

Roteiro para Cálculo da Disponibilidade hídrica das Baixadas litorâneas fluminenses

Prof. Cláudio Augusto Barreto Saunders
Prof. Dr. Elson Antonio do Nascimento

UFF – Centro Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos.
24210-240 Niterói, Rio de Janeiro
saunders@esquadro.com.br
elson@vm.uff.br

Resumo: Este trabalho apresenta um roteiro para cálculo da disponibilidade hídrica das Baixadas Litorâneas Fluminenses do Rio de Janeiro usando a técnica de regionalização de vazões apoiada em informações geradas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Palavras chaves: Bacia hidrográfica, regionalização de vazões, disponibilidade hídrica e COBRAC

Abstract: This work presents an way for calculus of hydrics disponibility of municipalities of coastal littoral pertaining to the state of Rio de Janeiro using the technique of flood regionalization suported by informations generated by Geographical Information System (GIS).

Keywords: Hydrographic basin, flood regionalization, hydrics disponibility and COBRAC

1 Introdução

A disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é a parte fundamental nos estudos hidrológicos. A Bacia Hidrográfica é uma escolha estratégica para observações e análise de relações sócio-demográfico-ambientais, pois representa unidades naturais capazes de revelar as conseqüências da ação humana e as sóciodemográficas dos limites naturais, permitindo uma compreensão melhor da dinâmica entre as relações (Odum, 1988).

A regionalização de vazões nos estudos das bacias hidrográficas é usada com a finalidade de fornecer subsidios para os tomadores de decisão perante a Lei 9.433/97, principalmente no tocante à outorga.

No estudo da disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio São João foram avaliadas as metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência, ou seja, a vazão com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), vazão de permanência 90% e 95% (Q_{90} e Q_{95}) e Q_{MLT} entre outras.

2 Regionalização de vazões

Segundo Tucci (2000) a regionalização hidrológica pode ser definida como o processo de transferência de informação de um local para outro, dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. Esta transferência pode ocorrer na forma de uma variável, função ou parâmetro.

As variáveis hidrológicas mais importantes são a precipitação e a vazão. Nas bacias hidrográficas a implantação e operação de postos hidrológicos tem alto custo, principalmente em grandes bacias. Além disso, são necessários vários anos para que os dados históricos tenham boa representatividade estatística.

3 Revisão de literatura

Os métodos de regionalização, segundo Tucci (2000) são classificados em: (i) Métodos que regionalizam os parâmetros da distribuição de probabilidades, (ii) Métodos que regionalizam o evento com um determinado risco, e (iii) Métodos que regionalizam uma curva adimensional de probabilidades, genericamente denominado de método da cheia-índice ou *index-flood*.

A distribuição espacial de redes de hidrometria nem sempre atendem as necessidades de estudos hidrológicos o que dificulta a otimização de informações. Para contornar o problema, a técnica de regionalização de vazões tem sido empregada na espacialização dessas informações.

As variáveis hidrológicas mais importantes são a precipitação e a vazão. Nas bacias hidrográficas a implantação e operação de postos hidrológicos tem alto custo, principalmente em grandes bacias. Além disso, são necessários vários anos para que os dados históricos tenham boa representatividade estatística.

Atualmente alguns estudos sobre regionalização hidrológica podem ser postos em evidência, tais como em Atlas [2005], Araújo & Tavares (2003), Baena (2002), Azevedo (2004), Ribeiro (2005), Córdova (2007), Francisco (2004), ELETROBRÁS (1985), Regionalização [2002], Pinto & Alves (2003).

Regionalização [2002] adotou a regionalização do tipo (iii) mencionada, relacionando a vazão (variável dependente) com características fisiográficas e meteorológicas (variáveis explicativas ou independentes) para as bacias litorâneas de São Paulo e Rio de Janeiro, classificada como sub-bacia 59, segundo a ANEEL.

Ribeiro (2005) aplicou na bacia hidrográfica do Rio Doce o indicado pela ELETROBRÁS (1985) que utiliza equações de regressão regionais, aplicadas a regiões hidrológicamente homogêneas.

Baena (2002) utilizou o método tradicional, proposto pela ELETROBRÁS (1985), para regionalizar as vazões máxima, mínima e média de longo período para a bacia do Rio Paraíba do Sul, a montante da cidade de Volta Redonda.

Pinto & Alves (2003) utilizaram a metodologia de regionalização *index flood* proposta por Tucci (1993), baseada no uso dos momentos-L e na utilização das estatísticas definidas por Hosking e Wallis para estimar as vazões médias de longo termo, máximas e mínimas com diferentes durações para a bacia do alto São Francisco.

Euclides (1999) utilizou a metodologia de regionalização das vazões mínimas, máximas e médias de longo período que consiste, basicamente, na utilização de critérios para identificar as regiões hidrológicamente homogêneas, na bacia do Rio Paracatu.

4 Material e métodos

A região abrangida pela Bacia Hidrográfica do Rio São João está localizada na zona leste do Estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil, entre as coordenadas 22° 20' e 22° 50' de latitude sul e de 42° 00' e 43° 40' de longitude oeste. Estes dados descritivos foram obtidos através da carta ao milionésimo SF 23, escala 1/1.000.000 do IBGE.

Com cerca de 2.113 km² de área e perímetro de 266 km, a Bacia Hidrográfica do Rio São João abrange 08 municípios: Silva Jardim (940 km²), Casimiro de Abreu (352 km²), Araruama (351 km²), Rio Bonito (258 km²), Cabo Frio (188 km²), Cachoeiras de Macacu (53 km²), Rio das Ostras (10 km²) e São Pedro da Aldeia (8 km²). Em termos percentuais, esses municípios envolvem respectivamente: 43,52%, 16,30%, 16,26%, 11,94%, 8,70%, 2,46%, 0,44% e 0,38% da área da Bacia Hidrográfica.

A área em estudo compreende a porção da bacia a montante da represa de Juturnaíba, entre as coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*): N = 7.520.700 e N = 7.470.000, E = 741.000 e E = 792.030, zona 23-S, *South American Datum* (SAD)-69.

Os dados físicos foram obtidos com o emprego do software SPRING, desenvolvido no INPE, Brasil, sendo delimitadas 4 bacias, a partir das cartas plani-altimétricas, escala 1/50.000 e 1/100.000 e das imagens do sistema orbital LANDSAT 7, utilizadas como base para estimativas da disponibilidade hídrica.

A área em estudo com 1247 km² corresponde a pouco mais da metade de toda a bacia, sendo 590 km² correspondentes a sub-bacia do Rio São João com 53 km de extensão, 478 km² da bacia do Rio Bacaxá com 38 km de extensão, 153 km² do Rio Capivari com 24 km de extensão e 25 km² do Rio do Ouro, com 13,50 km de extensão.

Os dados hidrológicos usados foram os coletados pelas estações pluviométricas da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2001)b, Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – SERLA/RJ, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE e dados fluviométricos da ANEEL (2001)a, Serviços de Eletricidade S.A. – LIGHT e SERLA.

A metodologia de regionalização adotada no presente trabalho é a do tipo (iii) mencionada, relacionando a vazão (variável dependente) com as características fisiográficas e meteorológicas (variáveis explicativas ou independentes), genericamente denominada de método da cheia-índice ou *index-flood*.

5 Estudos de regionalização

Os estudos hidrológicos visam:

- Estimar variáveis e/ou parâmetros hidrológicos em locais sem dados
- Aumentar as amostras pontuais e em consequência, melhorar as estimativas das variáveis
- Verificar a consistência das séries hidrológicas
- Identificar a falta de postos de observação e séries históricas.

Os resultados dos estudos regionais são necessários para projetos tais como:

- Dimensionamento do volume de reservatórios
- Dimensionamento de obras hidráulicas
- Previsão de inundação
- Planejamento dos recursos hídricos.

Alguns exemplos de estudos de regionalização de variáveis e/ou parâmetros hidrológicos são:

- Vazão máxima instantânea com T anos de tempo de retorno
- Vazão mínima com duração D e tempo de retorno T
- Vazão média de longo período
- Curva de regularização de reservatório
- Características do hidrograma unitário
- Precipitação mensal, anual, com duração D e tempo de retorno T.

Na tabela 1, estão indicadas as estações utilizadas no mapeamento das isoietas que foram usadas na regionalização de vazão do Rio São João. Nela constam o nome da estação, código, localização geográfica, precipitação total anual, altitude e situação quanto a operação.

Tabela 1 – Estações

Código	Nome	Sub-bacia	Longitude	Latitude	Prec. Total Anual (mm)	Altitude(m)	Operando
02241002	Usina Quissama	59	41 28 16 W	22 0622 S	956	15	Sim
02241003	Macabuzinho	59	41 42 32 W	22 04 39 S	1077	19	Sim
02241004	Fazenda Oratório	59	41 59 03 W	22 15 33 S	1552	50	Sim
02241016	Macaé	59	41 47 00 W	22 22 00 S	1197	3	Não
02242001	Leitão da Cunha	59	42 02 39 W	22 02 34 S	1535	425	Sim
02242002	Maria Mendonça	59	42 09 49 W	22 11 11 S	1640	800	Sim
02242003	Piller	59	42 20 21 W	22 24 17 S	2331	670	Sim
02242004	Galdinópolis	59	42 22 51 W	22 21 49 S	1959	740	Sim
02242005	Fazenda São João	59	42 30 00 W	22 23 22 S	2142	1010	Sim
02242006	Rio Dourado	59	42 05 07 W	22 28 33 S	1925	12	Sim
02242007	Quarteis	59	42 18 43 W	22 27 47 S	2366	58	Sim
02242008	Gaviões	59	42 32 46 W	22 32 56 S	2078	1620	Sim

Na tabela 2, estão dispostas as estações fluviométricas e suas características físicas que serão usadas para o estudo da bacia hidrográfica do Rio São João.

Tabela 2 – Estações fluviométricas

Nº	Estação	Código	Q _{MLT} (m³/s)	A. D (km²)	L(km)	D.Total D(m/m)	D.Média S(m/m)	Precip P(mm)	N.Confl. NC	Período Consistido
1	Macabuzinho	59100000	13,22	626	93,9	0,016773	0,082617	1518	797	1930/1999
2	Macaé de Cima	59120000	2,7	67	16	0,043125	0,123694	2438	114	1967/1999
3	Galdinópolis	59125000	4,35	101	27,8	0,029676	0,095475	2299	175	1950/1999
4	Piler	59135000	3,45	75	19,9	0,025628	0,073903	2318	127	1950/1999
5	Correntezas	59180000	14,13	404	34,7	0,019885	0,215591	2117	182	1969/1997
6	Cach. Macacu	59235000	8,29	148	22,1	0,080769	0,251052	2419	152	1930/1978*
7	Parque Ribeira	59240000	10,85	287	37	0,048703	0,221083	2180	185	1979/1999
8	Quizanga	59245000	11,39	352	30	0,049600	0,200708	2044	376	1969/1978*
9	Orindi	59245100	2,83	67	14,1	0,075745	0,248825	2307	38	1969/1978*
10	Faz. Garrafas	59355000	0,77	22	6,8	0,050735	0,108659	1750	67	1978/1999
11	Faz. da Posse	59360000	1,465	22	7	0,049286	0,093136	1750	68	1969/1978*
12	Faz. Fortaleza	59370000	25,09	597	49,4	0,036842	0,066347	1774	1519	1935/1999
13	Parati	59380000	4,38	79	15,8	0,094620	0,146115	2469	153	1962/1999

* Estações extintas

6 Regressão e correlação das vazões

A regionalização tem quatro partes distintas:

- Análise de regressão de uma variável de adimensionalização com características físico-climáticas da bacia
- Análise de frequência e vazões adimensionais
- Avaliação da variância da estimativa
- Mapeamento de isolinhas

No estudo da regressão foi utilizado o programa EXCEL como ferramenta de análise. As equações de regressão poderão ser lineares ou não, simples ou múltiplas, dos tipos:

$$Q_m = aA + bP + cDD + \dots$$

$$Q_m = aA^b P^c DD^d \dots$$

Foi usado o Coeficiente de Correlação R (R múltiplo, R-quadrado, R-quadrado ajustado) .

As características físicas usualmente utilizadas como variáveis independentes nas regressões são:

- A = área da bacia (km²)
- D = declividade média do rio principal (km)
- L = comprimento do rio principal (km)
- DD = densidade de drenagem (junções/km²)
- PA = precipitação anual (mm)

No ajuste das equações podem ser utilizados os modelos de regressão:

- Linear
- Potencial
- Exponencial
- Logaritmico
- Recíproco

No estudo da bacia hidrográfica do Rio São João foi utilizado o **modelo potencial**.

6.1 Índices de vazões

As vazões a serem determinadas no estudo da regionalização, entre outras, são:

- $Q_{7,10}$ - vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, em m³/s.
- Q_{MLT} - vazão média de longo período, em m³/s.
- Q_{95} - vazão com intervalo diário e 95% da curva de permanência, em m³/s.
- Q_{90} - vazão com intervalo diário e 90% da curva de permanência, em m³/s.

6.2 Cálculo da regressão e correlações

Neste estudo foi utilizado o programa EXCELL, (Lapponi,2005) como ferramenta de análise de regressão, obtendo-se os valores constantes da tabela 3 a seguir, constando de tres partes.

Tabela 3 – dados da regressão

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,982365748
R-Quadrado	0,965042462
R-quadrado ajustado	0,961546709
Erro padrão	1,377696909
Observações	12

ANOVA

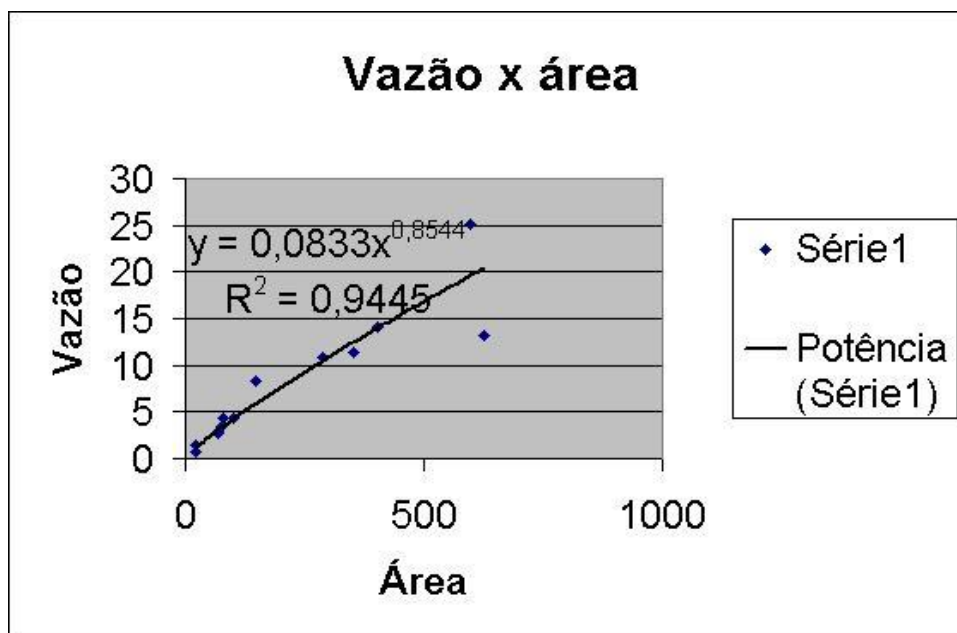
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	523,978	523,978	276,06134	1E-08
Resíduo	10	18,9805	1,89805		
Total	11	542,958			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,497711093	0,57836	0,86056	0,4096383	-0,791	1,78637	-0,79094812	1,786370303
626	0,037695843	0,00227	16,6151	1,304E-08	0,0326	0,042751	0,03264071	0,04275098

6.2.1 Modelo de regressão potencial

Na figura 1 é apresentado um gráfico, obtido com a aplicação do Excell, (Lapponi, 2005), usando dados da tabela 2.

Figura 1- Gráfico vazão x área



6.3 Aplicação

As combinações prováveis de variáveis na regressão são apresentadas no quadro 1, a seguir. A combinação a ser escolhida será em função do R^2 e αF .

Quadro 1 – Variáveis (dados físicos)

Número de			
Variáveis	Variáveis	R^2_{ajustado}	αF
5	A, PA,D,DD,L	-	-
4	A,PA,D, DD	-	-
3	A,PA, D	-	-
2	A, PA	-	-
1	A	-	-

6.4 Equações regionais

As equações regionais para a vazão média de longo período da bacia hidrográfica do Rio São João foram calculadas e são apresentadas no quadro 2 abaixo, considerando o R^2 ajustado e onde se tem **A** em km², **P** em m e **Q_{MLT}** em m³/s, porque julgou-se que o acréscimo do coeficiente R^2 obtido com a introdução da variável P não é significativo.

Quadro 2 – Equações regionais

Equação regional Sendo: $Q(m^3/s)$, $A(km^2)$ e $P(m)$	R^2 Ajustado	Validade Área (km^2)
$Q_{MLT} = 0,0533 A^{0,9204} P^{0,2369}$ $Q_{MLT} = 0,063 A^{0,9228}$	0,9575 0,9607	22 a 600
$Q_{MLT} = 0,063 A^{0,9228}$	0,9607	Valores escolhidos

As sub-bacias que compõem a área em estudo são: São João com 590 km^2 , Bacaxá com 478 km^2 , Capivari com 153 km^2 e Do Ouro com 25 km^2 . A bacia do rio do Ouro não foi considerada nos cálculos acima, pois atualmente encontra-se inundada pelas águas de Juturnaíba.

6.5 disponibilidade hídrica

A disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio São João foi calculada em função dos três principais rios (São João, Bacaxá e Capivari), aplicando-se a vazão média de longo período, a Q_{MLT} , cujo valor calculado é igual a 47,94 m^3/seg .

Na estimativa da disponibilidade hídrica não foram consideradas as mudanças climáticas que possam modificar as condições hidrometeorológicas da região.

6. População

A bacia hidrográfica do Rio São João, localizada na região sudeste do estado do Rio de Janeiro, sofreu modificações pela construção de várias obras hidráulicas. A maior delas, a barragem de Juturnaíba e as canalizações de trechos de seus principais rios (Aldeia Velha, Bacaxá, Capivari e São João). A referida região tem sofrido uma grande especulação imobiliária, a partir da década de 70, em decorrência das melhorias de acesso, como a construção da ponte Costa e Silva que dá acesso à Região dos Lagos (Baixada litorânea fluminense) e das condições de saneamento, registrando um aumento de população de 301.379 habitantes em 1980 para 536.974 habitantes em 2000 (CIDE, 2000). Vale ressaltar que os valores em condições normais da população é quadruplicado nos feriados e festas de fim de ano.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2002) revela que o volume de água distribuído *per capita* nos estados brasileiros varia entre 80 e 550 L/hab.dia. O estado do Rio de Janeiro apresenta o maior consumo, que corresponde à relação entre a demanda hídrica total de 500 L/hab.dia, incluídas aí as atividades econômicas e o uso domiciliar, pelo número de habitantes.

Nas condições acima, a demanda hídrica da região em estudo corresponde a 3,10 m^3/seg , considerando, apenas, a população residente. Este valor é resultante do cálculo entre o valor total da população e o consumo per capita de 500 L/hab.dia.

Considerando a população flutuante dos fins de semana e feriados a demanda hídrica sobe para 12,43 m^3/seg .

7 Considerações finais

No presente estudo foram utilizados, apenas, valores referentes à vazão média de longo período, a Q_{MLT} , tendo em vista que se trata de um roteiro.

Para confirmação de resultado deste trabalho, com vistas à outorga, há necessidade de reativação de estações ora inoperantes e/ou extintas.

É escassa a existência de mananciais na baixada litorânea fluminense (Região dos Lagos), que é abastecida pelas águas provenientes da bacia hidrográfica do Rio São João.

A disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio São João atende a demanda das baixadas litorâneas fluminenses.

8 Referências Bibliográficas

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.: *Inventário de estações fluviométricas*. Superintendência de estudos e informações hidrológicas (Coord.). Brasília – DF, 2001a.

-----, *Inventário de estações pluviométricas*. Superintendência de estudos e informações hidrológicas (Coord.). Brasília – DF, 310p, 2001b.

Araújo, L. M. N.; Tavares, J. C.: *Regionalização de vazões da bacia do rio Paraíba do Sul*. In XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – PR, Nov. 2003. Anais em CD, 2003.

ATLAS digital das águas de Minas; uma ferramenta para planejamento e gestão dos recursos hídricos.: Coordenação técnica, direção e roteirização Humberto Paulo Euclides. Belo Horizonte: RURALMINAS; Viçosa: UFV, [2005]. 1 cd-rom + manual (78p.). ISBN 85 – 7601 082-8.

Azevedo, A. A.: *Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do Rio Paraná*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), UFV, Viçosa – MG 101p., 2004.

Baena, L. G. N.: *Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), UFV, Viçosa – MG, 135p., 2002.

Bertonl, J. C.; Tucci, C. E. M.: *Precipitação*. In: TUCCI, C.E.M.(org). **Hidrologia**. Porto Alegre, EDUSP, ABRH, 1993.P. 177-231.(Coleção ABRH de Recursos Hídricos,4).

CIDE - CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE.: *Anuário Estatístico do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, v.16,p. 1-589, 1999 – 2000.

Córdova, R. N. et al.: *Regionalização da curva de permanência como base para o gerenciamento da bacia do ITAJAÍ*. UFSC – Florianópolis – SC. 7p., 2007.

ELETROBRÁS. *Regionalização de vazões*. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 1985. 71p.

Euclides, H. P. et al.: *Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto e Médio São Francisco, em Minas Gerais*. In: **Recursos Hídricos e Suporte Tecnológico a Projetos Hidroagrícolas**. Viçosa: UFV/RURALMINAS/ANA,2002.p1-142 (Boletim Técnico n° 6).

..... *RH3.0 Regionalização Hidrológica: Manual do programa*. Viçosa: UFV, DEA; Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte – MG; Ruralminas. 149p., 1999.

Francisco, C. N.: Subsídios à gestão sustentável dos recursos hídricos no âmbito municipal: o caso de Angra dos Reis,RJ. Tese (Doutorado em Geociências) UFF, Niterói –RJ 148p.,2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.: *Pesquisa nacional de saneamento básico*. Rio de Janeiro, 2002.

Laponl, J. C.: *Estatística usando Excel*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2005. 476p.

Odum, E. P.: *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 434p.

Pinto, E. J. A. & Alves, M. M. S.: *Regionalização da vazões da bacia do alto São Francisco*. in **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Curitiba – PR, Nov. 2003.

REGIONALIZAÇÃO de vazões da sub-bacia 59.: Coordenação técnica Lígia Maria Nascimento de Araújo. São Paulo – SP ; CPRM. 63p., 2002.

Ribeiro, C. B. M. et al.: *Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do Rio Doce*. UFV, Viçosa – MG 15p., 2005.

Tucci, C. E. M.: *Regionalização das Vazões* – Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL – IPH – UFRGS.Porto Alegre. 254p. 2000.

..... – *Hidrologia, Ciência e Aplicação* – ABRH, Editora da Universidade – UFRGS. Porto Alegre, 1993.