



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE, ESTADO DA BAHIA, BRASIL

*Fagner da Rocha dos Santos¹ ; Weriskiney Araújo Almeida² ; Michel Castro Moreira³ &
Demetrius David da Silva⁴*

RESUMO – O presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento hidrológico da precipitação e das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}), média de longa duração (Q_{mld}) e máxima ($Q_{máx}$) da bacia do rio Grande. Os dados pluviométricos e fluviométricos foram obtidos do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb). As vazões mínimas, média e máxima das estações da bacia, bem como o coeficiente de escoamento superficial (CE) e a vazão específica das estações foram estimadas. A partir da análise dos dados, identificaram-se regiões com maior disponibilidade hídrica e maior capacidade de escoamento superficial na bacia.

ABSTRACT – This study aimed to analyze the hydrological behavior of precipitation, minimum flows ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}), long-term average flow (Q_{lt}) and maximum flow (Q_{max}) of the Grande river basin. Pluviometric and fluviometric data were obtained from the Hydrological Information System (HidroWeb). Minimum, long-term average and maximum flows as well as the superficial flow coefficient (CE) and the specific flows of the stations were estimated. From data analysis, it was identified regions with more water availability and more superficial flow capacity.

Palavras-Chave – vazão; precipitação; recursos hídricos.

1) Engenheiro sanitaria e ambiental. fagner_r_s@yahoo.com.br.

2) Mestrando em Eng. Hidráulica e Saneamento, USP/EESC, São Carlos-SP. Bolsista FAPESP.

3) Professor Adjunto, UFOB/CCET. Barreiras-BA.

4) Professor Associado, UFV/DEA. Viçosa-MG. Bolsista CNPq.

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos sofrem modificações em decorrência da captação de água, construção de barragens e expansão agropecuária na bacia. Assim, o conhecimento da distribuição da disponibilidade de água é de fundamental importância para o planejamento de uso do solo, de novas áreas irrigadas e da disponibilidade dos recursos hídricos na bacia (PEREIRA et al., 2003).

A inexistência ou precariedade de dados hidrológicos, no entanto, faz com que seja necessário conhecer os dados existentes, a fim de se subsidiar a realização de um adequado programa de gestão e planejamento de recursos hídricos (MOREIRA e SILVA, 2010). Na bacia do rio Grande, localizada na região Oeste do Estado da Bahia, é evidenciada uma grande carência de estações fluviométricas e pluviométricas, o que compromete a condução de pesquisas na área ambiental.

O Oeste da Bahia tornou-se a principal fronteira agrícola do Estado. Nas décadas de 1980 e 1990, a região passou por um processo de expansão agropecuária, acarretando profundas modificações no que se refere ao uso e ocupação do solo. Devido a isso, a Bahia tornou-se um grande produtor nacional de soja, milho, algodão, café e frutas (MENDONÇA, 2006).

Contudo, na bacia do rio Grande, isso ocasionou diversos impactos ambientais, dentre eles a perda de habitat, o aumento das queimadas e redução da biodiversidade, erosão, assoreamento e diminuição da vazão dos rios que drenam a região (FERRAZ, 2008). Portanto, torna-se necessário o conhecimento das características hidrológicas dessa bacia, a fim de procurar soluções que minimizem os impactos ambientais advindos, principalmente os relacionados ao uso da água.

Dada à importância do comportamento hidrológico de uma região, tendo em vista que este afeta os setores produtivos, bem como toda a população, e considerando a fronteira agrícola existente no oeste baiano, o presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento hidrológico da precipitação e das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}), média de longa duração (Q_{mld}) e máxima ($Q_{máx}$) da bacia do rio Grande, visando fornecer subsídios a adoção de um adequado programa de gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Grande (Figura 1), localizada na região Oeste do Estado da Bahia, drena uma área de aproximadamente 78.500 km². O rio Grande é um dos principais contribuintes do rio São Francisco e seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios das Fêmeas, Ondas, Branco e Preto, enquanto que pela margem direita têm-se os rios São Desidério, Boa Sorte e Tamanduá (FERRAZ, 2008; MOREIRA e SILVA, 2010).

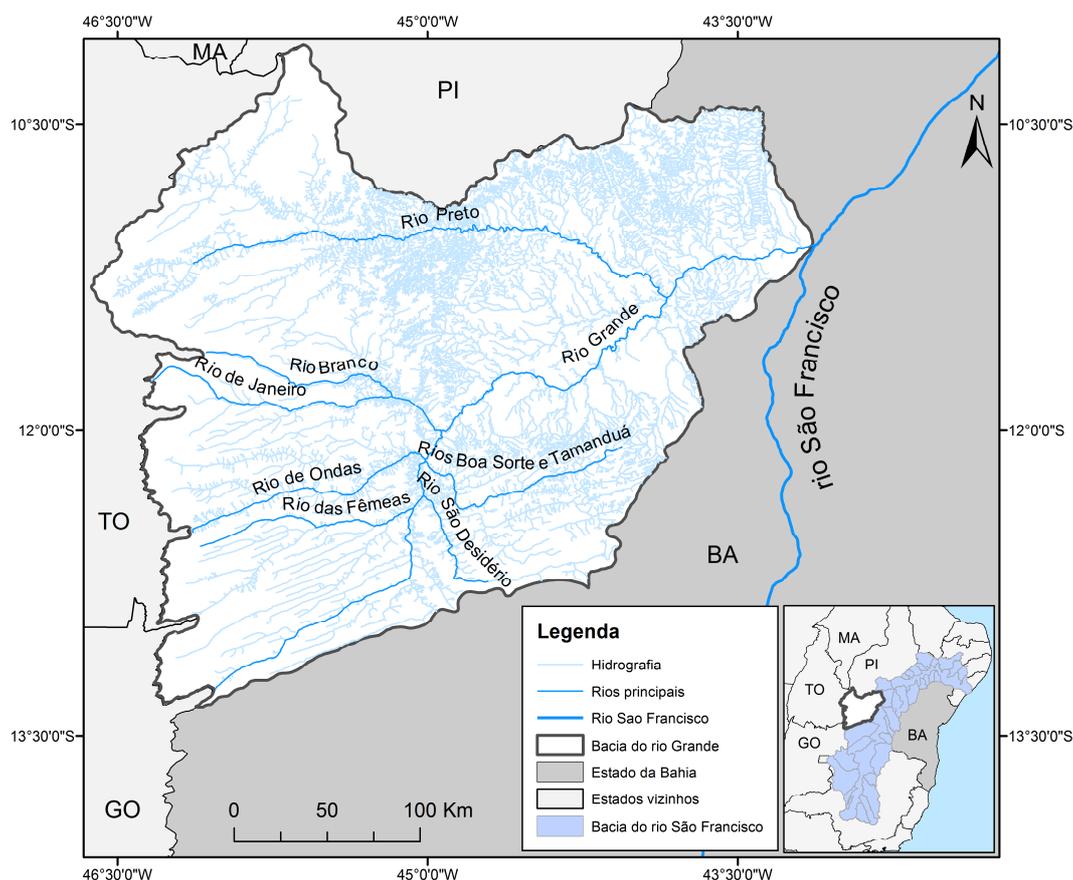


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Grande.

2.2. Obtenção e geração de dados

2.2.1 Dados fluviométricos

Com vistas à estimativa e análise das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}), média de longa duração (Q_{mld}) e máxima ($Q_{máx}$) da bacia do rio Grande, foram analisados os dados diários de vazão das estações fluviométricas (Figura 2) pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb).

Foram identificadas 97 estações fluviométricas na bacia do rio Grande. Objetivando caracterizar o período de dados disponível em cada estação, permitindo-se, assim, a identificação do período base e as estações a serem utilizadas no estudo, foi elaborado diagrama de barra das estações fluviométricas existentes.

Verificou-se pelo diagrama de barra que 68 estações fluviométricas não possuem série histórica disponível no sistema Hidroweb. Das 29 estações que possuem série histórica, apenas 16 apresentam série superior a 10 anos.

Foram utilizadas no estudo 16 estações fluviométricas (Figura 2), e selecionado o período base de 30 anos, compreendendo os anos de 1981 a 2010, correspondendo ao período com maior quantidade de dados disponíveis nas estações.

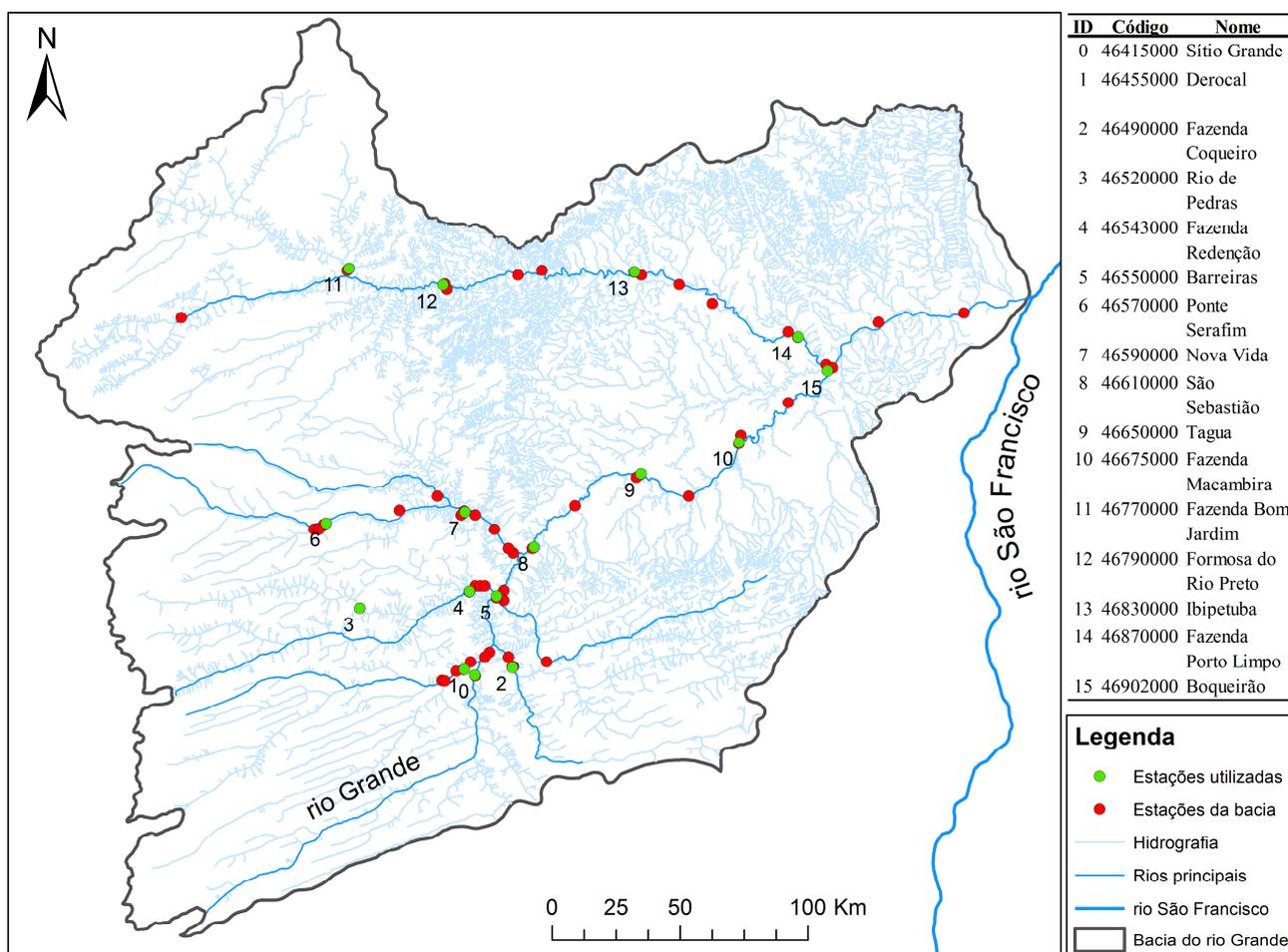


Figura 2 – Mapa de localização das estações fluviométricas da bacia do rio Grande.

As vazões mínimas de referência obtidas foram a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) e as associadas às permanências de 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}), tendo em vista serem as vazões mínimas de referência comumente utilizadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos. Para o cálculo das vazões mínimas de referência utilizou-se o programa computacional SisCAH - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUZA et al., 2009).

A vazão média de longa duração (Q_{mld}) foi obtida para cada estação fluviométrica, pela média das vazões médias anuais, tendo sido utilizado na obtenção deste valor o software Hidro 1.2, desenvolvido por ANA (2009).

A vazão máxima histórica diária ($Q_{m\acute{a}x}$) do período analisado foi determinada utilizando-se os dados diários de vazões, dos quais, para cada ano, obteve-se o maior valor. A identificação do maior valor de vazão para cada estação fluviométrica foi realizada utilizando-se o programa computacional Hidro 1.2.

2.2.2 Dados pluviométricos

Com vistas à espacialização da precipitação média anual da bacia do rio Grande, foram analisados os dados diários de precipitação das estações pluviométricas da bacia e seu entorno (Figura 3), pertencentes à rede hidrometeorológica da ANA e disponibilizados no HidroWeb.

Foram identificadas na bacia do rio Grande 143 estações pluviométricas, sendo que 101 possuem série histórica no sistema Hidroweb. Dentre essas, 63 possuem série histórica de dados diários igual ou superior a 10 anos (Figura 3).

Para fins de análise dos dados de precipitação, selecionou-se o período base de 30 anos, compreendendo os anos de 1981 a 2010, conforme realizado no estudo das vazões.

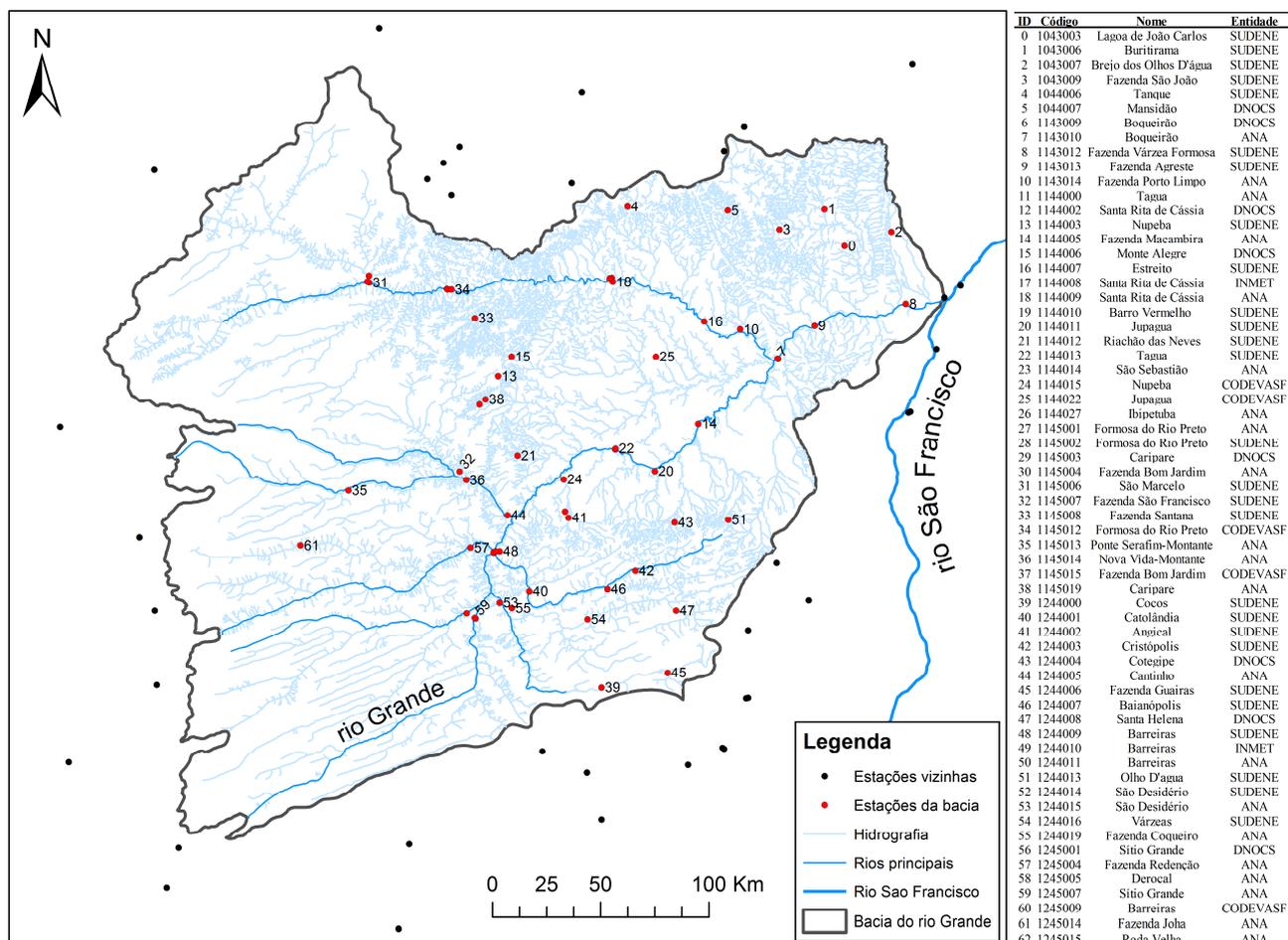


Figura 3 – Mapa de localização das estações pluviométricas da bacia do rio Grande e seu entorno utilizadas no estudo.

A precipitação média anual foi obtida para cada estação pluviométrica, pela média das precipitações totais anuais. Este procedimento foi realizado utilizando-se o software Hidro 1.2 e planilhas eletrônicas do programa computacional Microsoft Excel.

A espacialização da precipitação média anual da bacia foi realizada por meio de interpolação, com base no método Inverso de uma Potência da Distância (IDW), disponível no módulo *Spatial Analyst* do programa computacional ESRI ArcGIS® (ArcGIS). Nesse procedimento, utilizaram-se as estações vizinhas (Figura 3) à bacia para melhorar o resultado da interpolação nas regiões próximas a seus limites.

2.2.3 Modelo digital de elevação

Tendo em vista as discrepâncias entre as áreas de drenagem das estações fluviométricas observadas no sistema Hidroweb e no Inventário das Estações Fluviométricas (ANA, 2009), foi necessário o cálculo das áreas de drenagem de cada estação fluviométrica utilizando-se o modelo digital de elevação (MDE) da bacia do rio Grande.

A metodologia para a geração e validação do MDE foi realizada conforme as etapas descritas por Alves Sobrinho et al. (2010), Baena et al. (2004) e Pires et al. (2005), sendo estas: amostragem, pré-processamento dos dados de drenagem e elevação, geração do MDE, pós-processamento do MDE e validação do MDE. Nas etapas de geração e validação do MDE foram realizadas operações manuais e automáticas, com a utilização do programa computacional ESRI ArcGis.

De posse do MDE da bacia do rio Grande, foram calculadas as áreas de drenagem de cada estação fluviométrica, bem como, com a utilização do mapa da espacialização da precipitação média anual da bacia, calculada a precipitação média anual para a área de drenagem de cada estação fluviométrica.

2.3. Cálculo da vazão específica (Q_e) e do coeficiente de escoamento (CE)

Uma forma utilizada para a determinação da vazão em local onde não existem dados de vazão é multiplicando a vazão específica (Q_e) da localidade que esteja mais próxima pela área do local que não possui dados, supondo que a vazão estabeleça uma proporcionalidade linear entre as áreas.

A vazão específica (Q_e) das estações fluviométricas da bacia do rio Grande foi obtida por meio da relação entre as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}), média de longa duração (Q_{mld}) e máxima ($Q_{máx}$) e a área de drenagem de cada estação fluviométrica, conforme a equação

$$Q_e = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

em que

$$\begin{aligned} Q_e &= \text{vazão específica, em } m^3 s^{-1} km^{-2}; \\ Q &= \text{vazão analisada } (Q_{7,10}, Q_{90}, Q_{95}, Q_{mld} \text{ ou } Q_{máx}), \text{ em } m^3 s^{-1}; \text{ e} \\ A &= \text{área de drenagem da estação fluviométrica, em } km^2. \end{aligned}$$

O volume escoado na seção de deságue de uma bacia hidrográfica representa somente uma parcela do volume precipitado. No presente trabalho, utilizou-se o coeficiente de escoamento (CE) com o objetivo de caracterizar a relação entre o volume que escoo por uma determinada seção de deságue e o volume total precipitado na área de drenagem, sendo calculado pela equação

$$CE = \frac{V_{Tesc}}{V_{Tprec}} \quad (2)$$

em que

- CE = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;
V_{Tesc} = volume médio anual que escoo na seção de deságue, em m³; e
V_{Tprec} = volume médio anual que precipita na área de drenagem, em m³.

O volume médio anual que escoo na seção de deságue foi calculado pelo produto da vazão média de longa duração, em m³ s⁻¹, pelo número de segundos existentes no ano (31.536.000 s).

O volume médio anual que precipita na área de drenagem foi obtido pelo produto da precipitação média anual da área de drenagem da seção de deságue pela área de drenagem da seção de deságue.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As vazões específicas relativas às vazões mínimas, média e máxima são apresentadas, em ordem crescente de área de drenagem de cada posto, na Tabela 1, bem como os respectivos coeficientes de escoamento superficial.

Para cada posto, a Q_{7,10} é a vazão mínima de referência que apresenta o menor valor de vazão entre as vazões mínimas estudadas neste trabalho. A segunda menor vazão é a Q₉₅, sendo, portanto, a Q₉₀ a maior das vazões mínimas. Como, na bacia do rio Grande, a Q₉₀ é a vazão mínima de referência utilizada para outorga dos recursos hídricos, então o critério utilizado não é o mais restritivo possível (BAHIA, 1997).

Pela Tabela 1, considerando-se os postos individualmente, pode-se verificar a amplitude de vazões. Por exemplo, no posto São Sebastião, a vazão média é de 181,98 m³s⁻¹ e a vazão máxima de 706,42 m³s⁻¹, sendo a diferença de 524,44 m³s⁻¹. Já no posto Taguá, a Q_{md} é de 183,97 m³s⁻¹ e a Q_{máx} é de 624,00 m³s⁻¹, sendo a diferença de 440,03 m³s⁻¹. Assim, a diferença entre as vazões máxima e média é maior no posto São Sebastião do que no posto Taguá.

Ainda de acordo com a tabela, o maior valor de vazão máxima na bacia é referente ao posto Boqueirão, enquanto o menor valor é do posto Rio de Pedras. O mesmo ocorre com a diferença entre as vazões média e máxima de cada posto. Esses resultados coincidem com o fato de a área de drenagem do primeiro ser a maior da bacia e a do segundo ser a menor.

Considerando a vazão específica, quando a comparação é feita entre os postos, variam a área de drenagem e as vazões, ficando evidentes dois casos. No primeiro, o aumento das vazões é relativamente maior que o aumento da área, e a vazão específica aumenta entre os postos nessa condição. No segundo, o aumento das vazões é relativamente menor que o aumento da área, e a vazão específica diminui de montante para jusante.

Tabela 1 – Vazões mínimas, médias e máximas e suas respectivas vazões específicas e coeficientes de escoamento superficial (CE)

Código	Nome da estação	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{md}	Q _{máx}	q _{7,10}	q ₉₀	q ₉₅	q _{md}	CE
46520000	Rio de Pedras	10,65	11,62	11,17	16,21	33,5	7,9	8,6	8,3	12,1	0,18
46570000	Ponte Serafim- montante	4,38	6,76	5,77	13,53	54,04	1,7	2,6	2,2	5,2	0,20
46490000	Fazenda Coqueiro	2,25	2,93	2,50	5,60	68,8	0,5	0,7	0,6	1,3	0,04
46415000	Sítio Grande	14,8	19,33	17,23	31,02	115,66	3,1	4,1	3,7	6,6	0,28
46543000	Fazenda Redenção	26,5	32,3	30,28	47,81	136,6	5,1	6,3	5,9	9,3	0,23
46455000	Derocal	29,85	34,1	32,28	48,51	173,19	4,9	5,6	5,3	8,0	0,13
46770000	Fazenda Bom Jardim	23,2	26,28	25,25	33,59	63,55	3,7	4,2	4	5,3	0,12
46590000	Nova Vida-montante	33,01	37,79	36,52	49,27	161,65	4,6	5,3	5,1	6,9	0,18
46790000	Formosa do rio Preto (PCD)	65,33	73,78	70,51	96,44	244,88	4,7	5,3	5,1	7	0,16
46830000	Ibipetuba	65,88	74,3	71,02	96,92	296,4	3,8	4,3	4,1	5,6	0,15
46550000	Barreiras	46,51	57,21	54,4	83,91	302,8	2,6	3,2	3,0	4,6	0,14
46870000	Fazenda Porto Limpo	66,21	74,3	70,67	102,06	336,39	3,1	3,5	3,3	4,8	0,15
46610000	São Sebastião	106,9	127,15	120,55	181,98	706,42	3,4	4	3,8	5,7	0,20
46650000	Tagua	105,77	128,11	119,94	183,97	624,00	3,1	3,7	3,5	5,3	0,17
46675000	Fazenda Macambira	106,02	126,46	119,60	183,02	456,00	2,8	3,3	3,2	4,8	0,14
46902000	Boqueirão	173,84	197,64	188,60	278,49	803,61	3,9	4,4	4,2	6,3	0,21

Obs: Vazões em m^3s^{-1} e vazões específicas em $L s^{-1} km^{-2}$

Pela observação da Tabela 1, percebe-se que, para a vazão específica relativa à Q₉₅ ou Q₉₀, o primeiro caso fica evidente ao observarmos os postos Fazenda Macambira e Boqueirão, que possuem áreas de drenagem de, respectivamente, 37.967,8 km² e 44.481,6 km². Comparando-se a vazão específica dos postos Rio de Pedras (1.345,1 km²), Fazenda Redenção (5.163,0 km²), Derocal (6.073,8 km²), Nova Vida Montante (7.144,2 km²) e Formosa do Rio Preto (PCD) (13.826,7 km²) com o posto Boqueirão, constatamos o segundo caso.

Observando-se a espacialização da pluviometria da bacia (Figura 5), vemos que ocorre redução na precipitação média de montante para jusante na bacia (sentido do aumento da área de drenagem). Ainda com relação ao segundo caso, a diminuição do volume precipitado em cada posto pode fazer com que a área de drenagem passe a contribuir menos para o escoamento superficial. Assim, o aumento das vazões ocorre a uma taxa menor do que o aumento da área, levando a menores valores de vazões específicas.

A vazão específica relaciona as vazões de um curso d'água com a área de drenagem e pode ser interpretada em termos de disponibilidade hídrica. No caso da vazão média, por exemplo, pode-se

pensar na vazão específica como a quantidade média de água disponível em determinada área por unidade de tempo. Assim, quanto maior a vazão específica, maior a quantidade de água que, a princípio, pode ser utilizada.

Cabe destacar, pela Figura 5, a necessidade de mais estações pluviométricas na bacia, pois, devido à baixa quantidade de postos em direção ao oeste da bacia, a espacialização mostrou-se menos refinada que nas partes central e a leste, que possuem melhor distribuição de estações.

Na Tabela 1, apresentam-se também os coeficientes de escoamento superficial (CE) com base nos dados observados nas 16 estações fluviométricas da bacia do rio Grande consideradas no estudo.

Observando, por exemplo, os postos São Sebastião e Taguá, percebe-se uma redução no coeficiente de escoamento. Isso é devido ao aumento do volume precipitado relativamente ao volume escoado. O volume precipitado depende da área de drenagem e da precipitação média nessa área. Assim, se, pela Figura 5, nota-se uma redução na precipitação, então o aumento do volume precipitado é devido ao aumento da área de drenagem.

O coeficiente de escoamento superficial também permite que sejam identificadas as regiões da bacia com menor capacidade de infiltração devida ao tipo e uso do solo e com menores perdas iniciais e evapotranspiração. Quanto maior o CE, maior o volume de chuva que se converte em escoamento e menor o transferido para outros processos hidrológicos.

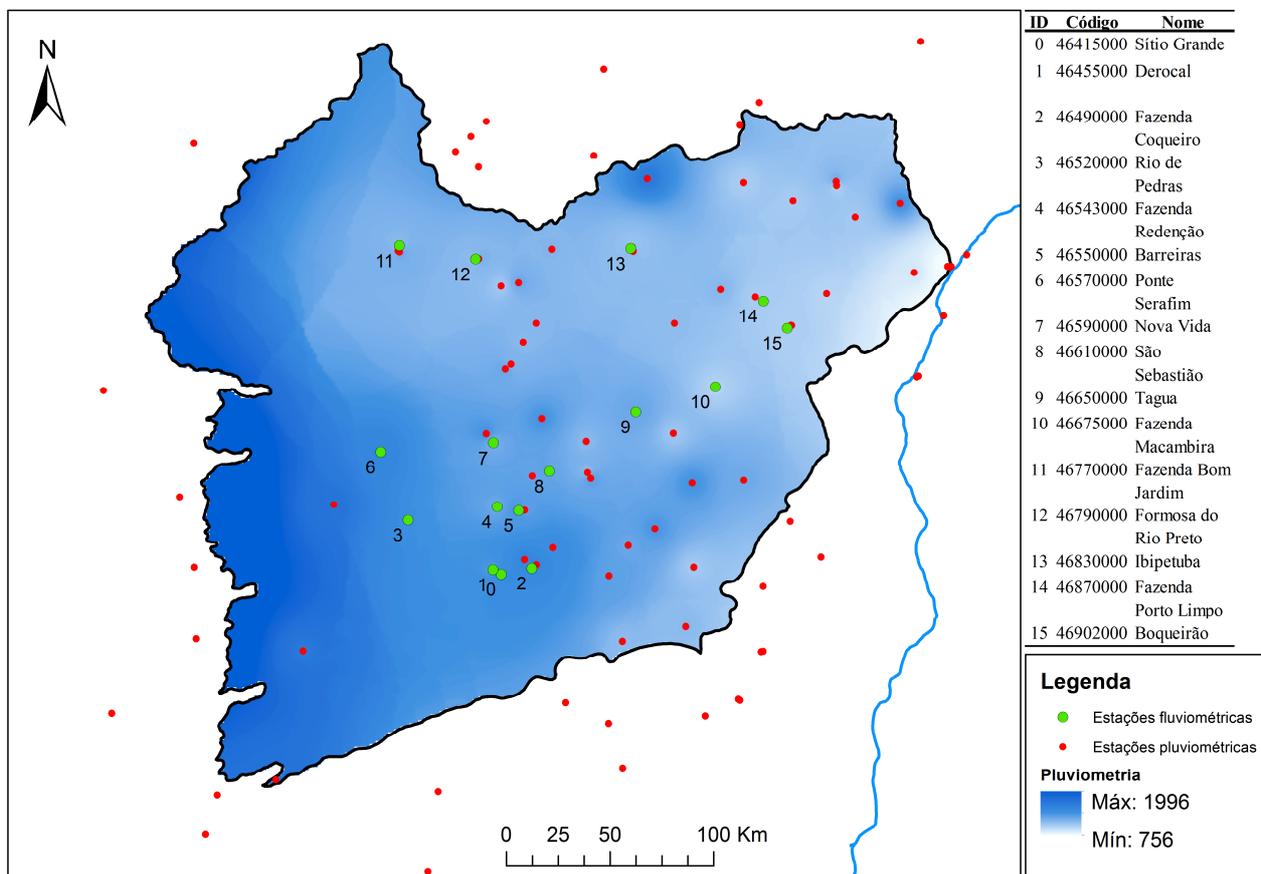


Figura 5 – Espacialização dos dados pluviométricos da bacia do rio Grande.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados, pode-se concluir que:

- dentre as vazões mínimas estudadas a $Q_{7,10}$ apresenta o menor valor em relação a Q_{95} e Q_{90} ;
- as vazões específicas permitiram verificar as regiões com maior disponibilidade hídrica;
- a precipitação média na bacia diminuiu, de modo geral, de oeste para leste, com mínimo de 756 mm e máximo de 1.996 mm; e
- a espacialização do coeficiente de escoamento superficial permitiu a identificação de áreas com maior capacidade de escoamento superficial na bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

- AIBA – Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (2010). *Anuário da Região Oeste da Bahia: Safra 2009/2010*. Barreiras: Editora Gazeta Santa Cruz. 55 p.
- ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. (2010) “*Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM*”. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57.
- ANA – Agência Nacional de Águas (2009). *Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb)*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>.
- BAENA, L. G. N.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; CALIJURI, M. L.; SILVA, E. O. da. (2004). “*Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do sul*”. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.612-624.
- BAHIA, Decreto nº 6.296, de 21 de março de 1997 (1997). Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos, infração e penalidades e dá outras providências.
- FERRAZ, C. A. L. (2008). *A cobrança pelo uso da água: o caso da sub-bacia do rio de Ondas no Oeste da Bahia*. Dissertação apresentada ao Departamento de Economia da Universidade de Brasília, Brasília – DF.
- MENDONÇA, J. O. (2006) “*O potencial de crescimento da produção de grãos no Oeste da Bahia*”. Bahia Agríc., v.7, n.2.
- MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. (2010). *Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande*. Barreiras-BA, 75 p.
- PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. (2003) “*Distribuição espacial das variáveis hidrológicas na bacia do rio São Francisco*”. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.11, n.1-4.
- PIRES, J. M.; NASCIMENTO, M. C. do.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C. A. A. S. (2005). “*Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfométricas em bacias hidrográficas*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 39-47.
- SOUZA, H.T. et al. (2009). SisCAH 1.0: sistema computacional para análises hidrológicas. Brasília, DF: ANA; Viçosa, MG:UFV.