

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

UMA ANÁLISE REGIONAL DE VAZÕES NA BACIA DO RIO PARAGUAÇU – BA

Francisco Carlos Valentim Júnior¹; Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade²

RESUMO - A regionalização de vazões é uma técnica que permite transferir dados de chuva e vazão de uma região para outra, baseado em condições hidrológicas e geomorfológicas semelhantes, sendo importante para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados. A Bacia do Rio Paraguaçu, a segunda maior em área do Estado da Bahia, não conta com uma quantidade significativa de postos fluviométricos, com séries consistentes. O presente estudo objetivou estabelecer funções regionais para avaliação de vazões médias, mínimas e máximas na bacia, utilizando-se o Método Tradicional e fazendo uso do aplicativo computacional SisCORV 1.0. Os resultados alcançados fornecem subsídios para o conhecimento do comportamento hidrológico da bacia, sendo úteis para avaliação da sua potencialidade hídrica, para o pré-dimensionamento de obras hidráulicas, estimativa de cheias e outros aspectos relevantes para a gestão dos recursos hídricos.

ABSTRACT - The regionalization of outflow is a technique that is capable to transfer rain data and flow of an area for other, based on hydrologic and physiographic homogeneous conditions. To supply the lack of hydrologic informations in places with little or no readiness of data, methods of regionalization of outflow had been developed, as the traditional Method. The Paraguaçu watershed is a great drainage basin of Bahia State, but doesn't count a compatible hydrological network. The present study search to understand the behavior of the averages, minimum, and maximum flows, being determined regional characteristic equations applicable to the basin, with base in the traditional Method, using of the software SisCORV 1.0. Regional functions are proposed for the evaluation of flows for the Paraguaçu, tends for independent variable the area of drainage of the interest points. The reached results supply subsidies for a better knowledge of the hydrologic behavior of the basin, being useful for evaluation of the water resources potential, for the development of hydraulic works projects, and water resources management.

Palavras-chave - Regionalização; Paraguaçu, SisCORV.

1) Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Eletrotécnico da Companhia Hidroelétrica do São Francisco - Chesf. Rua Waldemar Mascarenhas, 520, CEP 44350-000. Governador Mangabeira – BA. E-mail: fcovalentim@hotmail.com; fcovalentim@yahoo.com

2) Professor Adjunto do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CETEC da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Rua Rui Barbosa, no. 710, CEP 44380-000 Cruz das Almas - BA. E-mail: pserrano@yahoo.com.br; paulo.serrano@ufrb.edu.br.

1 - INTRODUÇÃO

A Lei Federal Nº. 9433, promulgada em 8 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), tendo como objetivo principal a gestão do recurso água. Para tal necessita de instrumentos para a gestão que são os planos de bacia, o enquadramento a cobrança e a outorga pelo direito de uso, além de um Sistema de Informações com séries históricas confiáveis. Pela outorga e o enquadramento, muitos dos problemas relativos aos conflitos de uso (quantidade e qualidade) da água podem ser resolvidos ou minimizados. Neste contexto, faz-se necessário conhecer a capacidade que os corpos d'água possuem para suprir tanto as necessidades múltiplas demandadas pelas ações da sociedade moderna, quanto àquelas necessárias à manutenção da vida aquática e terrestre que se desenvolve tanto no manancial quanto na sua área de influência direta.

Pelo aumento das demandas entre os diversos usos e usuários da água surgem conflitos, impondo, conseqüentemente, a realização de uma gestão compartilhada e participativa, essencial para o desenvolvimento sustentável. Em algumas bacias do Estado da Bahia a implementação de vários projetos de aproveitamento de recursos hídricos, a exemplo da geração de energia elétrica e irrigação, vem causando sérios impactos ambientais e conflitos entre os usuários.

Neste contexto, destaca-se a bacia do rio Paraguaçu, uma bacia de grande importância para a economia baiana, onde os diversos aproveitamentos de suas disponibilidades hídricas apresentam peculiaridades distintas, consoantes o trecho de rio que se venha a abordar. A distribuição das vazões, temporal e espacialmente, apresenta-se com variações significativas no seu regime dentro do ano hidrológico, alternando picos de cheias e escassez, o que traz incertezas às atividades desenvolvidas pelo homem. Não diferente do resto do Brasil, na bacia do rio Paraguaçu não se tem uma rede de estações de medição de vazões compatível com suas dimensões, o que prejudica, por vezes, certas estimativas que embasarão os tomadores de decisão sobre o desenvolvimento de ações de gestão dos seus recursos hídricos, visando atender aos múltiplos usos aos quais devem servir.

A busca por soluções para este tipo de problema pode ser obtida, ou minimizada, pelo uso de técnicas estatísticas, no que diz respeito à quantidade e distribuição de dados, onde a partir de funções de regressão relacionando a vazão com uma ou mais variáveis independentes, tais como área de contribuição ou precipitação na bacia, pode-se obter estimativas para diversas variáveis hidrológicas – como as vazões médias, máximas e mínimas, em locais sem ou com poucos dados, recebendo essa técnica o nome de “Regionalização de Vazões”.

Tais estimativas são de extrema importância na gestão de recursos hídricos, para a previsão de cheias, dimensionamento do volume de reservatórios, dimensionamento de obras hidráulicas para

irrigação, entre outros aproveitamentos, requisitando-se para tal a observância do conceito de homogeneidade climática e fisiográfica da região de interesse.

Assim considerando, o presente trabalho objetivou estabelecer funções regionais para a bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, o que permite estimar as vazões médias, mínimas e máximas na bacia, utilizando-se o Método Tradicional e fazendo uso do aplicativo computacional SisCORV 1.0. Os resultados alcançados favorecem extrapolações espaciais dentro de um contexto temporal e a avaliação da potencialidade hídrica em qualquer ponto da bacia estudada.

2 - IMPORTÂNCIA DA REGIONALIZAÇÃO

Os modelos hidrológicos são ferramentas utilizadas para melhor entender e representar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica. Segundo Peralta (2003), a necessidade de se determinar procedimentos para regionalização de vazões máximas, médias e mínimas, em áreas com carência de dados hidrológicos, é de extrema importância para o dimensionamento de obras hidráulicas, estimativa de cheias, planejamento dos recursos hídricos, entre outros. A carência de dados está relacionada ao alto custo de implantação, operação e manutenção de postos hidrológicos e à dificuldade em se contar com um período longo de dados, necessário para que se tenha uma boa representatividade estatística.

Para Xavier (2007, apud Ferreira, 2010), as estimativas de vazões em cursos de água representam informações relevantes para a gestão dos recursos hídricos. O conhecimento das estimativas de vazões o tanto quanto mais próximos da realidade são então fundamentais para a correta gestão das águas tendo em vista ser este um bem escasso, dotado de valor econômico e a sua obtenção deve ser planejada com anos de antecedência. Para Sousa (2009) os problemas ocasionados pela escassez de água, percebidos principalmente pela existência de conflitos no interior das bacias e os causados por inundações mobilizaram a sociedade, forçando os tomadores de decisões a utilizar sistemas computacionais para dinamizar o processo de gestão participativa, contemplando a complexidade dos múltiplos usos da água e pela necessidade do planejamento a curto, médio e longo prazos.

Assim, os estudos de regionalização hidrológica tornaram-se ferramentas básicas para os planos de aproveitamento múltiplos de recursos hídricos. Tais estudos são formados a partir de modelagem hidrológica (Lima e Costa apud Almeida, 2008) e pela regionalização de variáveis hidrológicas (Nunes, 2005) em grandes bacias, com apoio e uso de modelos de simulação hidrológica. Segundo Tucci (1998) e Figueiredo (1998) apud Almeida, 2008, a geração de séries de longo período em locais sem monitoramento ou com falhas nos dados observados é um dos objetivos que pode ser alcançado com a utilização de modelos de simulação, além da regionalização

de variáveis climatológicas (Aragão et al,1998 apud Almeida, 2008) e hidrológicas (Crispim, 2005 apud Almeida 2008,).

3 - MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO

3.1 - Transferência de vazões por correlação de área (Interpolação linear)

Por este método, descrito em Eletrobrás (1985b), obtêm-se as vazões relativas à seção de interesse utilizando as vazões correspondentes às seções fluviométricas mais próximas e realizando uma ponderação no cálculo das vazões, tendo como base as áreas de drenagem de postos fluviométricos localizados a montante e, ou, a jusante do local onde se deseja estimar a vazão. Assim, pode-se estimar as vazões pela equação 1.

$$Q_z = \left(\frac{Q_{m,j}}{A_{m,j}} \right) A_z \quad (1)$$

em que:

Q_z = vazão na seção de interesse, m^3s^{-1} ;

$Q_{m,j}$ = vazão no posto de montante ou de jusante, m^3s^{-1} ;

A_z = área de drenagem na seção de interesse, km^2 ;

$A_{m,j}$ = área de drenagem do posto de montante ou de jusante, km^2 ;

3.2 - Regressão Linear e Correlação

A análise de regressão é uma metodologia estatística que utiliza a relação entre duas ou mais variáveis, as quais podem explicar o fenômeno em consideração, de tal forma que uma variável é dependente de outra ou outras. A regressão simples (linear ou não linear) relaciona a variável dependente (y) a apenas uma variável independente (x), que pode ser dada pela Equação 2:

$$y = a + bx \quad (2)$$

onde a e b são constantes que podem ser facilmente determinadas pelo método dos mínimos quadrados através das Equações 3 e 4, a seguir.

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3)$$

$$b = \frac{\sum xy - \bar{x} \sum y}{\sum x^2 - \bar{x} \sum x} \quad (4)$$

A variação explicada pela função de regressão é obtida pelo coeficiente de determinação dado em termos dos desvios padrão S_x e S_y pela Equação 5.

$$R^2 = \left(b \frac{S_x}{S_y}\right)^2 \quad (5)$$

3.3 - Método Tradicional

Baseando-se na identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e no ajuste de equações de regressão (simples ou múltiplas), entre as diferentes variáveis a serem regionalizadas e as características físicas e climáticas das bacias de drenagem para cada região homogênea, como citado por Novaes (2005), é umas das técnicas mais utilizadas para regionalização. Utiliza os modelos de regressão linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco, sendo possível a obtenção das equações que permitem associar a vazão com variáveis topológicas e climáticas. A análise de regressão investiga como as variações em uma ou mais variáveis independentes afetam a variação da variável dependente. A função matemática que relaciona as variáveis é da forma:

$$Q = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (6)$$

em que:

Q é a vazão estimada;

X, variável independente;

n, número de variáveis independentes.

Utilizando o artifício de transformação algébrica, aplicam-se os seguintes modelos de regressão à série de dados (Hoffmann, 1977 apud Sousa, 2009):

Modelo linear

$$Q = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n \quad (7)$$

Modelo potencial

$$Q = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} X_3^{\beta_3} \dots X_n^{\beta_n} \quad (8)$$

Modelo exponencial

$$Q = e^{\beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} X_3^{\beta_3} \dots X_n^{\beta_n}} \quad (9)$$

Modelo logarítmico

$$Q = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \dots + \beta_n \ln X_n \quad (10)$$

$$Q = \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n)} \quad (11)$$

3.4 - O Sistema Computacional para Regionalização de Vazões - SisCORV

O “Sistema Computacional para Regionalização de Vazões – SisCORV”, é um aplicativo desenvolvido por pesquisadores da Rede 2 e da Universidade Federal de Viçosa, envolvendo a Agência Nacional de Águas – ANA, que utiliza como base de dados, valores de vazões associados a características físicas e climáticas disponíveis na base hidrorreferenciada da ANA.

Segundo Sousa (2009), o modelo computacional para a regionalização de vazões médias, mínimas e máximas, e de curvas de regularizações e de permanência foi desenvolvido buscando a sua integração à base hidrográfica ottocodificada da ANA, disponibilizando para análise três métodos de regionalização, como sejam: o Método Tradicional (Tucci, 2002), o da Curva Adimensional (Tucci, 2002) e da conservação de massas (Pereira, 2004; Novaes, 2005).

O aplicativo permite a escolha de variáveis representativas independentes que estão relacionadas às características climáticas e físicas das bacias, que são utilizados na regressão das variáveis regionalizadas, como precipitação anual, precipitação máxima, evaporação, área de drenagem, comprimento do talvegue e declividade ou outra variável que possa explicar a variável a ser regionalizada. Pela figura 1, demonstra-se o fluxograma das macro-funcionalidades do SisCORV 1.0.

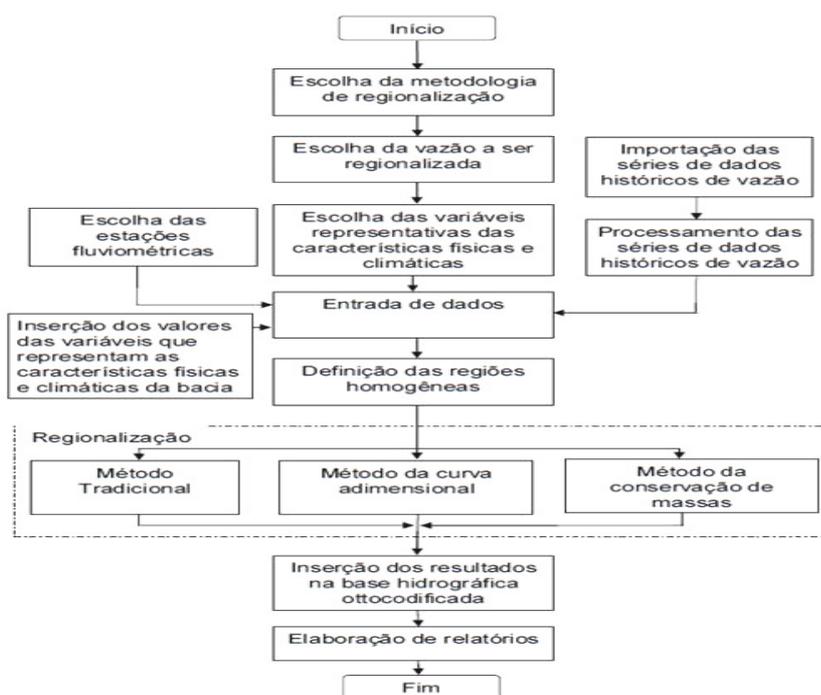


Figura 1 - Macrofuncionalidades do SisCORV (Fonte: Sousa. 2009).

Para que uma variável seja considerada adequada na realização de um estudo de regionalização é necessário que haja dados com qualidade e quantidade suficiente, que não acrescentem incertezas ao estudo. Para a entrada de dados há a exigência de formatos padronizados, sendo a estrutura requerida correspondente àquela dos arquivos de dados disponíveis no Hidroweb da ANA, relativos às estações fluviométricas distribuídas ao longo da rede hidrometeorológica do país, coletados, consistidos e disponibilizados no site da ANA. Cada uma das estações está cadastrada georreferenciadamente em inventário, ao qual o programa SisCORV tem acesso via internet. Esse acesso é possível em razão de que no aplicativo SisCORV consta o módulo “*Sistema Computacional para Análises Hidrológicas – SisCAH*” que é responsável por operar o processamento das séries históricas de dados de vazão.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 A Região de Estudo

O Plano Diretor de Recursos Hídricos Bacia do Médio e Baixo Paraguaçu (1996), elaborado pela então Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia - SRH/BA, destaca que a bacia hidrográfica do rio Paraguaçu é considerada o mais importante sistema fluvial inteiramente estadual. Sua localização, como se apresenta na Figura 2, está na região centro-leste do estado da Bahia, ocupa uma área de 55.317 km² (cerca de 10,14% do território baiano), e tem uma extensão, em média, de 600 km, atendendo a 1.657.254 habitantes, com um clima predominantemente semi-árido, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 2 - Bacia do rio Paraguaçu

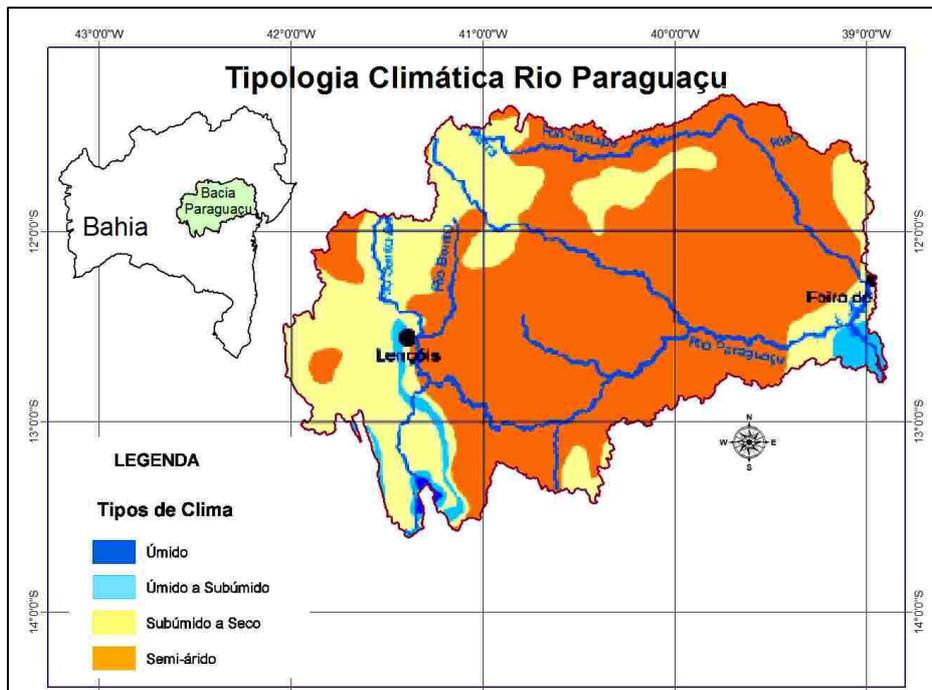


Figura 3 - Tipologia climática da Bacia do Paraguaçu.

4.2 Seleção e Análise dos Dados Hidrológicos

Os postos selecionados foram definidos a partir da base de dados da ANA. A região foi dividida em duas: a primeira relacionada com o curso do rio Paraguaçu, considerando os postos 51120000 (Andaraí), 51240000 (Itaetê), 51280000 (Iaçu), 51350000 (Argoim) e 51490000 (Pedra do Cavalo); a segunda com o rio Jacuípe, considerando os postos 51410000 (França), 51430000 (Gavião II), 51440000 (Riachão do Jacuípe) e 51460000 (Ponte Rio Branco). Essa divisão se impôs devido às características morfológicas e climáticas diferenciadas nas duas regiões, as quais influenciam diretamente a gênese das vazões. Caracterizaram-se os postos tomando-se por base a série histórica de 1967 a 2005 (39 anos), conforme ilustram as Figuras 4 a 6, as quais indicam a sazonalidade das vazões na bacia, sendo geradas curvas de permanência.

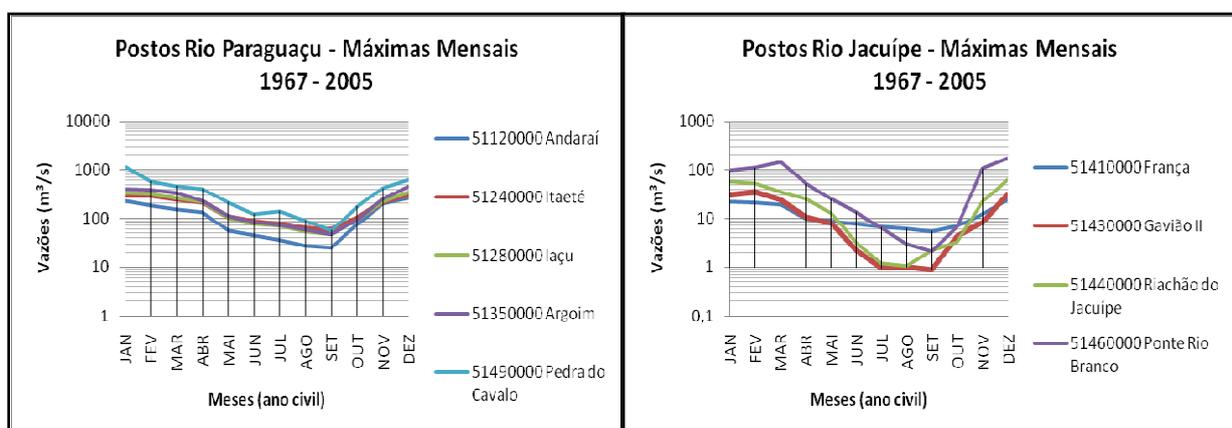


Figura 4 – Vazões máximas mensais (1967 a 2005)

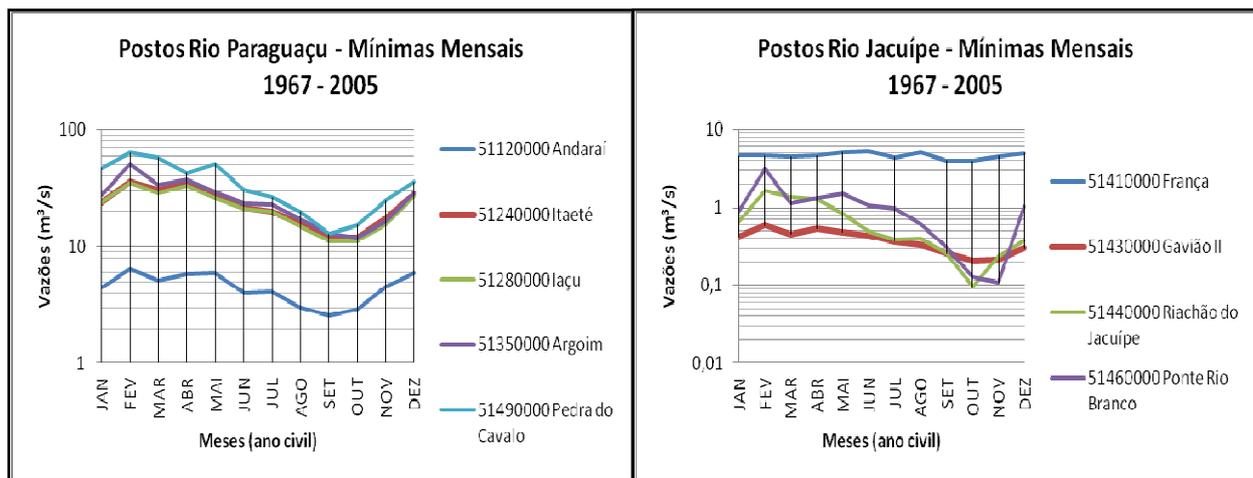


Figura 5 – Vazões mínimas mensais (1967 a 2005).

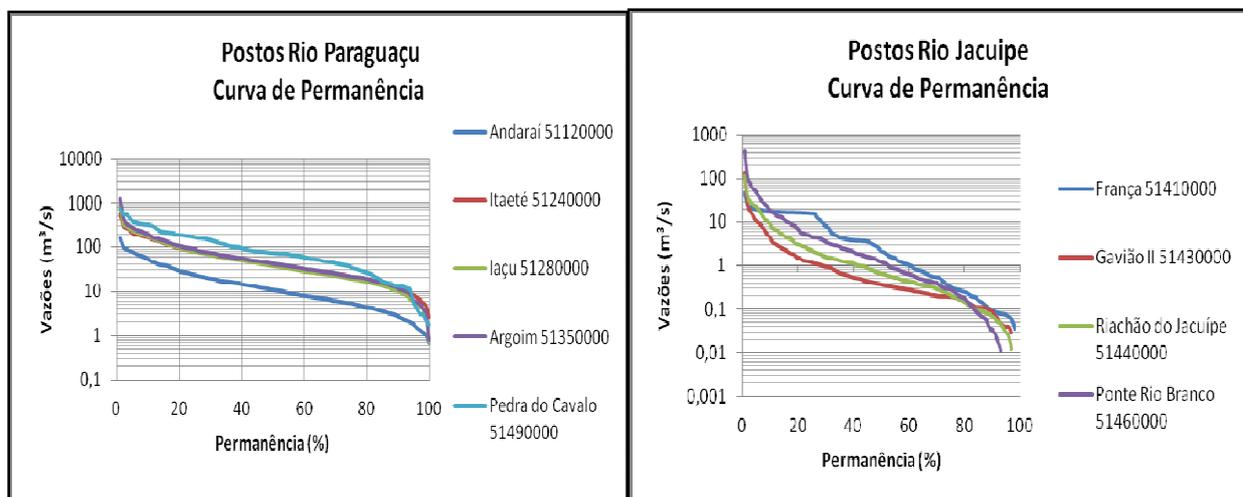


Figura 6 - Curvas de permanência de vazões dos postos dos rios Paraguaçu e Jacuípe.

4.2.1 Regiões Homogêneas

As características geomorfológicas de uma bacia são preponderantes para a delimitação das regiões homogêneas. O solo, relevo, topografia, clima, índice de pluviosidade, etc., são indicadores da homogeneidade das regiões. Outra forma de fazer esta verificação é através da estatística, onde, tendo em vista que se os dados fluviométricos podem ser ajustados a uma mesma distribuição de probabilidade, a região poderá ser considerada homogênea (Naghetini, 2007). Os valores das vazões médias anuais observadas nos postos fluviométricos, o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) dessas séries, também se constituem em indicadores positivos da premissa de que uma região é hidrológicamente homogênea.

O coeficiente de variação analisa a dispersão em termos relativos ao valor médio, excluindo-se a ordem de grandeza. Para o caso em estudo, a Tabela 1 apresenta os valores das médias anuais de vazão observados nos postos fluviométricos selecionados, os valores do desvio padrão e do

coeficiente de variação das séries. O resultado da análise dos coeficientes de variação indica que as dispersões em torno da média observada nos postos trabalhados assumem valores distintos, ou seja os coeficientes de variação relativos às estações fluviométricas do Paraguaçu estão em torno de 0,5; enquanto que os do rio Jacuípe estão em torno de 1,1.

Essa análise permite definir o agrupamento das estações fluviométricas em duas regiões delimitadas como hidrologicamente homogêneas no contexto da bacia, como um todo, ou seja: a Região 1, correspondente a sub-bacia do rio Paraguaçu, e a Região 2, correspondente à sub-bacia do rio Jacuípe. A figura 7 ilustra a definição das duas regiões aqui consideradas.

Tabela 1 - Estatísticas de amostras locais.

<i>Estações</i>	<i>Postos Rio Paraguaçu</i>				
	<i>51120000</i>	<i>51240000</i>	<i>51280000</i>	<i>51350000</i>	<i>51490000</i>
Médias (m³/s)	19,30	64,20	67,70	81,90	121,00
DP	8,79	28,40	35,23	44,97	64,18
CV	0,46	0,44	0,52	0,55	0,53
<i>Estações</i>	<i>Postos Rio Jacuípe</i>				
	<i>51410000</i>	<i>51430000</i>	<i>51440000</i>	<i>51460000</i>	
Médias (m³/s)	5,14	2,18	3,24	12,20	
DP	6,44	2,31	3,51	11,78	
CV	1,25	1,18	1,08	0,97	

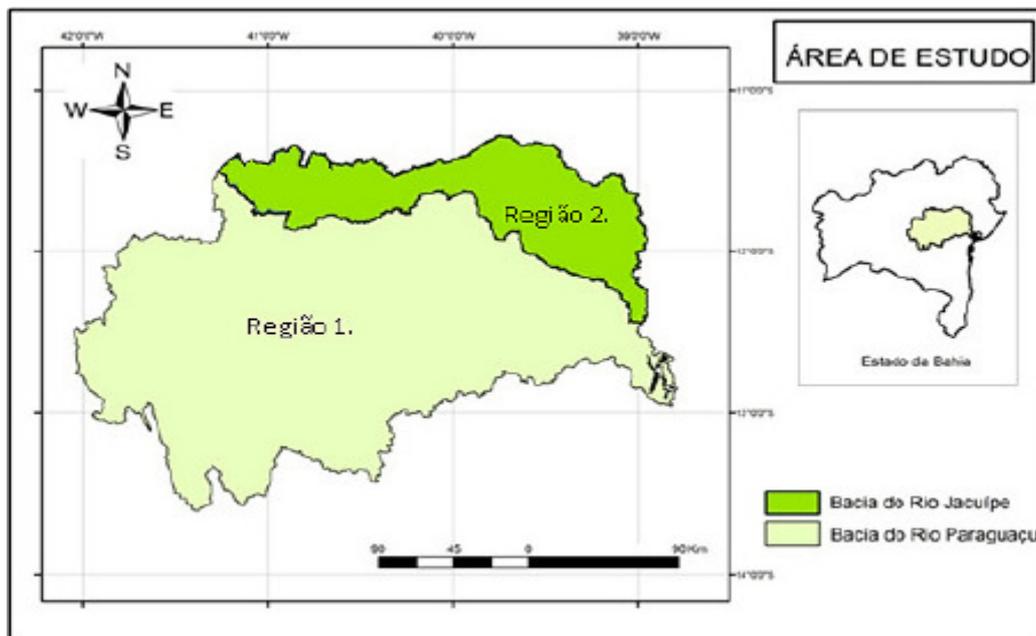


Figura 7 - Regiões Homogêneas 1 e 2. (Fonte: adaptado de Fontes, 2010)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Método da Interpolação Linear

Essa metodologia foi adotada para o preenchimento de falhas nos registros de vazões mensais inexistentes no posto pluviométrico à jusante do posto de preenchimento.

As tabelas 2 e 3, apresentam as equações definidas por este modelo, onde Q é a vazão observada no posto à jusante do ponto a ser preenchido. As equações apresentaram uma bom ajuste aos valores médio observados.

Tabela 2 - Postos Rio Paraguaçu: equações obtidas pelo método da interpolação linear.

<i>Posto</i>	<i>Área Montante (km²)</i>	<i>Área Jusante (km²)</i>	<i>Equação</i>
51120000	2.517,00	13.608,00	$0,184695 \times Q_{\text{posto 51240000}}$
51240000	13.608,00	21.261,00	$0,640045 \times Q_{\text{posto 51280000}}$
51280000	21.261,00	37.245,00	$0,570842 \times Q_{\text{posto 51350000}}$
51350000	37.245,00	53.866,00	$0,691438 \times Q_{\text{posto 51490000}}$
51490000	53.866,00	37.245,00	$1,446261 \times Q_{\text{posto 51350000}}$

Tabela 3 – Posto do Rio Jacuípe: equações obtidas pelo método da interpolação linear.

<i>Posto</i>	<i>Área Montante (km²)</i>	<i>Área Jusante (km²)</i>	<i>Equação</i>
51410000	1.895,00	4.375,00	$0,184695 \times Q_{\text{posto 51430000}}$
51430000	4.375,00	6.795,00	$0,640045 \times Q_{\text{posto 51440000}}$
51440000	6.795,00	10.560,00	$0,570842 \times Q_{\text{posto 51490000}}$
51460000	10.560,00	6.975,00	$1,554083 \times Q_{\text{posto 51440000}}$

5.2 Regressão Linear Simples e Correlação de Vazões

Este método visa relacionar as vazões registradas em dois postos em regiões hidrologicamente homogêneas e definir a melhor equação que se ajuste à distribuição dos valores observados nos postos em questão.

As tabelas 4 e 5 estão as equações que foram selecionadas a partir do melhor índice de correlação.

Tabela 2 - Equações para os postos da região 1, obtidas pelo método da Regressão Linear

<i>Posto</i>	<i>Equação</i>	<i>Coefficiente de Correlação (R²)</i>
51120000	$Q = 0,299Q_{\text{posto } 51430000} - 1,057$	0,991
51240000	$Q = 0,948Q_{\text{posto } 51280000} + 3,481$	0,989
51280000	$Q = 1,077Q_{\text{posto } 51350000} - 2,470$	0,985
51350000	$Q = 0,914Q_{\text{posto } 51490000} + 2,734$	0,985
51490000	$Q = 1,127Q_{\text{posto } 51350000} + 2,548$	0,982

Tabela 3 - Equações para os postos da região 2, obtidas pelo método da Regressão Linear

<i>Posto</i>	<i>Equação</i>	<i>Coefficiente de Correlação (R²)</i>
51410000	$Q = 0,602Q_{\text{posto } 51430000} - 0,043$	0,960
51430000	$Q = 1,996Q_{\text{posto } 51440000} - 1,418$	0,997
51440000	$Q = 0,6519Q_{\text{posto } 51460000} - 1,3881$	0,991
51460000	$Q = 1,5215Q_{\text{posto } 51440000} - 1,9875$	0,991

O preenchimento das falhas com o uso destas equações foi efetuado para cada um dos postos, onde a variável independente é a vazão medida no posto a jusante. Observou-se que apesar de o R² possuir qualidade na sua representação, houve casos de sub e superestimação das vazões, ocorrendo até casos de vazões negativas, o que é semanticamente incoerente. Para estes valores foi adotado o valor zero para que se conhecesse o comportamento das vazões quando comparadas com as vazões médias observadas.

As Figuras 8 e 9 ilustram os comparativos entre as vazões médias observadas e após os preenchimentos. Para os postos da região 1 verifica-se ajustes bastantes aproximados das médias observadas. As boas séries históricas permitiram correlacionar grandes períodos de dados e estimar as regressões, sendo obtidos altos índices de correlação.

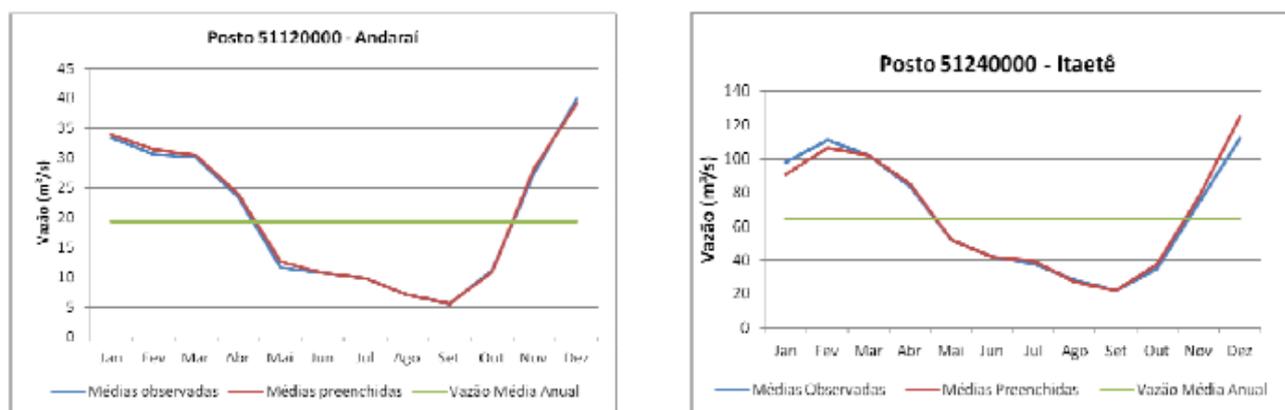


Figura 8 - Médias observadas, preenchidas e média anual das vazões das estações Andaraí e Itaeté.

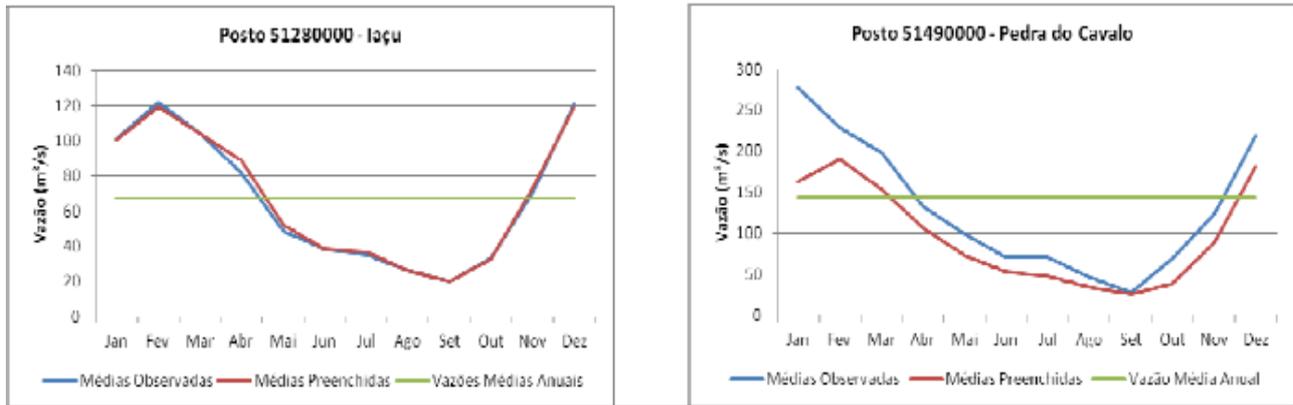


Figura 9 - Médias observadas, preenchidas e média anual das vazões das estações Iaçú e Pedra do Cavallo.

5.3 Resultados obtidos pelo uso do SisCORV

O uso do aplicativo SisCORV teve por base o “Método Tradicional” de regionalização de vazões, que emprega a análise de regressão múltipla para investigar como as variações nas variáveis independentes afetam a variação da variável dependente. Definidas as regiões homogêneas, o SisCORV, utilizando o artifício de transformação algébrica, aplica os modelos linear, potencial, exponencial, logaritmo e recíproco de regressão à série de dados. No caso em estudo utilizou-se apenas a variável independente área. A figura 10 demonstra a bacia hidrorreferenciada dos postos inseridos no SisCORV para a regionalização, sendo a área da drenagem de cada estação a variável independente.

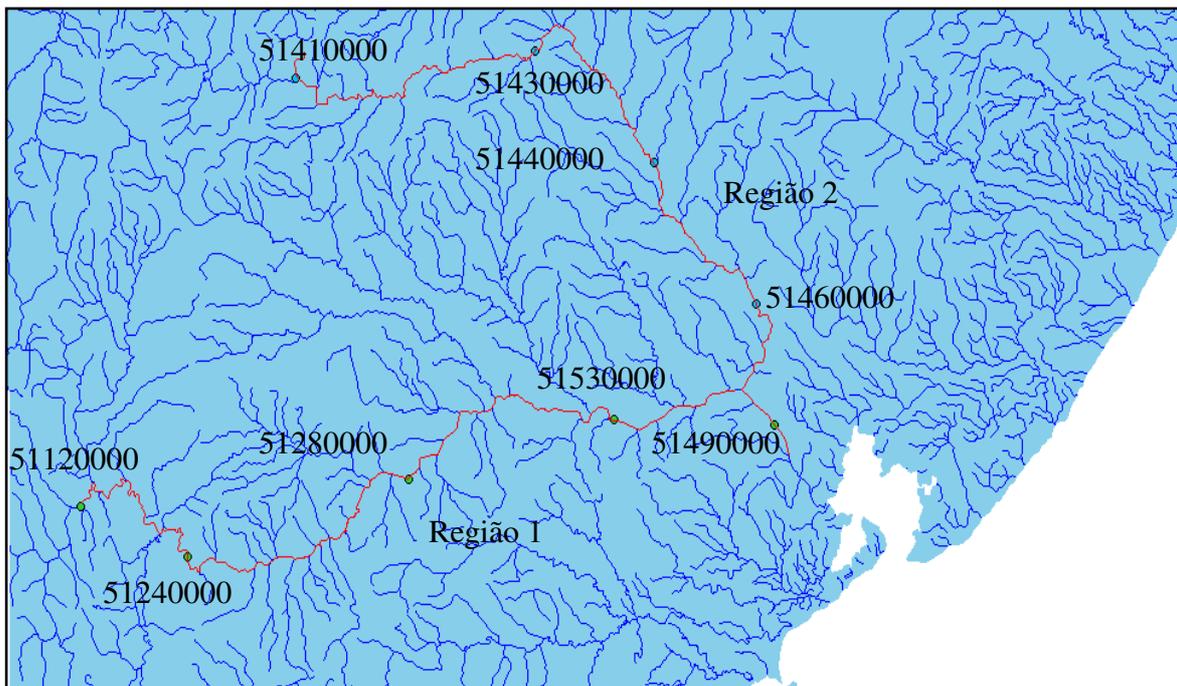


Figura 10 - Estações fluviométricas nas regiões homogêneas 1 e 2.

No caso da regionalização das vazões máximas, a Figura 11 apresenta, como exemplo, as vazões observadas e estimadas pelo método tradicional, com base nos modelos linear, potencial exponencial, logarítmico e recíproco; referentes à região 1, em função da área de drenagem.

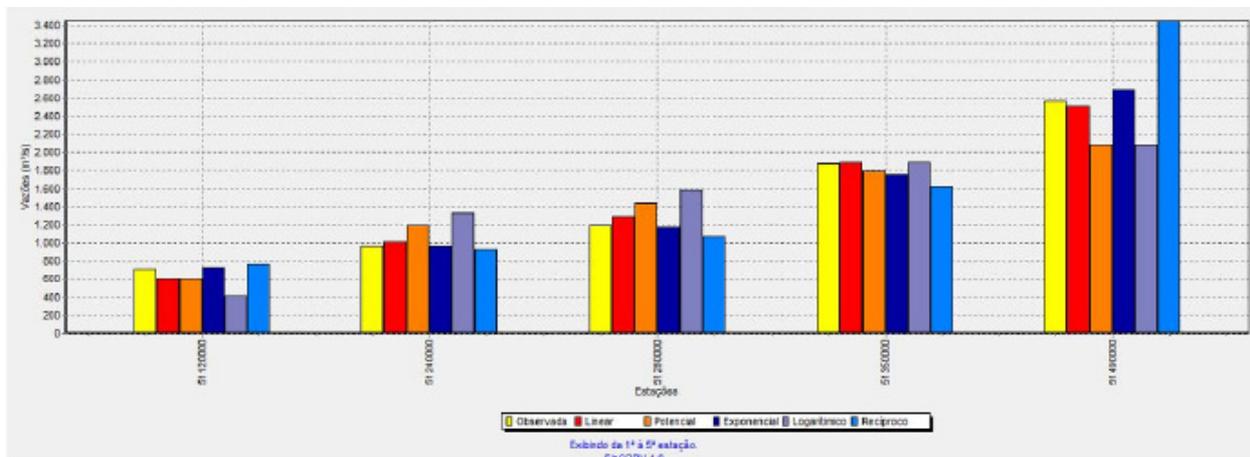


Figura 11 - Comparação das vazões máximas observadas e estimadas para a Região 1.

Para a análise estatística das vazões mínimas, máximas e médias foram utilizadas diferentes tipo de distribuições de probabilidades: Weibull (aplicável para vazões mínimas), Gumbel (aplicável para vazões máximas), Person 3, Logperson 3, Lognormal2 e Lognormal 3, sendo escolhida a que apresentasse menor amplitude dentro de um intervalo de confiança. Como se deduz da figura 12, a distribuição de probabilidade escolhida foi a Lognormal 3, considerando um intervalo de confiança de 95%.

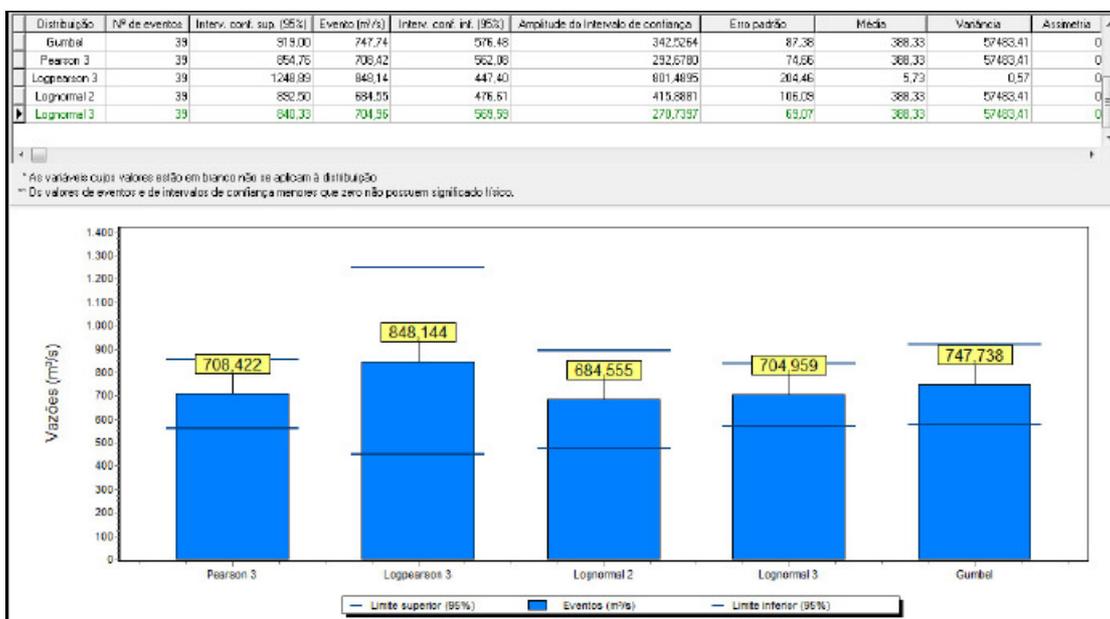


Figura 12 - Resultado da análise estatística para a estação 51120000 – Andaraí.

Conforme objetivo do estudo, foram então geradas equações regionais para as vazões mínimas ($Q_{7,10}$), médias e máximas, conforme estão apresentadas nas tabelas 6 e 7.

Tabela 4 - Equações de Regionalização para a Região 1 (Q em m³/s; A em km²)

<i>Vazões</i>	<i>Região 1</i>
Vazão Máxima	$Q_{\max} = 26,155197030082.A^{0,401944658554846}$
Vazão Média	$Q_m = 0,285919530982685.A^{0,550499079629972}$
$Q_{7,10}$	$Q_{7,10} = 0,872961019478977.A^{0,0494304240150112}$

Tabela 5 - Equações de Regionalização para a Região 2 (Q em m³/s; A em km²)

<i>Vazões</i>	<i>Região 2</i>
Vazão Máxima	$Q_{\max} = 0,00385073042510604.A^{1,31901913932819}$
Vazão Média	$Q_m = 1,06713804603897.A^{0,179250984477335}$
$Q_{7,10}$	$Q_{7,10} = 325167465,955533.A^{-2,80568430163615}$

Os resultados alcançados (equações) podem ser inseridos no módulo de equações do SisCORV, sendo possível obter vazões regionalizadas em qualquer ponto da bacia, o que possibilita comparações. A título de ilustração dos resultados gerais, pode se aferir da Tabela 8 que, para a região 1, os valores para as vazões médias observadas em relação às regionalizadas são considerados bons. Já para as vazões máximas, os postos da região 1, diferentemente da região 2, apresentaram ajustes com menores variações de diferenças entre o observado e o regionalizado.

Tabela 8 - Vazões observadas versus vazões regionalizadas para a região homogênea

<i>Região 1</i>			
<i>Posto (código)</i>	<i>Vazões</i>	<i>Vazões Observadas(m³/s)</i>	<i>Vazões Regionalizadas(m³/s)</i>
51120000	Vazão Máxima	704,96	608,87
	Vazão Média	20,00	21,30
	$Q_{7,10}$	0,65	1,29
51240000	Vazão Máxima	967,05	1199,82
	Vazão Média	65,92	53,94
	$Q_{7,10}$	3,49	1,40
51280000	Vazão Máxima	1198,53	1435,51
	Vazão Média	65,92	68,96
	$Q_{7,10}$	2,62	1,43
51350000	Vazão Máxima	1875,86	1798,35
	Vazão Média	80,64	93,89
	$Q_{7,10}$	2,91	1,47
51490000	Vazão Máxima	2566,53	2085,86
	Vazão Média	120,07	115,03
	$Q_{7,10}$	0,32	1,50

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da análise dos dados de vazão foi possível estabelecer funções regionais das vazões médias, mínimas ($Q_{7,10}$) e máximas para a bacia hidrográfica do rio Paraguaçu. Embora o rio Jacuípe tenha grande importância para o semiárido baiano, melhor atenção não é dispensada para um melhor conhecimento do comportamento hidrológico do manancial, o que se pode deduzir pela pequena quantidade de postos fluviométricos ali existentes, ativos e com dados consistentes. O mesmo já não se registra no rio Paraguaçu, que possui estações fluviométricas com séries históricas longas e de boa qualidade.

Reconhecem-se as limitações da metodologia empregada e os resultados obtidos, razão de que foi utilizada apenas uma variável independente, no caso a área de drenagem, embora seja esta uma variável de grande peso na gênese do escoamento superficial.

Pela importância da bacia do Paraguaçu, com seus usos múltiplos e conflitos de recursos hídricos, torna-se imprescindível o aprofundamento dos estudos do comportamento dessa bacia, o concorrerá para melhorar a gestão dos seus recursos hídricos e minimização dos conflitos pelo uso da água, auxiliando ainda a projeção de novas obras hidráulicas, a implantação da cobrança pelo uso da água, a consolidação da vazão ambiental, dentre outros aspectos que o aumento das demandas pode acarretar.

Por fim, o estudo comprovou que a ferramenta SisCORV (Sistema Computacional para a Regionalização de Vazões), que apresenta interface gráfica e requisitos como rapidez, boa segurança e confiabilidade, permite a obtenção eficiente de dados, sendo útil na realização de trabalhos e estudos relativos à regionalização das vazões mínimas, máximas e médias e das curvas de regularização e de permanência, entre outras análises.

Para próximos trabalhos, recomenda-se a utilização dos outros métodos de regionalização como o Método da Curva Adimensional e o Método da Conservação de Massa – para verificar quais oferecem uma melhor estimativa para equações regionais. Deve ser tentada também a inserção de outras variáveis independentes, tais como a precipitação anual, precipitação máxima, evaporação, comprimento do talvegue e declividade, ou outra variável que possa melhor explicar a variável a ser regionalizada.

AGRADECIMENTOS

Pelo apoio concedido, os autores agradecem ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, T. da S. Regionalização Hidrológica nas Regiões do Médio e Baixo Rio Paraíba/PB Utilizando Vazões Simuladas Com o Modelo Distribuído Navmo. Dissertação (mestrado). Disponível em <http://www.coenge.ufcg.edu.br/publicacoes/Public_327.pdf>. Acesso em 25 de junho de 2011.
- BAHIA. Plano Diretor de Recursos Hídricos Bacia do Médio e Baixo Paraguaçu. Volume II, Inventário de Recursos Hídricos. Governo do Estado da Bahia. Salvador, SRH, 1996.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. Manual de estudos de disponibilidade hídrica para aproveitamentos hidrelétricos : manual do usuário / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, SOF, 2010.
- BRASIL Lei 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
- BRASIL. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil: Volume 1 / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília, 2006.
- BRASIL. Inventário das Estações Fluviométricas, Brasília, v. 1, n. 1., p. 1-18, nov. 2006. Disponível em <<http://arquivos.ana.gov.br/inf hidrologicas/InventariodasEstacoesFluviometricas.pdf>> Acesso em 20 de março de 2011.
- COLLISCHONN, W. TASSI, R. Introduzindo Hidrologia. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 5 ed. Porto Alegre, 2008.
- ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras SA. Metodologia para regionalização de vazões. Brasília: ELETROBRAS, 1985.
- FERREIRA, G. M. Regionalização de vazões de referência $Q_{7,10}$ e Q_{90} . Dissertação de mestrado. Disponível em <<http://www.dominiopublico.gov.br>> Acesso em 25 de junho de 2011.
- FONTES, A. S. OLIVEIRA, M. A. C. MEDEIROS, Y. D. P. Calibração do Modelo SWAT em Bacia do Semi-Árido com auxílio da Hidrologia Isotópica. X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Anais. Fortaleza, 2010.
- FONTES, A. S. Et al. Estudo da Dinâmica do Fluxo de Água na Bacia do Rio Jacuípe por Meio de Traçadores Ambientais. Artigo. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 16, nº 3, Jul/Set 2011, p. 27-36. Disponível em: <www.abrh.org.br/novo/rbrh_completas/RBRHV16N3_Completa.pdf>. Acesso em 05 de dezembro de 2012.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A.. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007.
- NOVAES, L.F. Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG: UFV. 2005. Disponível em <<ftp://ftp.bbt.ufv.br/teses/engenharia%20agricola/2005/186614f.pdf>>. Acesso em 10 de novembro de 2011.
- PERALTA, A. da S. Análise de regionalização de vazão máxima para pequenas bacias hidrográficas. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP, 2003. Disponível em <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000305144>>. Acesso em 25 de maio de 2011.

- SOUSA, H. T. de. Sistema computacional para regionalização de vazões. Dissertação de mestrado. — Viçosa, MG, 2009. Disponível em <www.ufv.br/dea/gprh/dissertacao/heber/Ms_Heber.pdf> Acesso em 10 de Junho de 2011.
- TUCCI, C. E. M. Et al. Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007.
- TUCCI, C. E. M.; Mendes, C. A. Curso Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental. Brasília, 2006
- TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1998.
- TUCCI, C. E. M. Mendiondo, E. M. Escalas Hidrológicas. I: conceitos. Artigo. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, v. 2, n. 1, p. 59-122, 1997. Disponível em <www.abrh.org>. Acesso em 05 de dezembro de 2011.
- TUCCI, C. E. M. Parâmetros do Hidrograma Unitário para Bacias Urbanas Brasileiras. Artigo. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 8, n.º 2, Abr/Jun 2003, p. 195-199. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br>>. Acesso em 05 de dezembro de 2012.