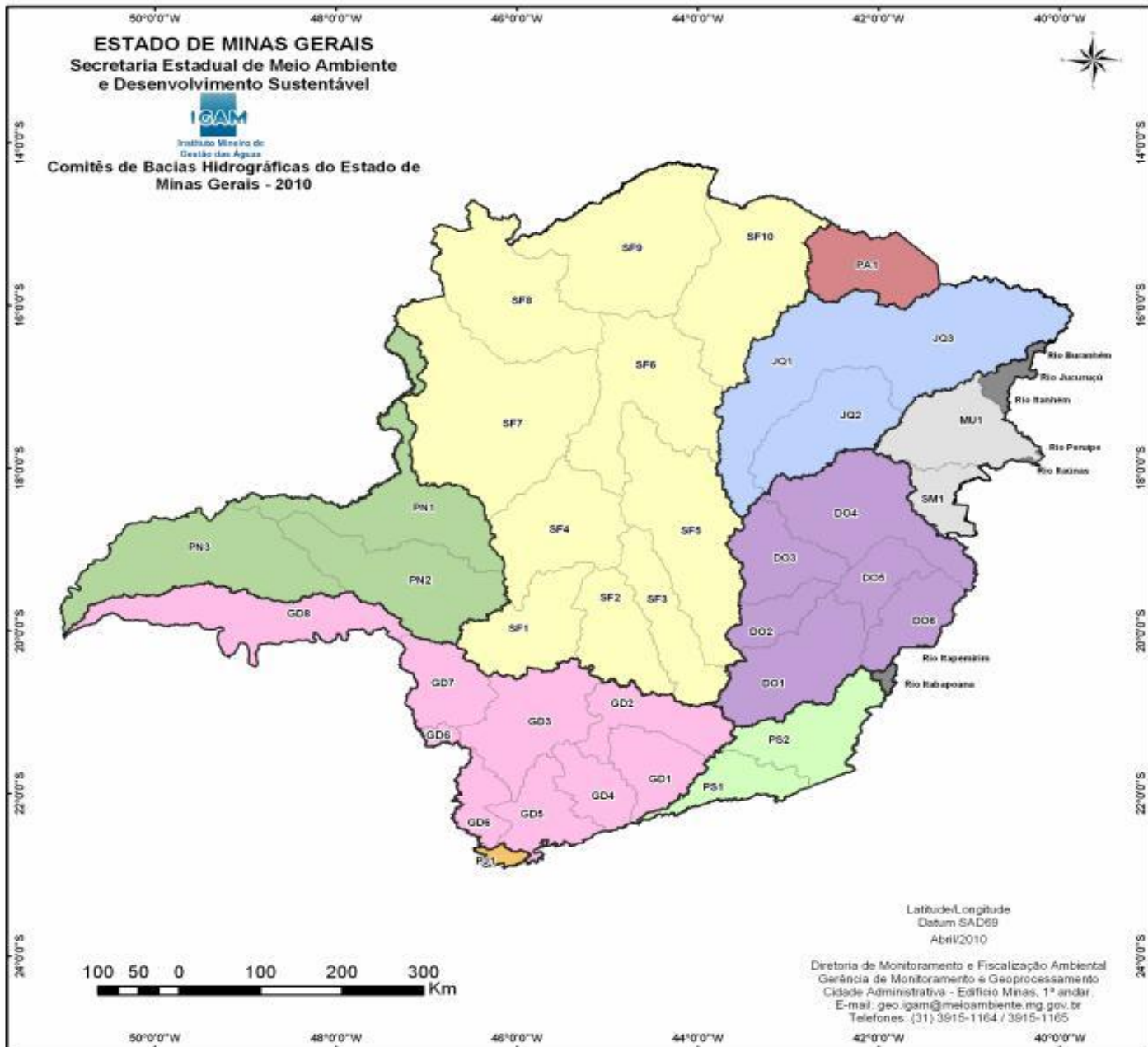
Realizar estudo de regionalização da vazão média de longa duração ( $Q_{mld}$ ) e das vazões mínimas ( $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{7,10}$ ) para a hidrografia sob a dominialidade do Estado de Minas Gerais.

ESTADO DE MINAS GERAIS  
Secretaria Estadual de Meio Ambiente  
e Desenvolvimento Sustentável



Instituto Mineiro de  
Gestão das Águas

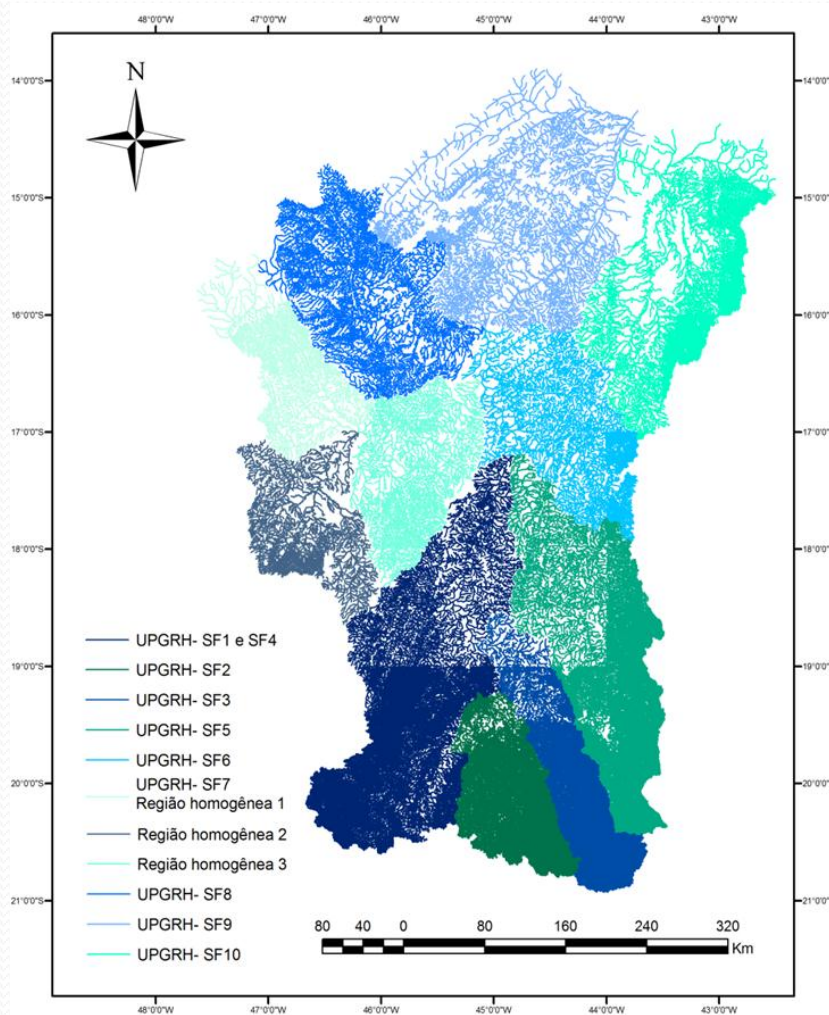
Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de  
Minas Gerais - 2010




Latitude/Longitude  
Datum SAD69  
Abril/2010

Diretoria de Monitoramento e Fiscalização Ambiental  
Gerência de Monitoramento e Geoprocessamento  
Cidade Administrativa - Edifício Minas, 1º andar  
E-mail: geo.igam@meioambiente.mg.gov.br  
Telefones: (31) 3915-1164 / 3915-1165

# Bacia do São Francisco

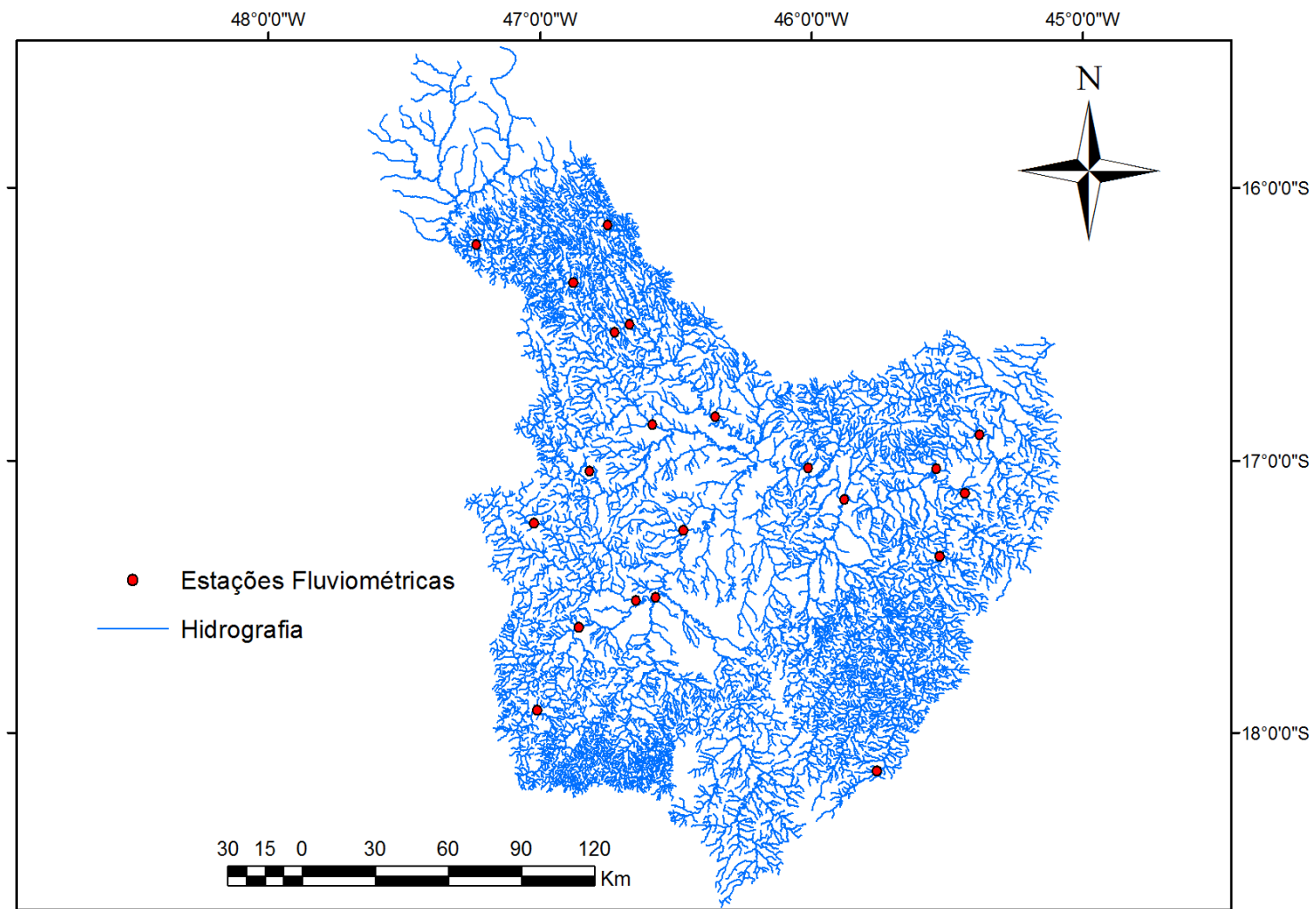




# Exemplo correspondente à bacia do Paracatu



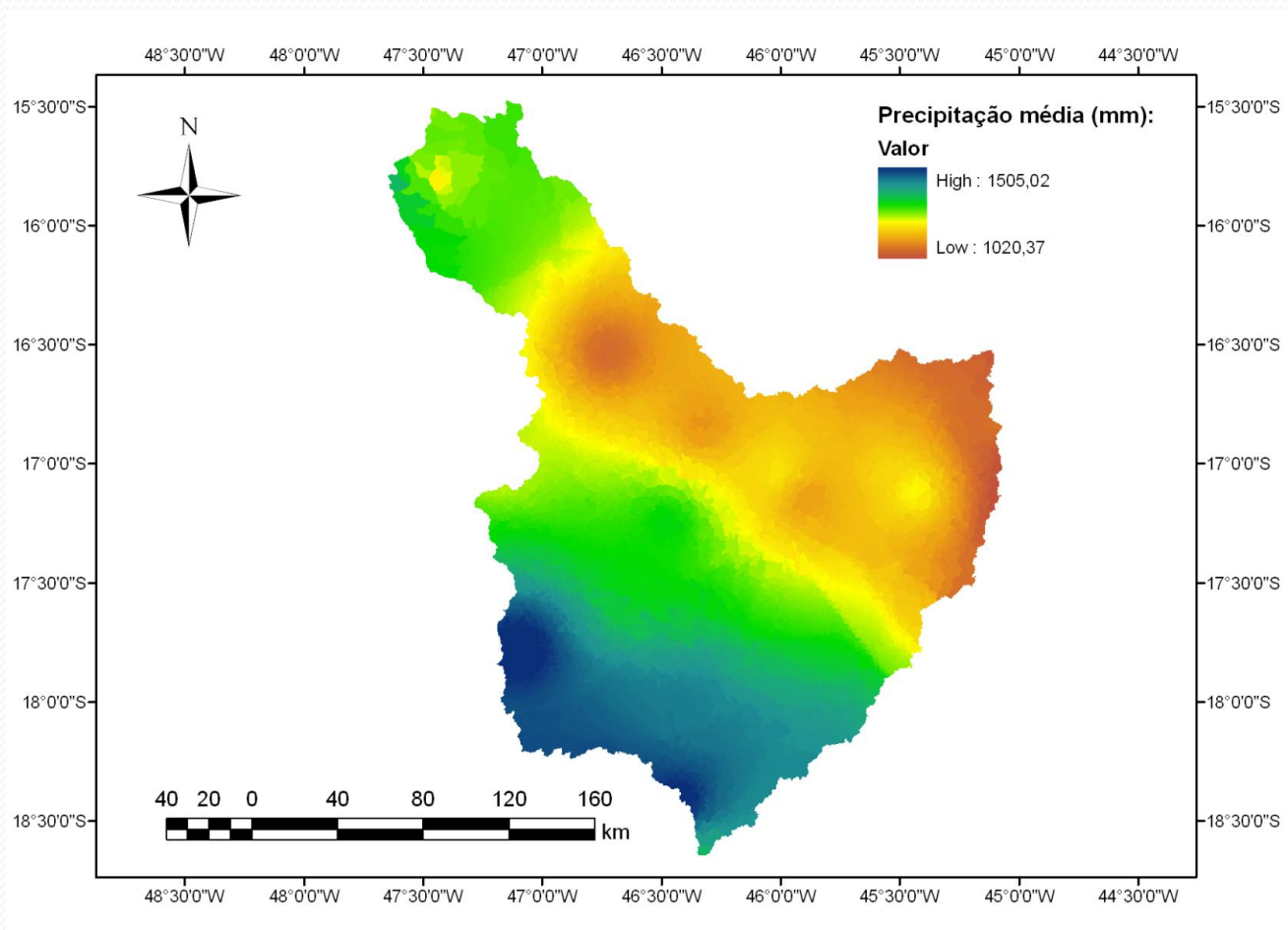
# Identificação das estações fluviométricas



Foi utilizado o software SisCAH (desenvolvido pelo GPRH/UFV) para a estimativa das variáveis  $Q_{mld}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{7,10}$  em cada estação fluviométrica.



# Obteve-se o mapa de precipitação na bacia



Converteu-se a precipitação (mm)  
em precipitação equivalente ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
em cada bacia de contribuição

$$\text{Peq\_cont} = \text{PPT} \times \text{Area\_cont} / 31536$$

(Inércia hídrica de 750 mm)

$$\text{Peq}_{750\_cont} = (\text{PPT}-750) \times \text{Area\_cont} / 31536$$

# Regionalização das Vazões

Ajuste de modelos de regressão (Linear, Potencial, Exponencial, Logarítmico e Recíproco)

Variáveis dependentes:  $Q_{mld}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{7,10}$

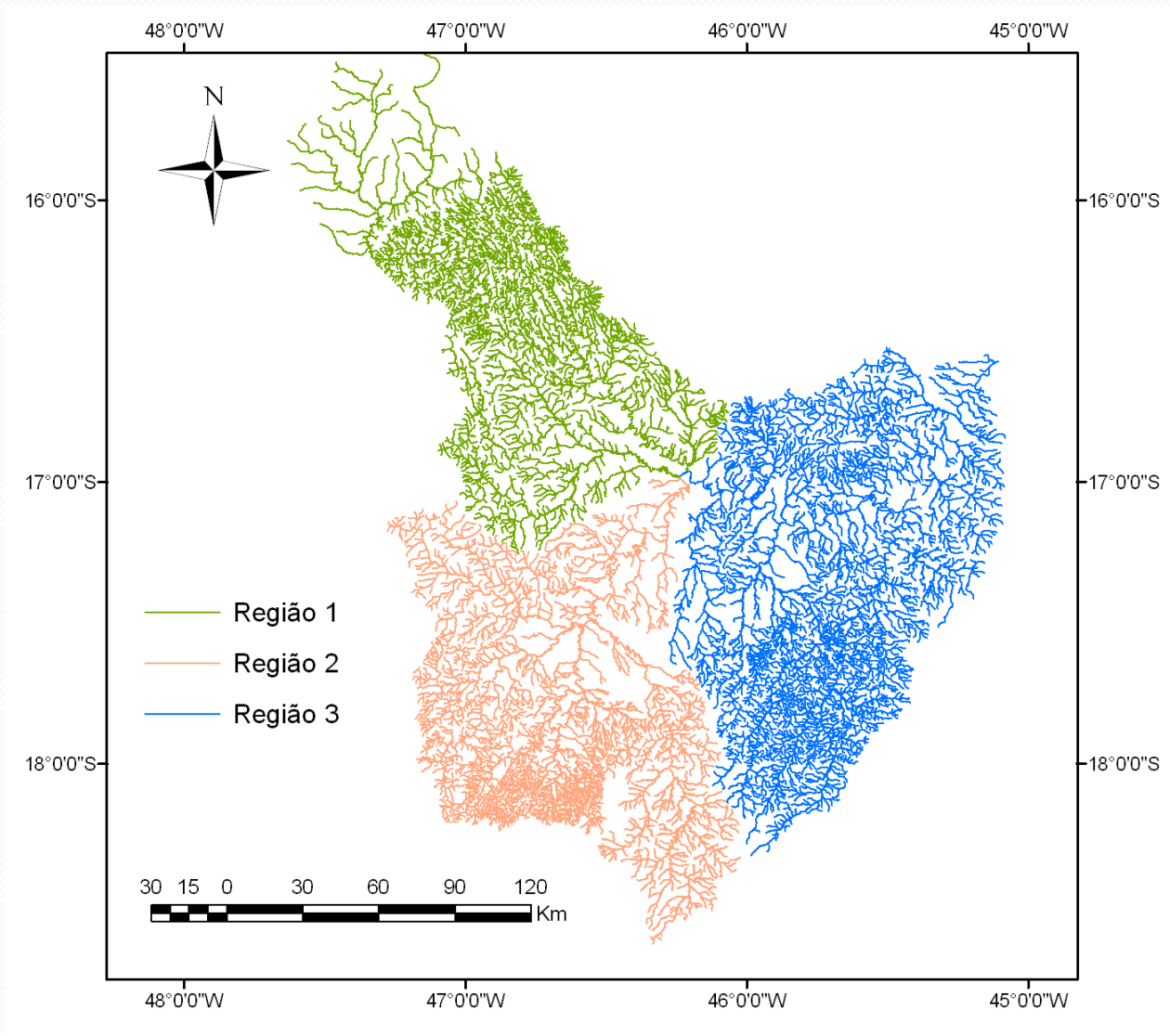
Variáveis independentes: Área de drenagem,  $Peq$  e  $Peq_{750}$

As variáveis são obtidas nas seções das estações fluviométricas

# Hierarquização da regionalização

- Definição de regiões hidrologicamente homogêneas
- Seleção do melhor modelo de regressão
- Seleção da variável explicativa

# Regiões hidrologicamente homogêneas



Cada região hidrologicamente homogênea recebe uma equação de estimativa das vazões em função da melhor variável explicativa (variável independente).

# Estações fluviométricas selecionadas na bacia do Paracatu

Estação	Nome da estação	Área (km <sup>2</sup> )	Qmld (m <sup>3</sup> /s)	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	Q95 (m <sup>3</sup> /s)	Q7,10 (m <sup>3</sup> /s)	Peq (m <sup>3</sup> /s)	Peq750 (m <sup>3</sup> /s)
42435000	FAZENDA BARRA DA ÉGUA	1590	17,455	2,516	1,877	1,273	59,181	21,002
42440000	FAZENDA POÇÕES	552	8,926	1,860	1,481	1,033	21,556	8,425
42460000	FAZENDA LIMEIRA	3890	60,936	20,85	16,020	8,602	153,576	62,703
42490000	UNAÍ	5360	72,484	19,58	14,421	10,063	209,183	84,362
42540000	SANTO ANTÔNIO DO BOQUEIRÃO	5910	81,106	20,061	15,663	10,692	228,739	90,741
42545500	FAZENDA O RESFRIADO	679	8,374	1,593	1,292	1,058	25,515	9,345
42546000	FAZENDA SANTA CRUZ	552	7,300	1,603	1,334	1,232	21,579	8,405
42600000	PORTO DOS POÇÕES	9400	109,702	26,334	19,512	13,704	356,29	135,05

## Região 1

Estação	Nome da estação	Área (km <sup>2</sup> )	Qmld (m <sup>3</sup> /s)	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	Q95 (m <sup>3</sup> /s)	Q7,10 (m <sup>3</sup> /s)	Peq (m <sup>3</sup> /s)	Peq750 (m <sup>3</sup> /s)
42250000	FAZENDA LIMOEIRO	464	8,304	2,299	1,825	1,25	21,422	10,415
42251000	FAZENDA CÓRREGO DO OURO	1870	29,788	6,9	5,39	3,4	86,913	42,082
42255000	FAZENDA NOLASCO	257	3,126	0,71	0,587	0,385	10,059	4,068
42257000	BARRA DO ESCURINHO	2000	26,153	6,48	4,79	3,041	83,111	35,542
42290000	PONTE DA BR-040 - PARACATU	7760	96,688	19,367	15,156	9,802	341,994	157,647
42395000	SANTA ROSA	12800	159,921	37,608	30,511	21,753	561,220	257,325

## Região 2

Estação	Nome da estação	Área (km <sup>2</sup> )	Qmld (m <sup>3</sup> /s)	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	Q95 (m <sup>3</sup> /s)	Q7,10 (m <sup>3</sup> /s)	Peq (m <sup>3</sup> /s)	Peq750 (m <sup>3</sup> /s)
42690001	PORTO DA EXTREMA	30100	316,715	71,094	56,371	34,407	1221,141	507,33416
42750000	CAATINGA	33500	346,784	78,043	60,315	41,788	1348,171	555,04439
42840000	VEREDAS	209	3,367	1,2876	1,0922	0,7854	9,755	4,545711
42850000	CACHOEIRA DAS ALMAS	4390	55,547	8,222	6,341	3,191	180,604	75,880874
42860000	CACHOEIRA DO PAREDÃO	5710	56,931	9,17	7,163	4,837	228,476	91,74004
42930000	PORTO DO CAVALO	40900	464,025	103,601	82,383	52,716	1639,798	668,863774
42980000	PORTO ALEGRE	41300	420,636	98,205	76,386	56,174	1656,848	674,770195

## Região 3

Para seleção do melhor modelo de regressão, analisou-se os melhores ajustes estatísticos, com base no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), menor erro padrão e menores valores dos resíduos.



# Região 3

# Exemplo Região 3: ajustes estatísticos para a $Q_{mld}$ considerando a área de drenagem como variável explicativa

Variável	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
$R^2$	0,99382	0,99762	0,78682	0,75546	0,34722
$R^2$ ajustado	0,99259	0,99714	0,74419	0,70655	0,21667
Erro padrão	16,62015	0,09602	0,90853	104,5754	0,09698
Teste F(Valor-P)	0	0	0,00775	0,01107	0,16386
Teste T(Valor-P): Intercepto	0,90629	0,00001	0,00469	0,04263	0,08894
Teste T (Valor-P): Área (km <sup>2</sup> )	0	0	0,00775	0,01107	0,16386
Erro padrão: Intercepto	10,43757	0,18912	0,57057	205,9738	0,06091
Erro padrão: Área (km <sup>2</sup> )	0,000374	0,020187	2,04E-05	21,98655	2,18E-06

## Exemplo Região 3: resíduos para a $Q_{mld}$ considerando a área de drenagem como variável explicativa

Estação	Linear (%)	Potencial (%)	Exponencial(%)	Logarítmico (%)	Recíproco (%)
42690001	1,161001	-0,17132	-29,5598	5,565262	-85,1623
42750000	2,783229	0,648929	-13,2968	-0,92162	-68,6082
42840000	4,183533	-4,86765	380,6292	-2924,89	132,7529
42850000	-13,8903	-3,90234	-57,9494	202,4119	-84,0303
42860000	8,59689	19,54191	-53,9314	234,9637	-83,7412
42930000	-6,27956	-9,54821	24,06156	-22,238	-112,577
42980000	4,395818	0,683227	41,74884	-14,017	-112,81

# Equação selecionada

## Modelo Potencial

$$Q_{mld} = 0,023004 \textit{Area}^{0,923982}$$

Após a seleção do modelo para a variável **área de drenagem**, repetiu-se o procedimento para as variáveis **Peq** e **Peq<sub>750</sub>**, verificando entre os modelos selecionados para cada variável, qual foi o de melhor ajuste.

# Exemplo Região 3: ajustes estatísticos para a $Q_{mld}$ comparando as variáveis explicativas

Variável	Área	Peq	Peq <sub>750</sub>
R <sup>2</sup>	0,99762	0,99834	0,99887
R <sup>2</sup> ajustado	0,99714	0,998	0,99864
Erro padrão	0,09602	0,08026	0,06626
Teste F(Valor-P)	0	0	0
Teste T(Valor-P): Intercepto	0,00001	0,00028	0,02186
Teste T (Valor-P): Área (km <sup>2</sup> )	0	0	0
Erro padrão: Intercepto	0,18912	0,10836	0,07915
Erro padrão: Área (km <sup>2</sup> )	0,020187	0,017323	0,014628

# Exemplo Região 3: Resíduos para a $Q_{mld}$ comparando as variáveis explicativas

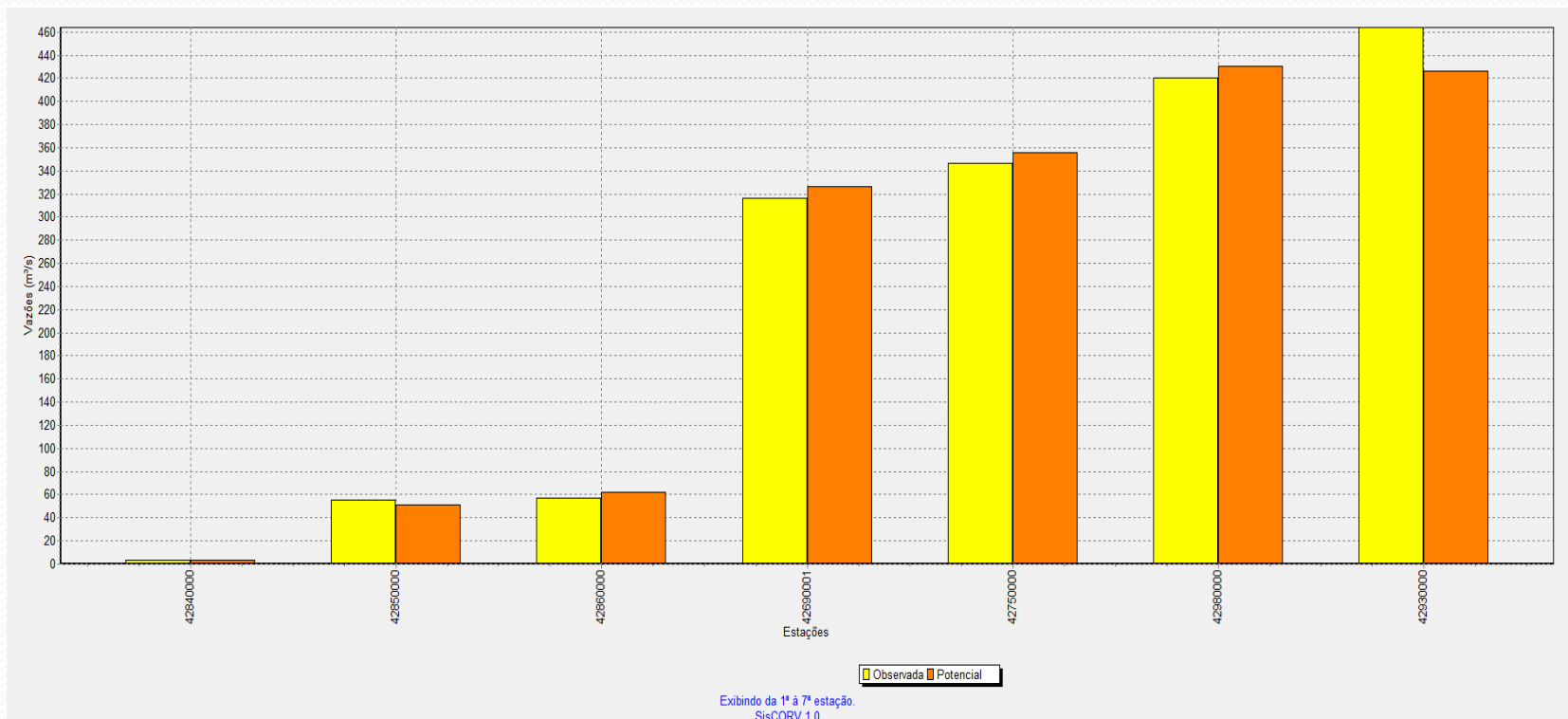
Estação	Área	Peq	Peq <sub>750</sub>
42690001	-0,17132	1,133371	2,973116
42750000	0,648929	1,457385	2,618552
42840000	-4,86765	-2,70639	-0,39891
42850000	-3,90234	-5,958	-7,17441
42860000	19,54191	14,6899	8,893335
42930000	-9,54821	-8,69454	-8,08467
42980000	0,683227	1,717046	2,265505

No caso da  $Q_{mld}$  na região 3 da bacia do Paracatu selecionou-se o modelo potencial e a variável explicativa  $Peq_{750}$

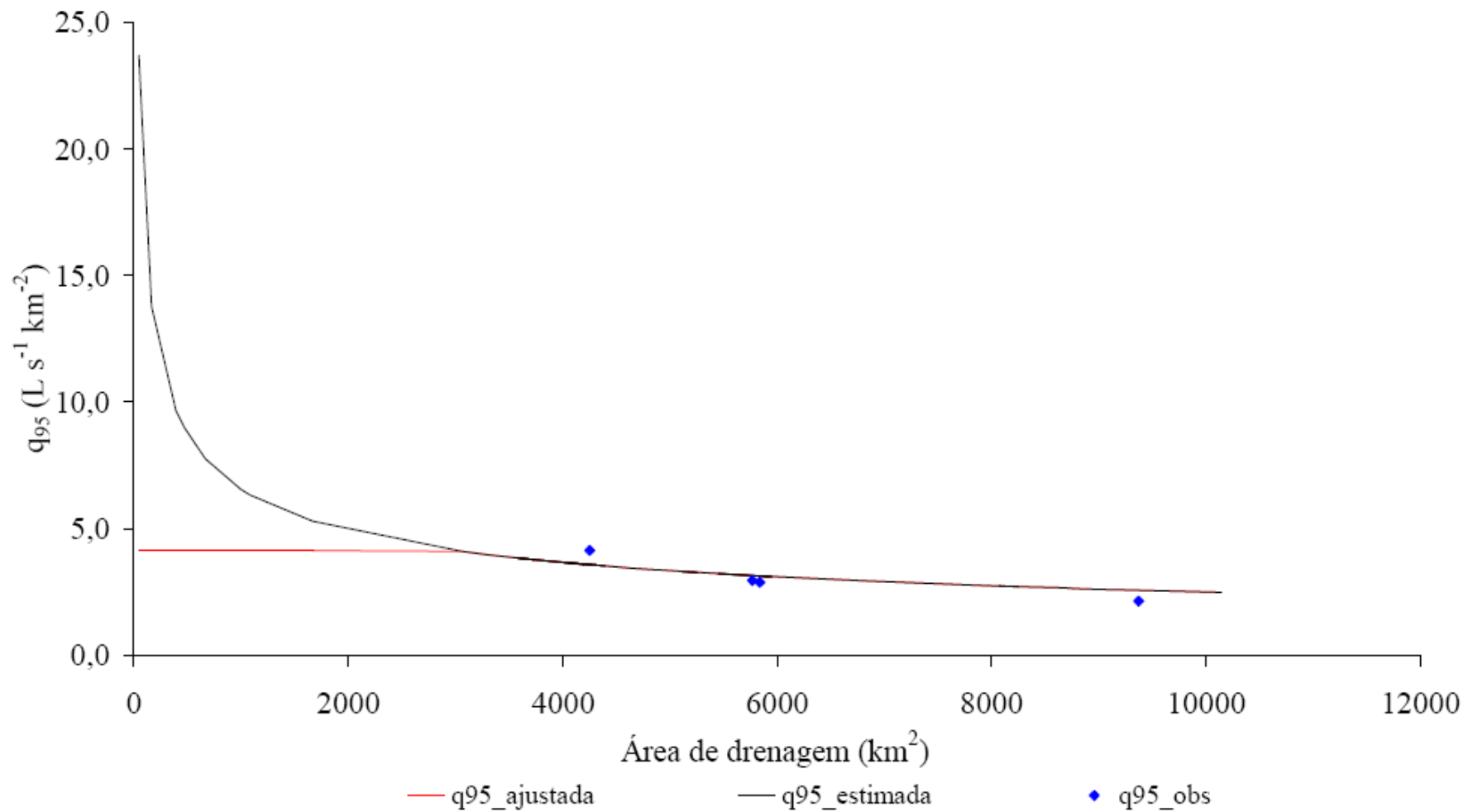
$$Q_{mld} = 0,771124 P_{eq750}^{0,970788}$$



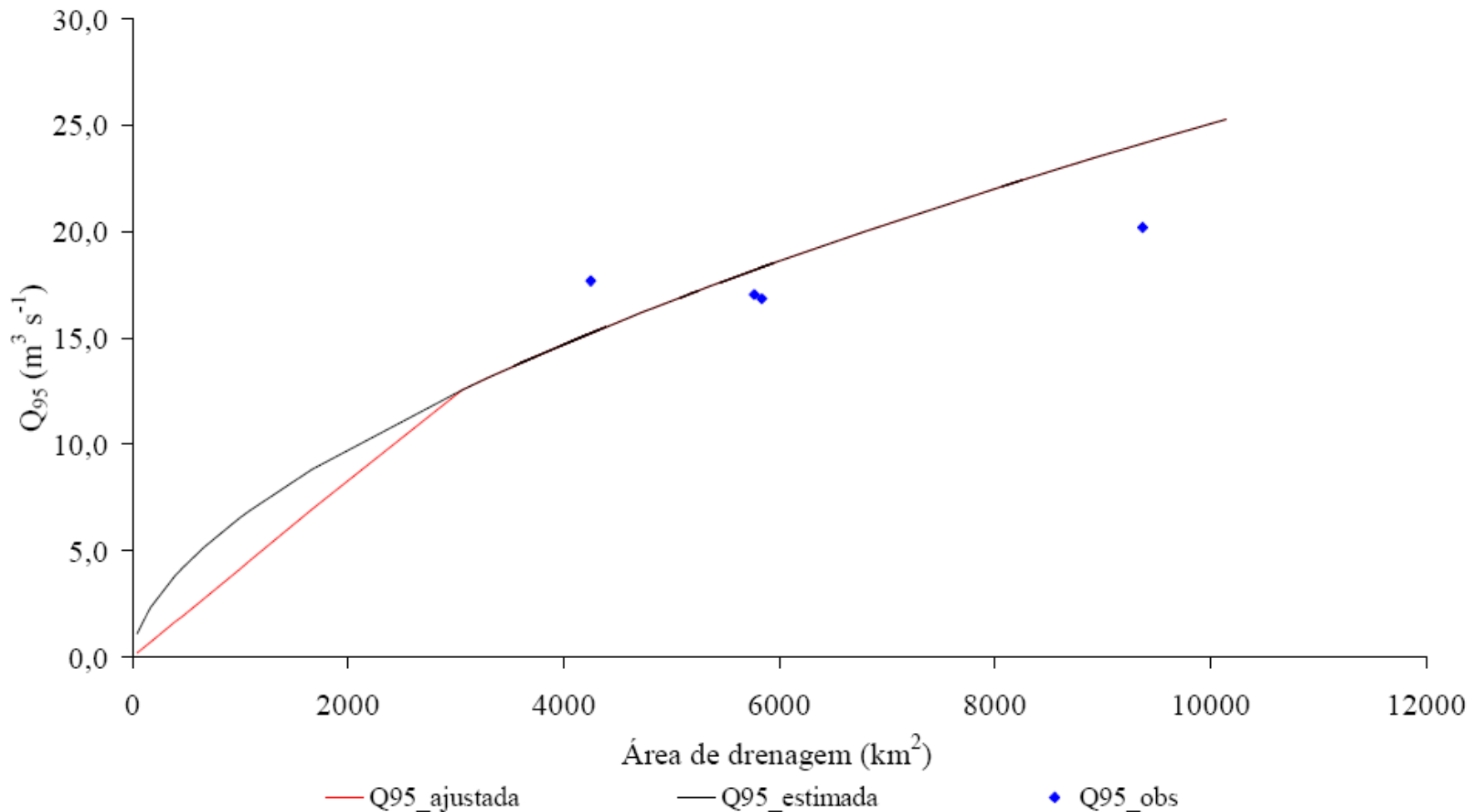
# Comparação entre as $Q_{mld}$ estimadas pela equação selecionada e os dados observados nas estações fluviométricas



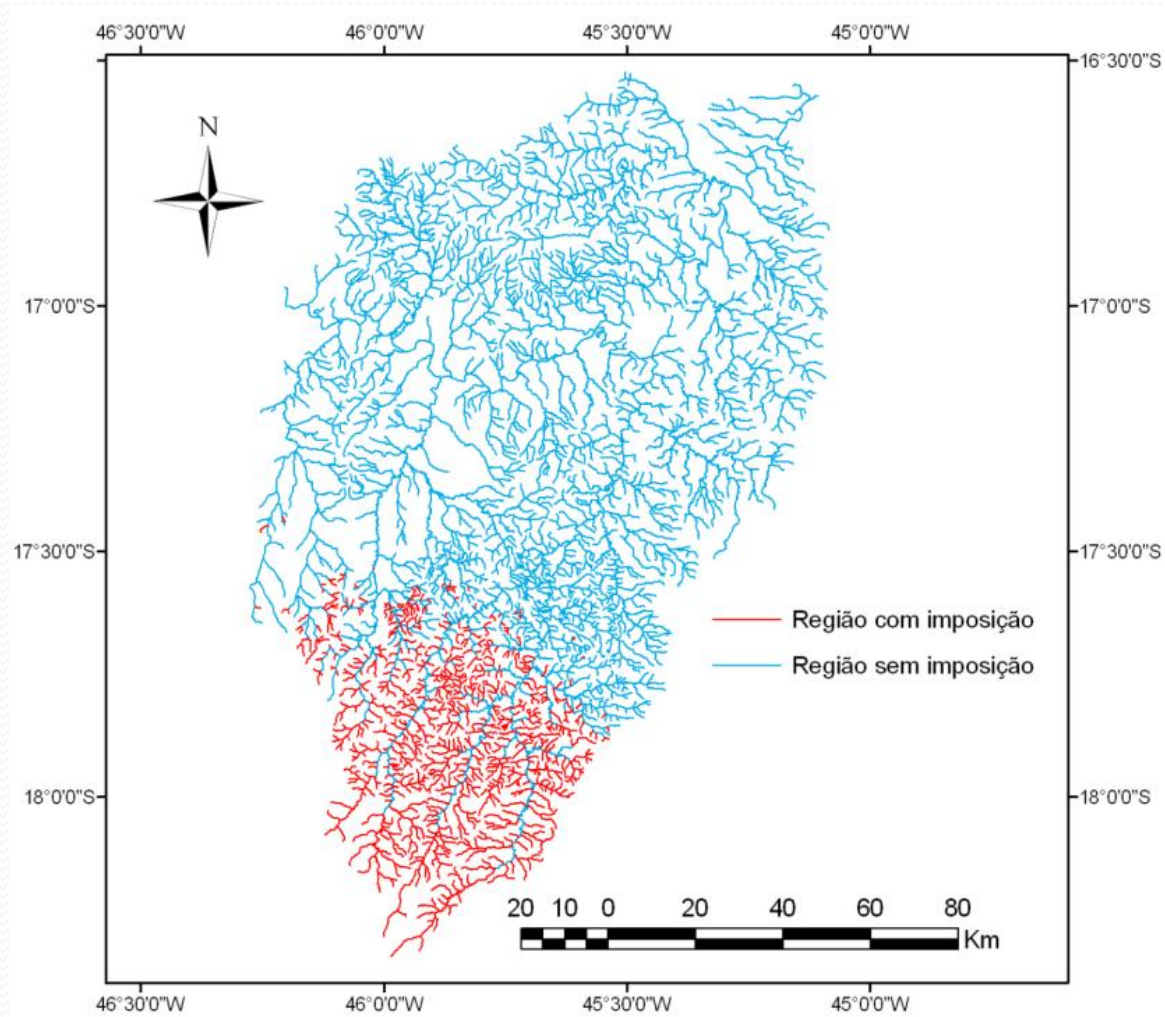
# Ajuste: Vazão específica x Área de drenagem



# Ajuste: Vazão x Área de drenagem



# Região de imposição para a $Q_{mld}$



Nesta região ajustou-se a  $Q_{mld}$  com a equação:

$$Q_{mld} = 0,345157 P_{eq}$$

# Modelos selecionados para explicar as vazões na **região 3** da bacia do Paracatu

$$Q_{mld} = 0,77112424 P_{eq750}^{0,9707884}$$

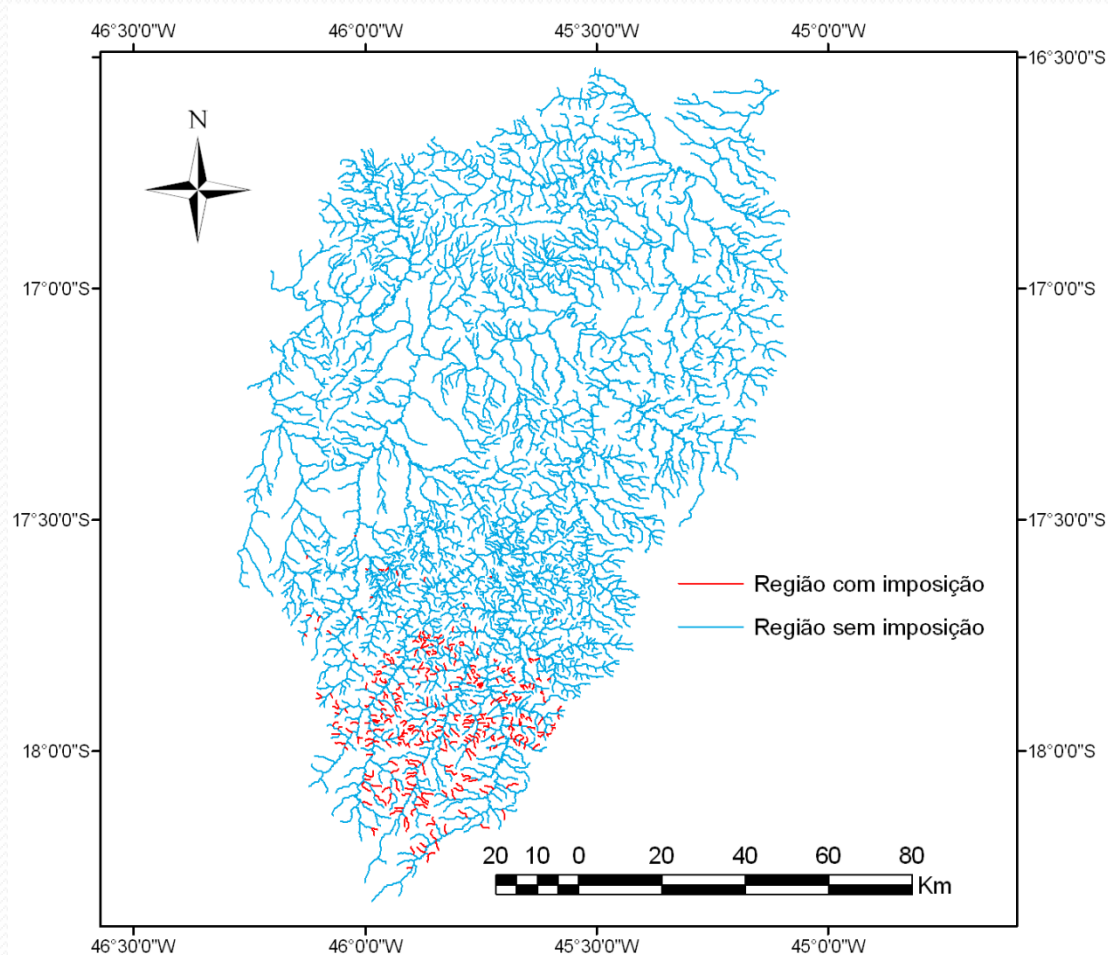
$$Q_{95} = 0,1993889 P_{eq750}^{0,892566}$$

$$Q_{90} = 0,235877 P_{eq750}^{0,905512}$$

$$Q_{7,10} = 0,13035 P_{eq750}^{0,89122}$$

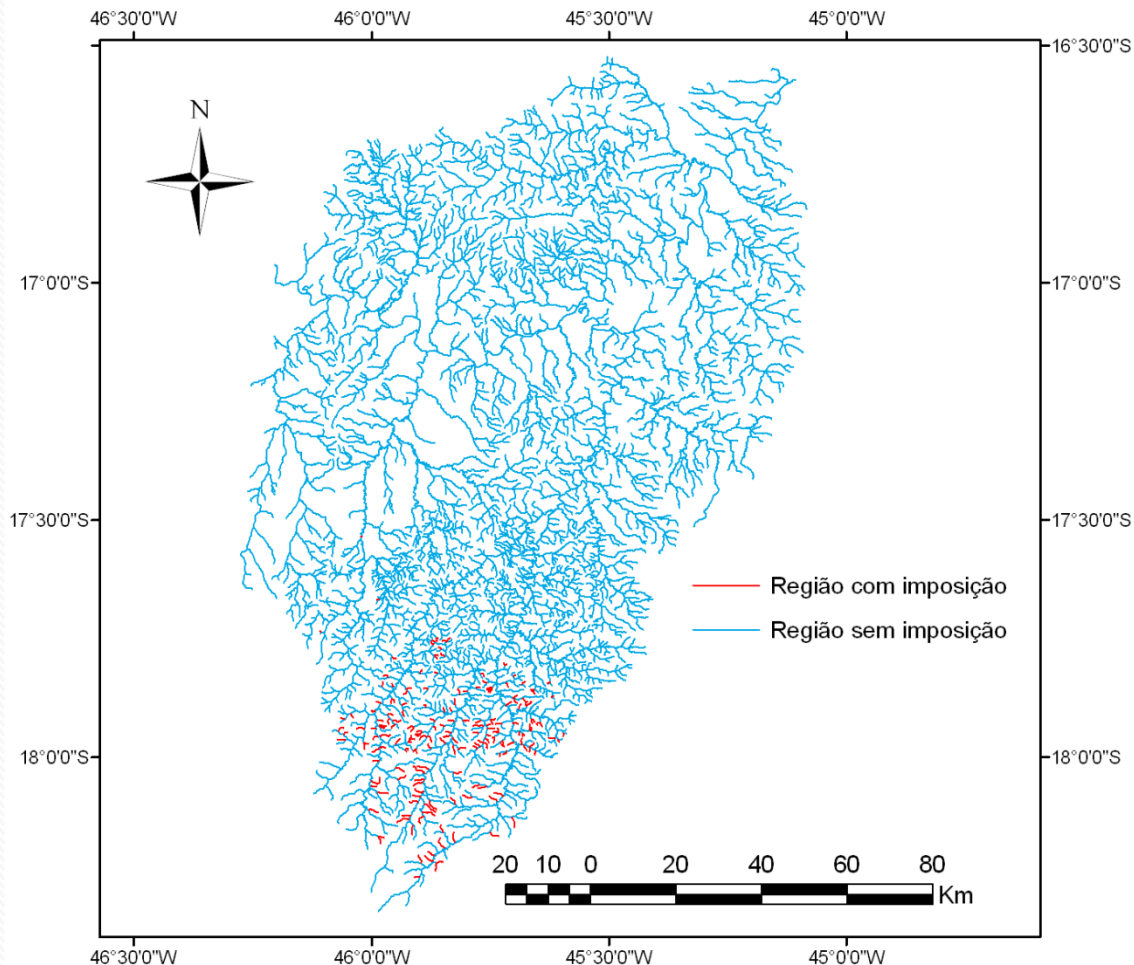
# Região 3 – imposição para a $Q_{95}$

$Q_{95}$  esp. Imp. =  $5,2 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$



# Região 3 – imposição para a $Q_{90}$

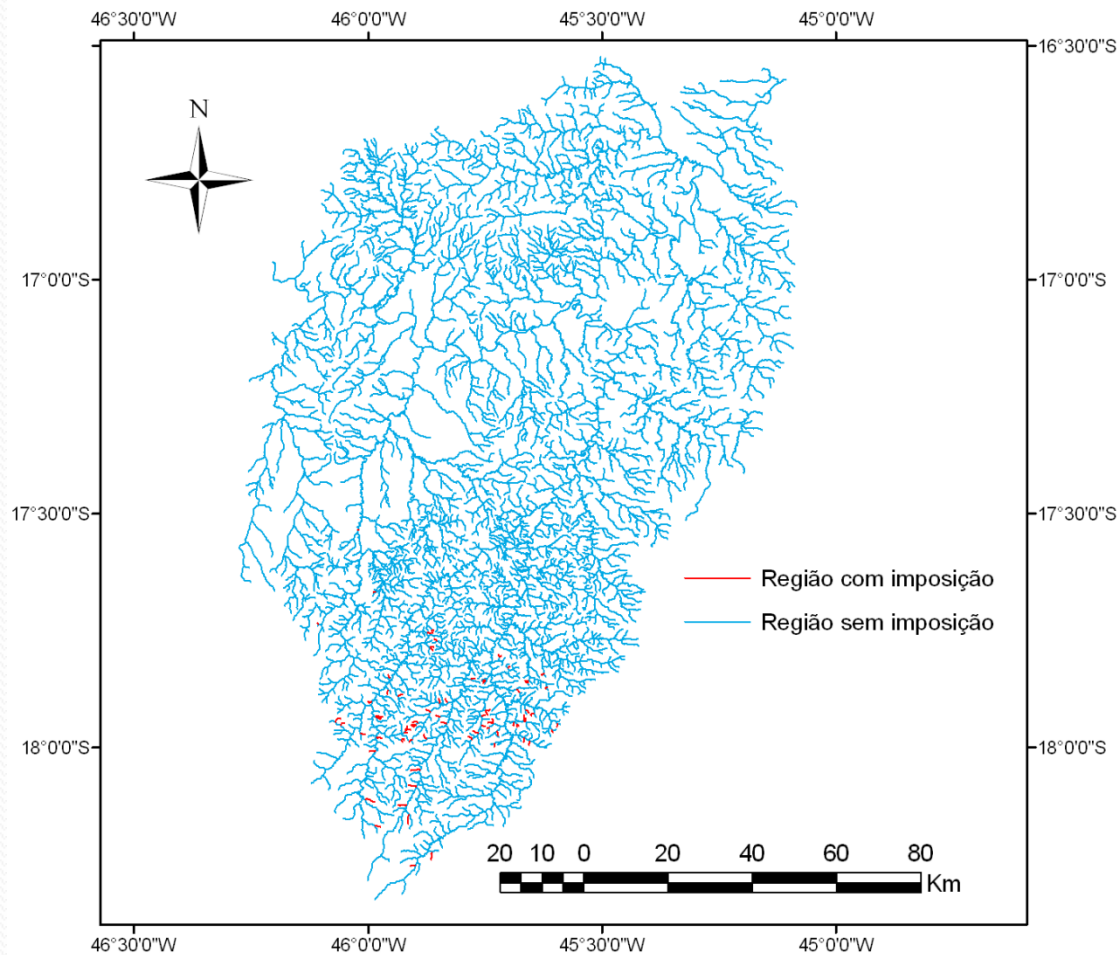
$$Q_{90} \text{ esp. Imp.} = 6,1 \text{ L s}^{-1}\text{km}^{-2}$$





# Região 3 – imposição para a $Q_{7,10}$

$Q_{7,10}$  esp. Imp. =  $3,7 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$



# Modelos selecionados para explicar as vazões nas regiões 1 e 2 da bacia do Paracatu

$$Q_{\text{mld}} = 0,98845 P_{\text{eq750}}^{0,97146}$$

$$Q_{95} = 0,12664 P_{\text{eq750}}^{1,06304}$$

$$Q_{90} = 0,14781 P_{\text{eq750}}^{1,091911}$$

$$Q_{7,10} = 0,11673 P_{\text{eq750}}^{0,987020}$$

**Região 1**

$$Q_{\text{mld}} = 0,88746 P_{\text{eq750}}^{0,935823}$$

$$Q_{95} = 0,18700 P_{\text{eq750}}^{0,90070}$$

$$Q_{90} = 0,23249 P_{\text{eq750}}^{0,90615}$$

$$Q_{7,10} = 0,12054 P_{\text{eq750}}^{0,90740}$$

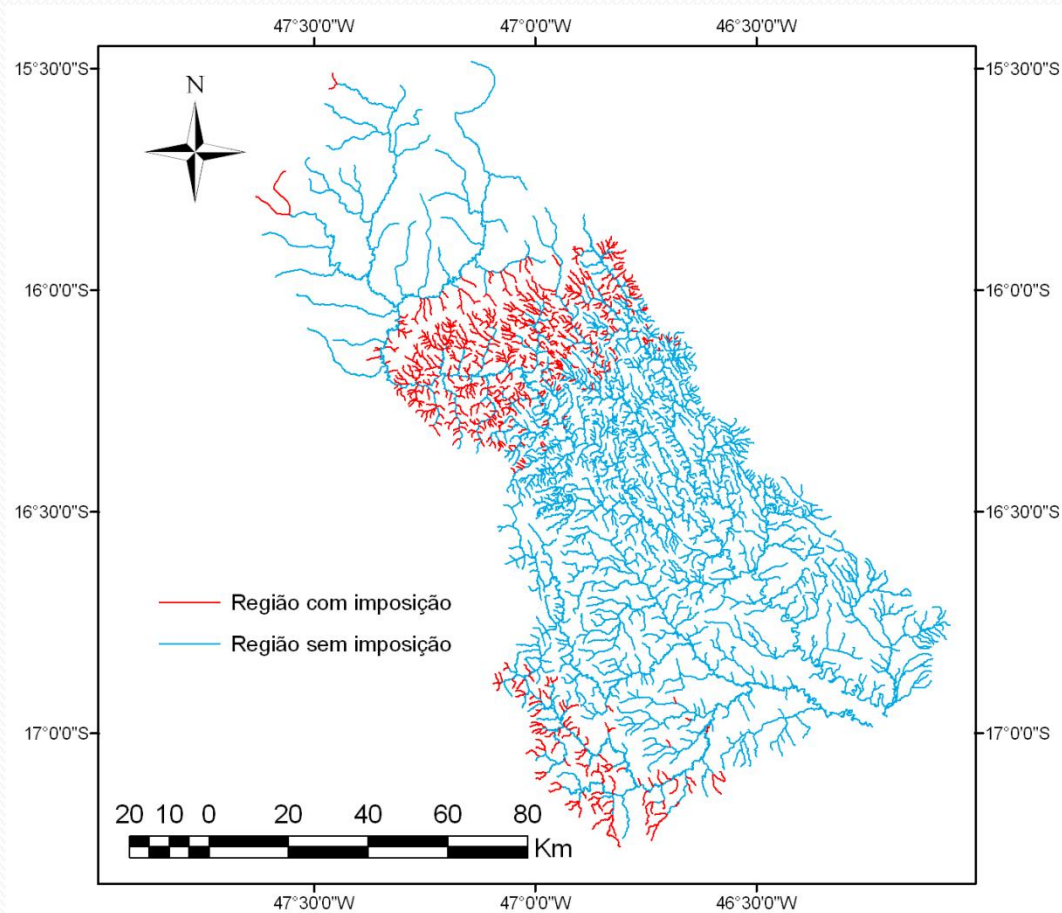
**Região 2**



# Região 1

# Região 1 – imposição para a $Q_{mld}$

CE imposição = 0,41409



## Região 1 – imposição para a $Q_{95}$

$$Q_{95} \text{ esp. impos.} = 4,1 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$$

Não houve necessidade de imposição, pois a  $Q_{95}$  específica regionalizada foi menor que o valor imposto em todos os trechos da hidrografia.

## Região 1 – imposição para a $Q_{90}$

$$Q_{90} \text{ esp. imp.} = 5,4 \text{ L s}^{-1}\text{km}^{-2}$$

Não houve necessidade de imposição, pois a  $Q_{90}$  específica regionalizada foi menor que o valor imposto em todos os trechos da hidrografia.

## Região 1 – imposição para a $Q_{7,10}$

$$Q_{7,10} \text{ esp. imp.} = 2,2 \text{ L s}^{-1}\text{km}^{-2}$$

Não houve necessidade de imposição, pois a  $Q_{7,10}$  específica regionalizada foi menor que o valor imposto em todos os trechos da hidrografia.

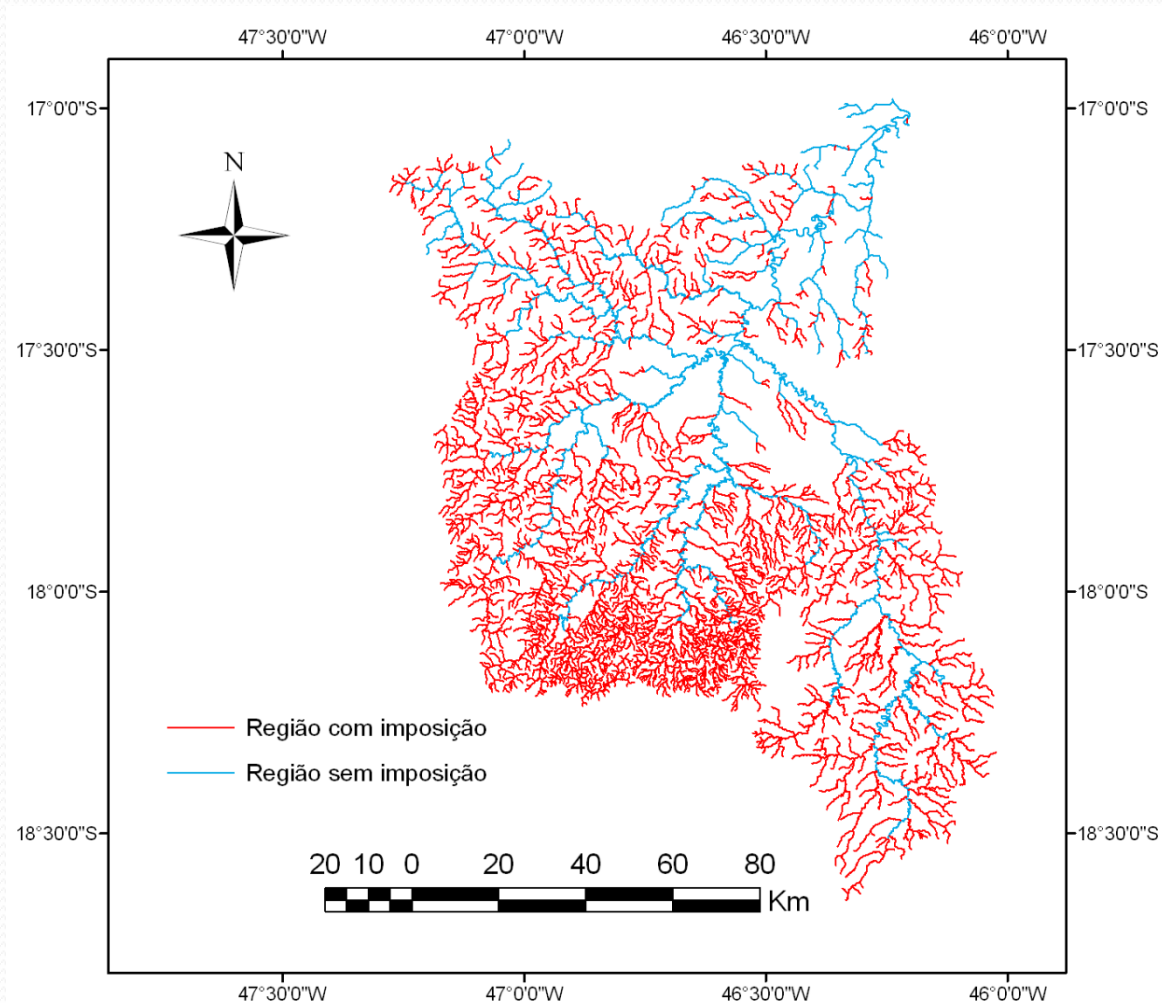


# Região 2



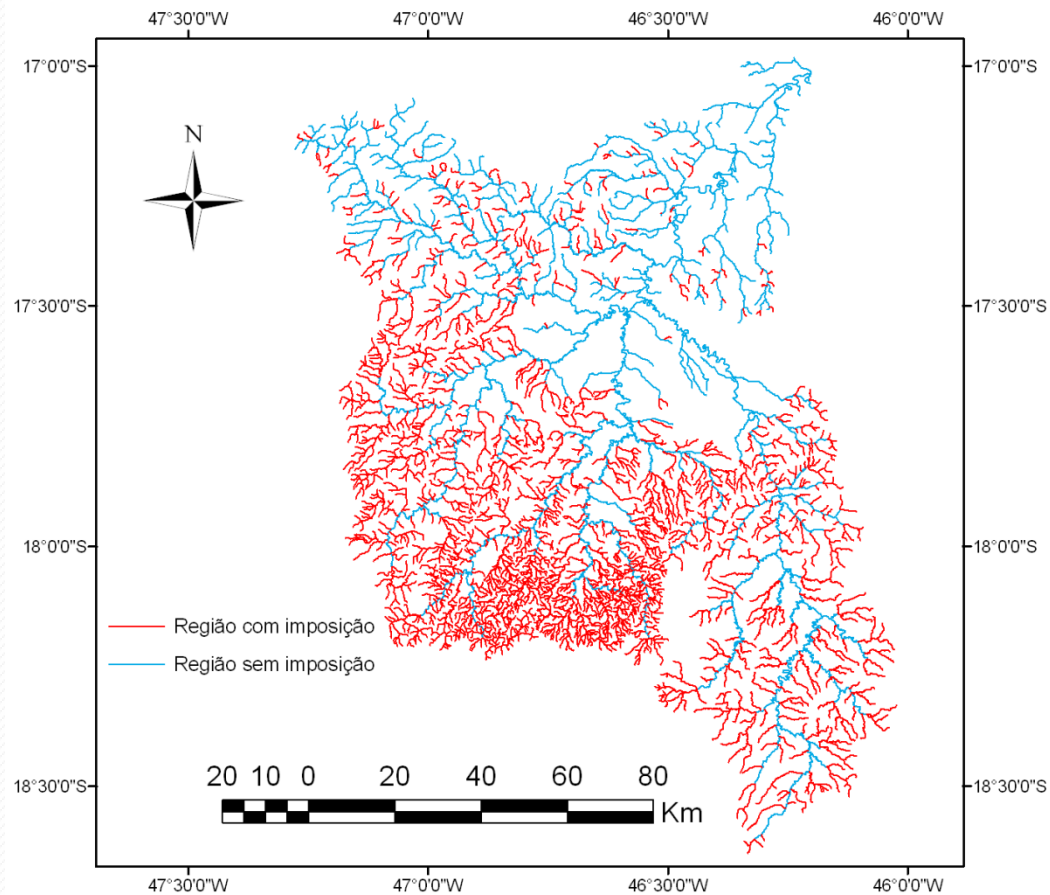
# Região 2 – imposição para a $Q_{mld}$

CE imposição = 0,3876



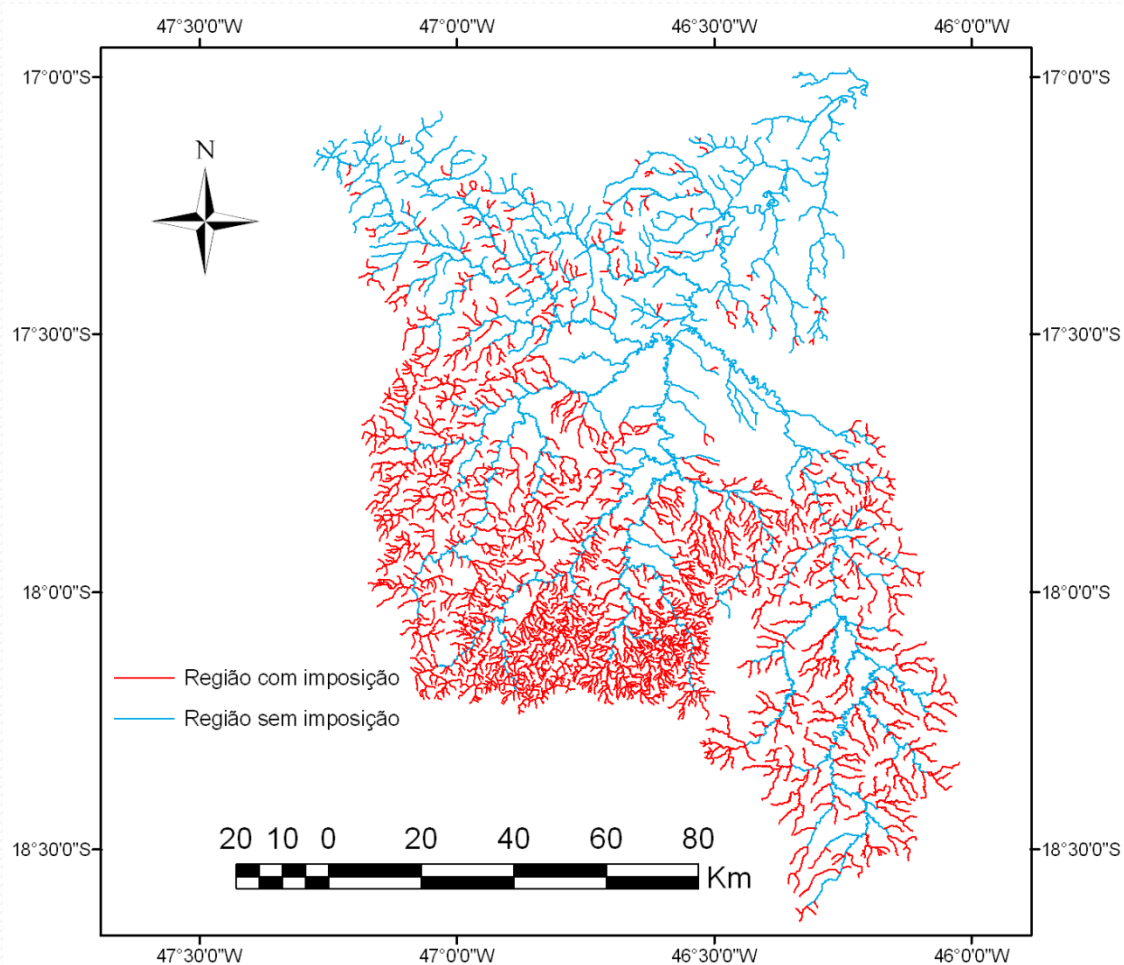
# Região 2 – imposição para a $Q_{95}$

$$Q_{95} \text{ esp. imp.} = 3,9 \text{ L s}^{-1}\text{km}^{-2}$$



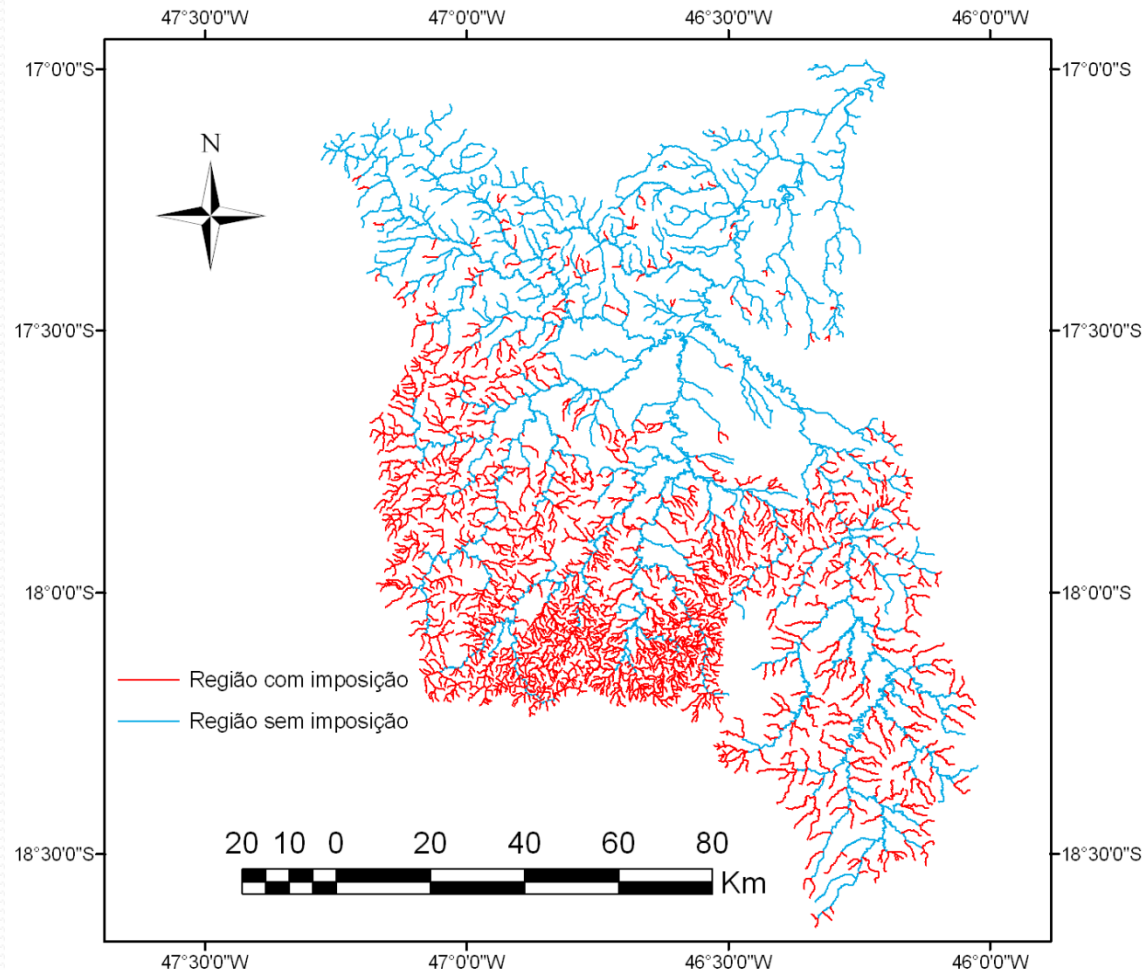
# Região 2 – imposição para a $Q_{90}$

$$Q_{90} \text{ esp. imp.} = 5,0 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$$



# Região 2 – imposição para a $Q_{7,10}$

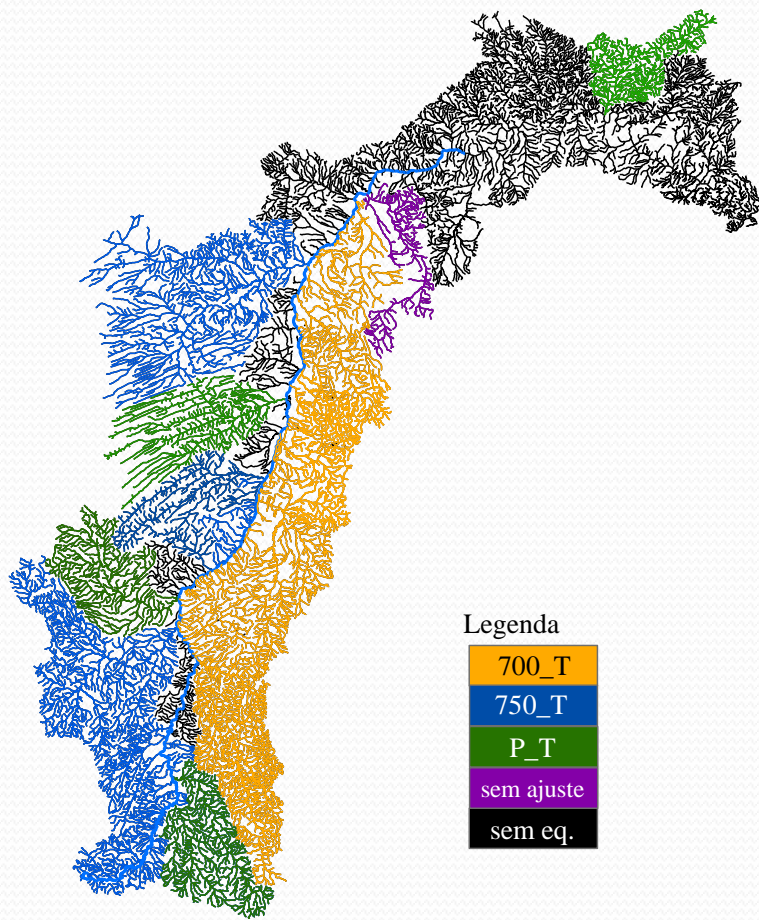
$$Q_{7,10} \text{ esp. imp.} = 2,7 \text{ L s}^{-1}\text{km}^{-2}$$



# Campos adicionados na BHTCOMG

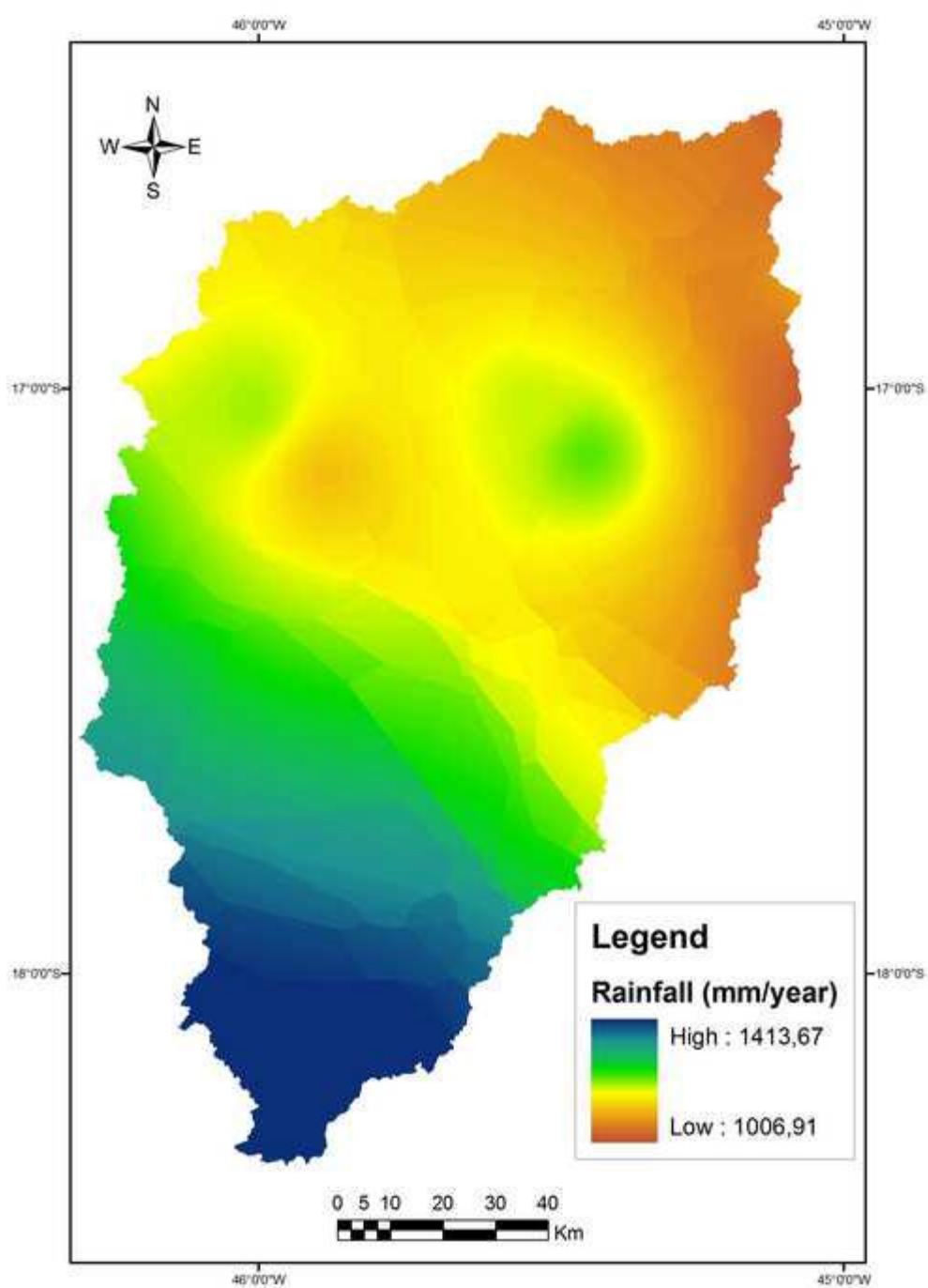
nulatpario	dtversao	Peg	Peg 750	Area	Qmld	Q95	Q90	Q710
-18,708321	05/11/2009	1,096829	0,543385	23,271194	0,411037	0,134302	0,16319	0,072942
-18,708321	05/11/2009	1,072102	0,53114	22,746371	0,401833	0,131432	0,159705	0,071326
-18,70904	05/11/2009	0,024014	0,011893	0,5097	0,009237	0,00359	0,004059	0,001704
-18,708321	05/11/2009	0,997605	0,494248	21,165154	0,374095	0,122765	0,149181	0,066453
-18,716	05/11/2009	0,033384	0,016533	0,708544	0,012812	0,004906	0,005642	0,002355
-18,708321	05/11/2009	0,938642	0,465055	19,913376	0,35213	0,115883	0,140823	0,062593
-18,727859	05/11/2009	0,25832	0,127908	5,483553	0,097764	0,0341	0,041474	0,017599
-18,72044	05/11/2009	0,055719	0,027597	1,182506	0,021309	0,007972	0,009416	0,003898
-18,708321	05/11/2009	0,574447	0,284715	12,182636	0,216225	0,072791	0,088486	0,038643
-18,708321	05/11/2009	0,518578	0,257044	10,99698	0,195332	0,066069	0,08032	0,034948
-18,73315	05/11/2009	0,037229	0,01844	0,790022	0,014277	0,005441	0,006291	0,002622
-18,74431	05/11/2009	0,11181	0,055394	2,372191	0,042558	0,015429	0,018776	0,007731
-18,708321	05/11/2009	0,305535	0,151511	6,476402	0,1155	0,040036	0,048689	0,020786
-18,708321	05/11/2009	0,175401	0,087029	3,715875	0,066558	0,023674	0,028801	0,012053
-19,76458	05/11/2009	2,680478	1,375628	54,866317	0,998415	0,323863	0,393284	0,181759
-19,788469	05/11/2009	0,050281	0,025763	1,030921	0,019243	0,007314	0,008209	0,003643
-18,348412	05/11/2009	143,283318	73,991902	2913,565465	51,942672	14,14017	17,126194	9,134261
-19,77783	05/11/2009	2,194927	1,120991	45,156866	0,818673	0,266757	0,323981	0,148632
-18,657009	05/11/2009	0,042324	0,020899	0,900883	0,016217	0,006126	0,007174	0,002966
-18,657339	05/11/2009	0,185936	0,091758	3,959986	0,070527	0,024892	0,030281	0,012697
-18,65844	05/11/2009	0,153363	0,07569	3,266028	0,058248	0,020741	0,025235	0,010508
-18,65844	05/11/2009	0,029105	0,014358	0,620089	0,01118	0,004292	0,004938	0,002051
-18,655411	05/11/2009	0,037755	0,018631	0,804104	0,014477	0,005494	0,006403	0,002649
-18,924431	05/11/2009	0,097349	0,047647	2,089854	0,037088	0,013377	0,01628	0,006667
-18,924431	05/11/2009	0,031947	0,015559	0,689088	0,012264	0,004631	0,005487	0,002219

Record: 0 Show: All Selected Records (0 out of 47434 Selected) Options



Legenda

- 700\_T
- 750\_T
- P\_T
- sem ajuste
- sem eq.

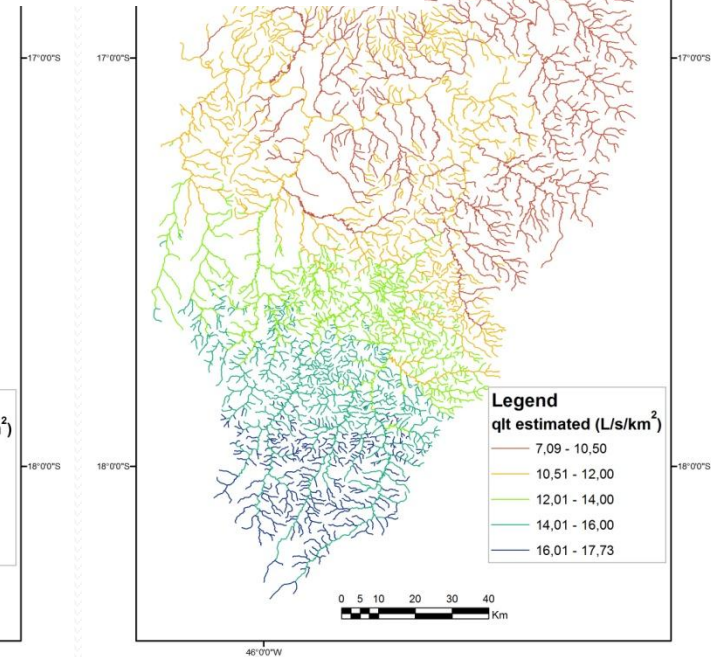
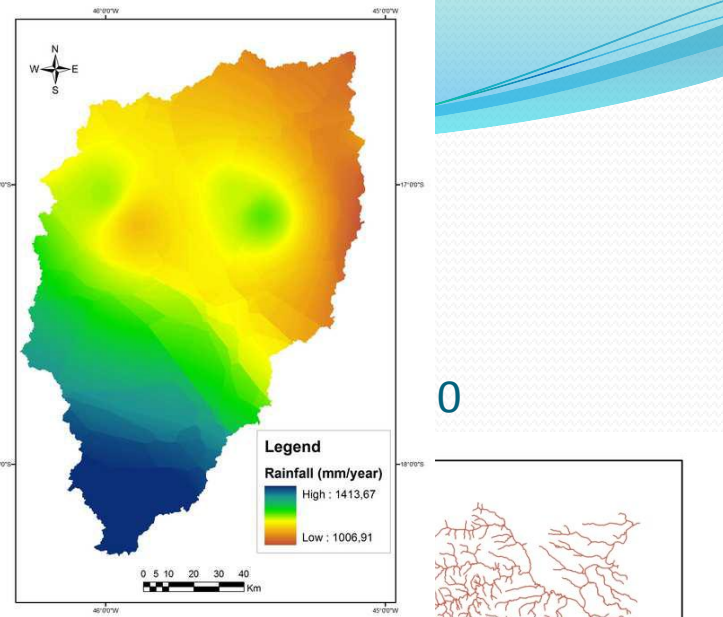
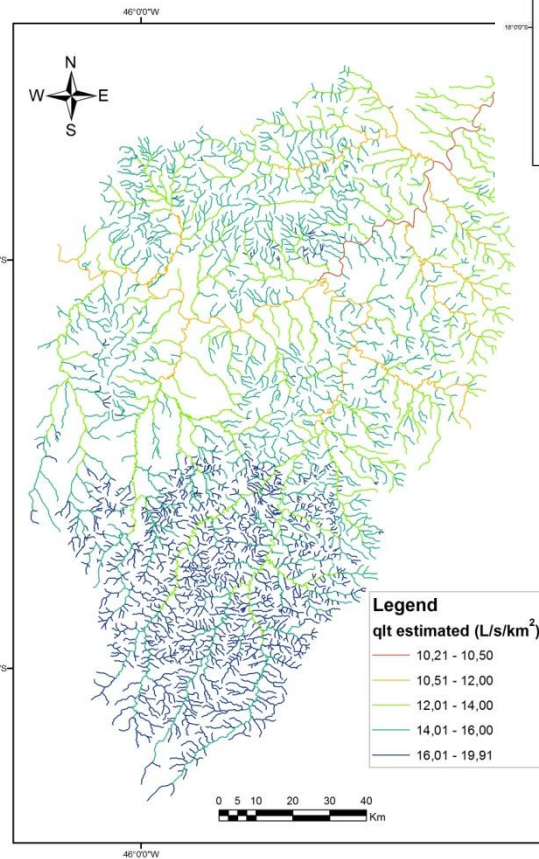
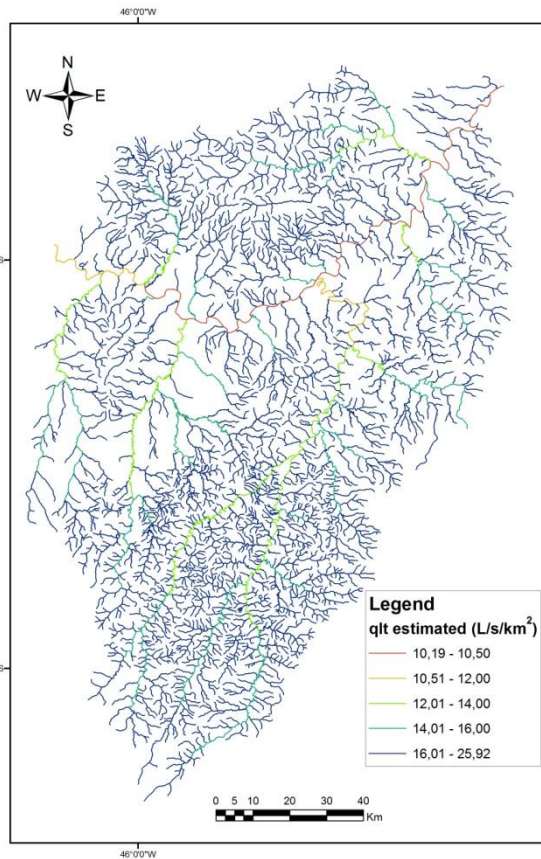


# Qmld

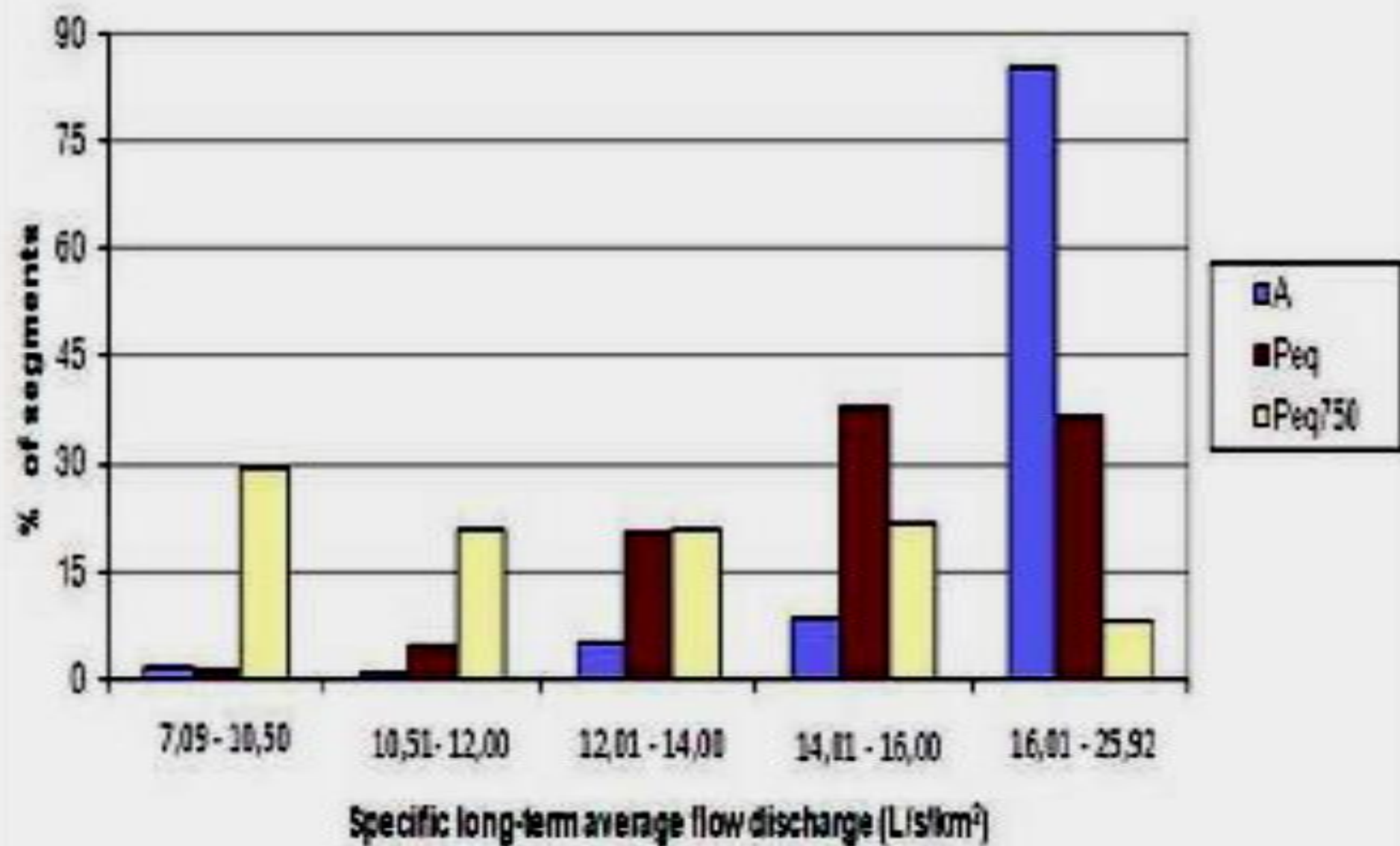
A

Peq

0

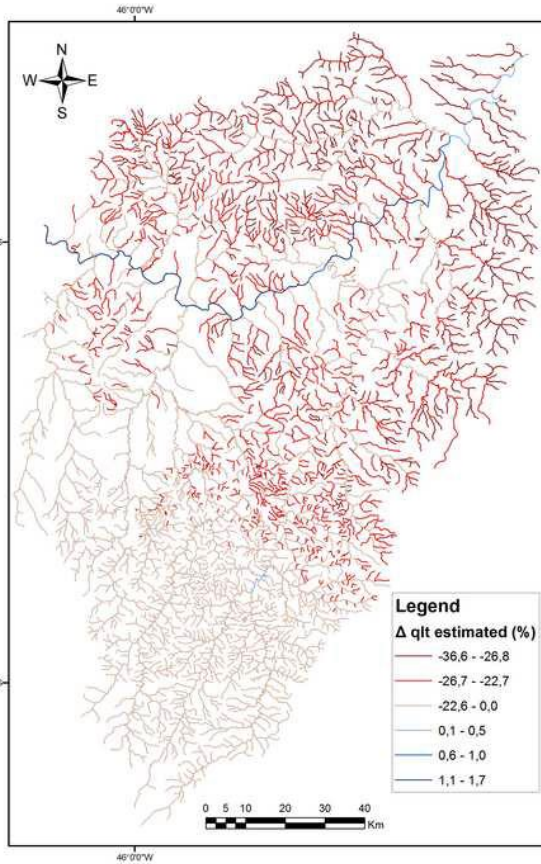




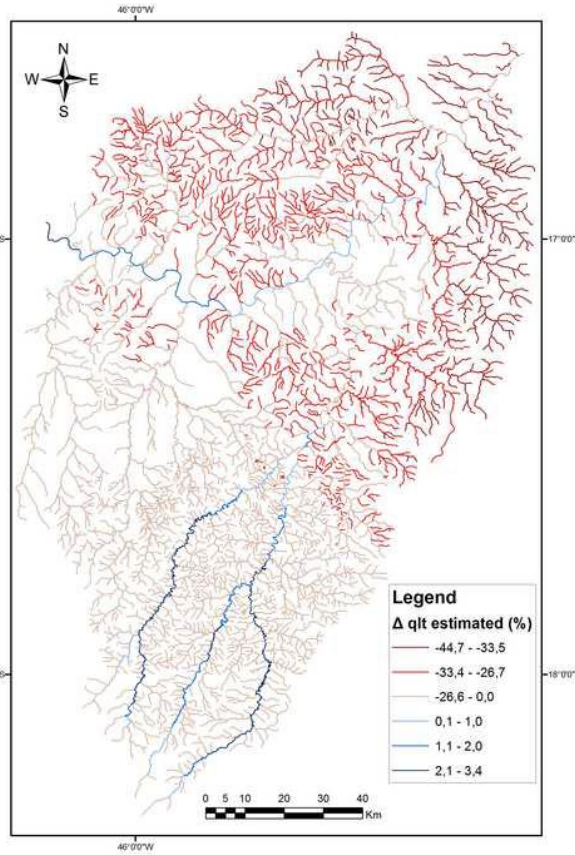


# Qmld

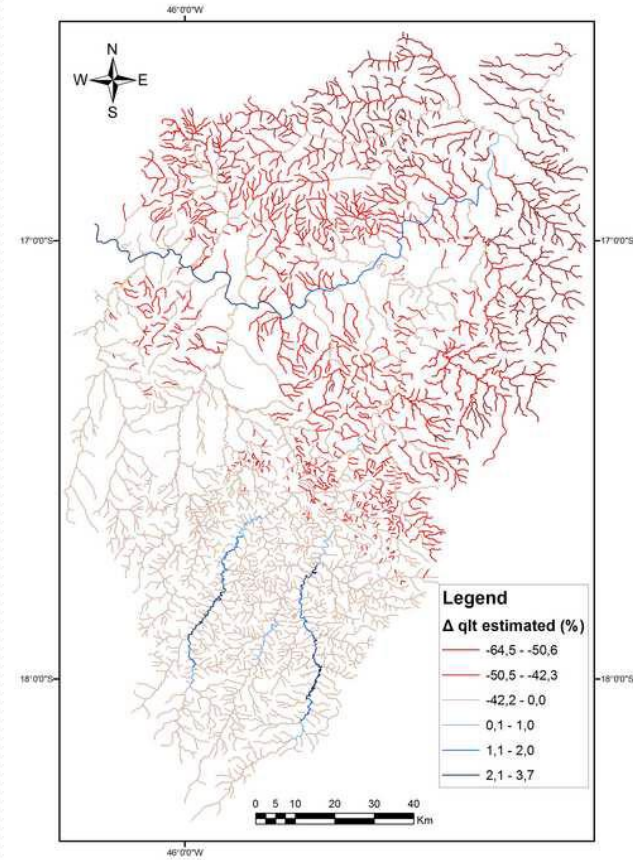
$\Delta (A \rightarrow Peq)$



$\Delta (Peq \rightarrow Peq750)$



$\Delta (A \rightarrow Peq750)$

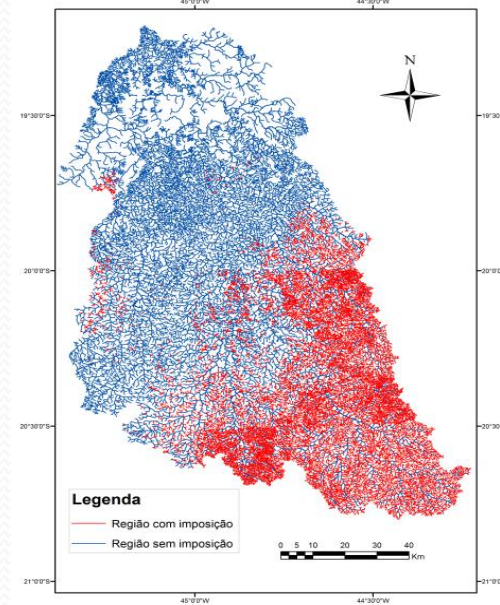
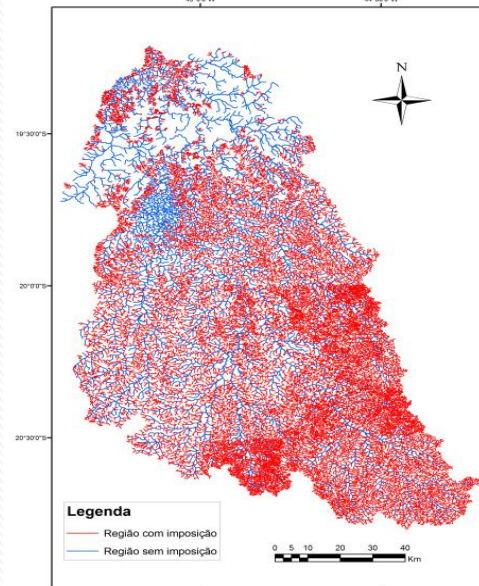
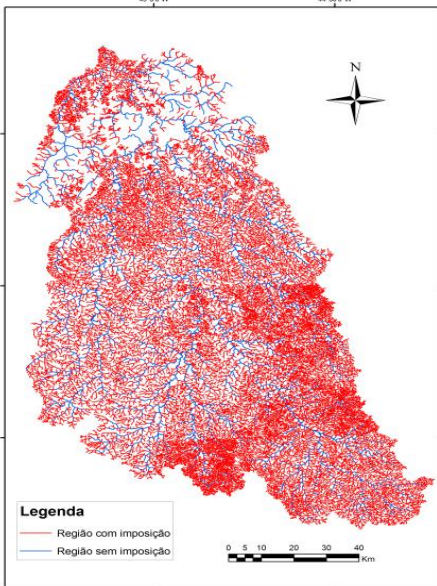
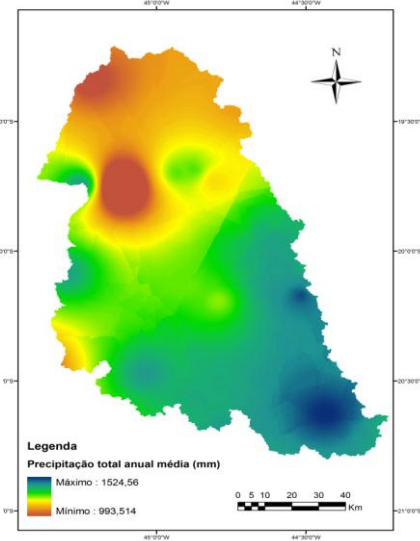
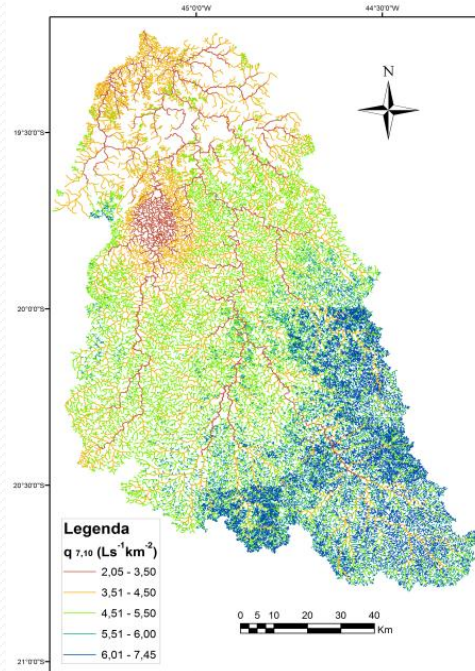
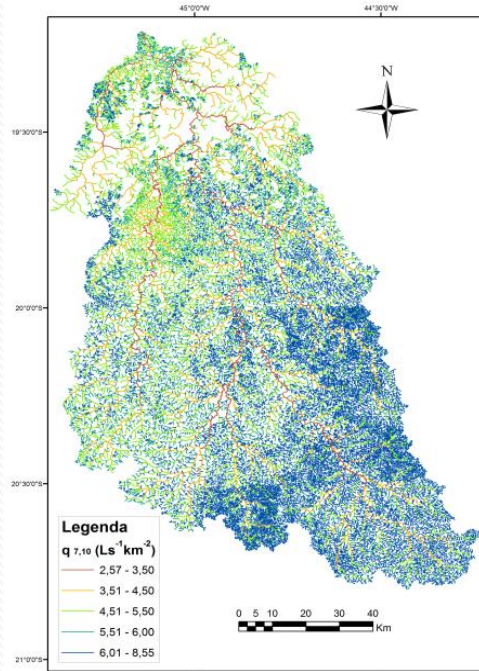
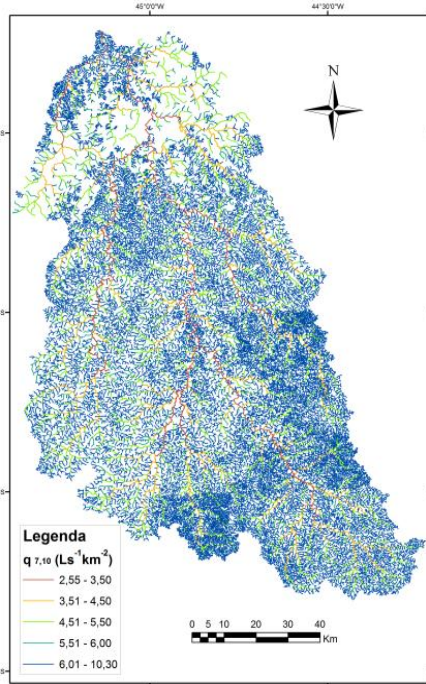


A

Peq

Peq750

Prec. Média Mensal



**MUITO OBRIGADO**