

# REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS E MÍNIMAS DA BACIA DO MÉDIO IGUAÇU

*Gustavo Machado Silva<sup>1</sup>; Duane Izabel Barbosa<sup>2</sup> & Klebber T. M. Formiga<sup>3</sup>*

**RESUMO:** No estudo de disponibilidade hídrica de uma bacia, as informações de vazões consistentes e com boa amostragem não é suficientemente abrangente em muitas regiões e nem sempre bem distribuída, ficando restrita a áreas onde estão localizadas estações fluviométricas. Para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados é utilizada a técnica da regionalização de vazões. A avaliação do potencial hidrelétrico dos rios é um trabalho muitas vezes dependente deste estudo, especialmente quando se trata de pequenos rios, visto que a maioria das estações fluviométricas e estudos de regionalização hidrológica existentes. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um método para estimativa de vazões da bacia do Médio Iguaçu. O estudo foi desenvolvido visando encontrar equações de regionalização para a vazão média de longa duração, vazão mínima média mensal, vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos, vazões com Q90 e Q95 de permanência. Os resultados mostraram que o melhor ajuste obtido foi pela regressão potencial, sendo a área de drenagem e a precipitação os parâmetros mais representativos.

**ABSTRACT:** In the study of water availability in a basin, information flows and consistent with good sampling is not comprehensive enough in many areas and not always well distributed, being restricted to areas where gauging stations are located. To supply the lack of hydrological information in places with little or no availability data is employed the technique of regionalization flows. The assessment of the hydroelectric potential of rivers is a job often depends on this study, especially when it comes to small rivers, since most of the gauging stations and studies of existing hydrological regionalization. This study aimed to develop a method to estimate flows in the basin of Médio Iguaçu. The study was conducted in order to find equations for the regionalization of long-term average discharge, average monthly minimum flow,  $Q_{7, 10}$ ,  $Q_{90}$  and  $Q_{95}$ . The results showed that the best fit was obtained by power regression, and the drainage area and precipitation parameters more representative.

**Palavras-chave:** regionalização de vazões, bacia do Médio Iguaçu, vazões mínimas

---

<sup>1</sup> Engenheiro Civil pela EEC UFG, Praça Universitária s/n. Setor Universitário. CEP 74605-220. Goiânia. Fone: (62) 3209 60 84, Fax: (62) 3521 18 67. E-mail: gustavoredes@gmail.com

<sup>2</sup> Mestranda em Engenharia do Meio Ambiente da UFG, Praça Universitária s/n. Setor Universitário. CEP 74605-220. Goiânia. Fone: (62) 3209 60 84, Fax: (62) 3521 18 67. E-mail: duaneizabel@gmail.com

<sup>3</sup> Professor Adjunto da UFG, Praça Universitária s/n. Setor Universitário. CEP 74605-220. Goiânia. Fone: (62) 3209 60 84, Fax: (62) 3521 18 67. E-mail: klebberformiga@gmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da atividade econômica e da população mundial implica em demanda por energia elétrica. Não por acaso, demanda e oferta de energia tornaram-se indicadores de desenvolvimento de uma região. Por isso, as políticas públicas tem se concentrado em estimular investimentos voltados à geração de energia, especialmente, buscando participação da iniciativa privada. No segmento das usinas hidrelétricas essa captação tem sido alcançada por meio da desburocratização dos processos de autorização e concessão.

Destaca-se neste contexto o ramo das CGH's (Centrais Geradoras de Hidroeletricidade), categoria de usinas hidrelétricas da ANEEL que não exige autorização ou concessão, apenas registro. Este tipo de empreendimento constitui uma boa alternativa de investimento por ser de menor custo e pouco complexo tecnicamente. Além disso, pode ser implementado rapidamente, visto que não é necessário apresentar estudo de inventário hidrelétrico da bacia; constitui de projetos pouco complexos, de arranjo simplificado e elaboração rápida e; requer um estudo ambiental compacto, não sendo necessário EIA/RIMA.

Estas usinas, que possuem potência instalada igual ou inferior a 1,0 MW, normalmente são economicamente viáveis em rios de pequeno porte, com grandes desníveis naturais e com regime fluviométrico pouco variável ao longo do ano.

Para a avaliação do potencial hidrelétrico de uma bacia é imprescindível o conhecimento da disponibilidade hídrica dos cursos d'água. Entretanto, há dificuldade em se obter dados hidrológicos com boa representatividade, que são encontrados apenas em locais com estações fluviométricas. Visando contornar este problema, torna-se útil a técnica da regionalização de vazões, que consiste em transferir informações hidrológicas de um local com dados para outro com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante.

Entretanto este processo pode apresentar certo grau de complexidade, visto que a variabilidade espacial da disponibilidade hídrica é decorrente da combinação de diversos fatores, como as características físicas e climáticas do local de interesse.

Outro problema relativo à estimativa de vazões é que a maioria dos dados disponíveis no Brasil foram regionalizados a partir de estações fluviométricas situadas em seções com grandes áreas de drenagem, o que impossibilita o uso das equações para rios de pequeno porte. Estes rios, geralmente, apresentam comportamento hidrológico diferenciado em relação aos de maiores áreas de drenagem.

Tucci (2002) define regionalização hidrológica como o processo de transferência de informações de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico

semelhante. O princípio é baseado na similaridade espacial de algumas funções, variáveis ou parâmetros que permitem essa transferência.

As características físicas da bacia mais usadas no processo de regionalização de vazões são a área de drenagem, o comprimento do rio, a densidade de drenagem, e a declividade média do rio. Dentre estas variáveis a área de drenagem é a que mais tem sido usada, sendo que esta variável, em geral, possui boa correlação com as variáveis hidrológicas da bacia. Silva et al. (2003), aplicaram o método tradicional proposto pela Eletrobrás (1985a) para a regionalização das vazões médias, máximas e mínimas e da curva de permanência na bacia do Rio Grande evidenciando que a área de drenagem foi a variável que melhor explicou o comportamento das vazões.

Esta boa correlação da previsão de vazões com a área de drenagem da bacia vem de encontro com a praticidade, pois esta variável física pode ser facilmente determinada com precisão razoavelmente boa. Baena (2002) estudou o efeito de escalas cartográficas na determinação de características físicas na bacia do Paraíba do Sul, constatando grande influência da escala na rede de drenagem e pequeno efeito na área de drenagem. Desta forma, constatou que o uso da densidade de drenagem em modelos de regionalização acarreta grandes incertezas na estimativa das vazões, motivo pelo qual recomenda que o uso desta variável em modelos de regionalização de vazões seja evitado. Diniz (2008) comenta que um dos métodos mais simples de regionalização é o uso de equações empíricas relacionando a vazão de uma bacia hidrográfica com sua área de drenagem, dentro de uma região em particular.

Uma técnica importante no estudo de regionalização hidrológica é a identificação de bacias hidrográficas com características físicas similares. Tucci (2002) define a homogeneidade, dentro da regionalização hidrológica, como a semelhança na resposta hidrológica de cada região. Segundo Porto et al. (2004), uma vez definidos os grupos similares, a transferência de informações hidrológicas pode ser feita de uma bacia instrumentada para outra não instrumentada dentro do mesmo grupo. Estes autores estudaram a formação de regiões homogêneas no estado do Ceará e observaram que a área de drenagem mostrou-se uma das principais variáveis na definição de regiões hidrologicamente homogêneas.

Existem diversos modelos de regionalização hidrológica desenvolvidos e em estudo, sendo o mais utilizado e mais citado o modelo tradicional proposto pela Eletrobrás (1985a). Este modelo consiste na identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e posterior ajuste de equações de regressão entre as variáveis a serem regionalizadas e as características físicas e climáticas das áreas de drenagem das estações fluviométricas pertencentes às regiões homogêneas.

Ribeiro, Marques e Silva (2005) compararam o modelo tradicional com o modelo de Chaves et al. (2002), que utilizam técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistema de informações geográficas, e o modelo de interpolação linear, baseada no princípio de

vazão específica. Estes autores observaram que o método que apresentou maior precisão foi o proposto pela Eletrobrás (1985a), resultando em equações de regionalização de vazões com erro relativo médio de 16,56 %, enquanto os outros métodos proporcionaram erro relativo médio de 36%.

Outras técnicas de regressão são usadas para regionalização de variáveis hidrológicas, como o modelo dos mínimos quadrados generalizados (GLS) e suas variantes: mínimos quadrados ponderados (WLS) e mínimos quadrados (OLS). Alexandre (2007) testou estes modelos na regionalização da vazão média de longa duração, concluindo que o GLS é o mais apropriado.

Quando necessita-se uma estimativa rápida de vazões é comum a suposição que a proporcionalidade linear entre áreas é obedecida pela vazão, ou seja, toma-se a vazão específica de uma bacia próxima com dados e área de drenagem de magnitude semelhante e multiplica-se pela área do local sem dados. O que pode ser útil em alguns casos quando não há a necessidade de um estudo hidrológico aprofundado, demandando a utilização de modelos simplificados de regionalização para locais sem dados. Agra et al. (2003) compararam os métodos de regionalização hidrológica por vazão específica, equações de regionalização e coeficiente de escoamento como parâmetro regional e observaram que a precipitação mostrou-se uma variável sensível nos resultados de regionalização para pequenas bacias, o que destacou a metodologia do coeficiente de escoamento para transferência de informações de médias bacias para pequenas bacias.

O objetivo deste trabalho é avaliar três modelos de ajuste matemático para a regionalização de vazões médias e mínimas na bacia do Médio Iguaçu.

## **2. METODOLOGIA**

Tendo em vista o objetivo do trabalho de desenvolver um estudo de regionalização de vazões de aplicação prática para a bacia do Médio Iguaçu, foi feito um levantamento de dados na região para composição das variáveis do problema. Após a seleção das estações fluviométricas inseridas na bacia de estudo com período de amostragem igual ou superior a 20 anos, foram determinados os parâmetros área de drenagem, declividade e precipitação de cada uma delas e estimados os valores das variáveis hidrológicas. Em seguida, foram feitos ajustes de equações do tipo linear, potencial e exponencial minimizando-se os erros relativos quadráticos entre os valores de vazões observadas e estimadas pelas equações. Por fim, com base na análise das correlações e erros, foram determinadas as equações e parâmetros de melhor ajuste para cada variável hidrológica.

### **2.1. Bacia de Estudo**

O Rio Iguaçu é um dos principais afluentes do Rio Paraná, tem suas nascentes no pé da serra do mar próximas à cidade de Curitiba-PR, e deságua no Rio Paraná, abrangendo uma área de drenagem de 70.799 km<sup>2</sup>. O rio segue o sentido geral de leste para oeste e faz divisa entre os estados do Paraná e Santa Catarina em parte do seu trecho alto. Divide-se em três regiões fisiográficas: Alto, Médio e Baixo Iguaçu.

O divisor do médio Iguaçu tem como marco de sua foz o ponto onde o Rio Jordão deságua no Rio Iguaçu, nas coordenadas de 25°46'28"S de latitude e 52° 7'31"O de longitude, município de Foz do Jordão, estado do Paraná. A área de drenagem é de 39.015 km<sup>2</sup>, sendo 65% desta área em território paranaense e o restante no estado de Santa Catarina (Figura 1).

Para a determinação das variáveis hidrológicas e parâmetros de precipitação, foi feito um levantamento de dados de vazões e precipitações disponíveis na rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional das Águas (ANA), obtidos em 5 de janeiro de 2009.

No levantamento de dados de vazões, foram constatadas 50 estações fluviométricas com dados inseridas na área em estudo. Foram eliminados postos com período de amostragem inferior a 20 anos, restando, então, os 31 postos utilizados no trabalho (Tabela 1).

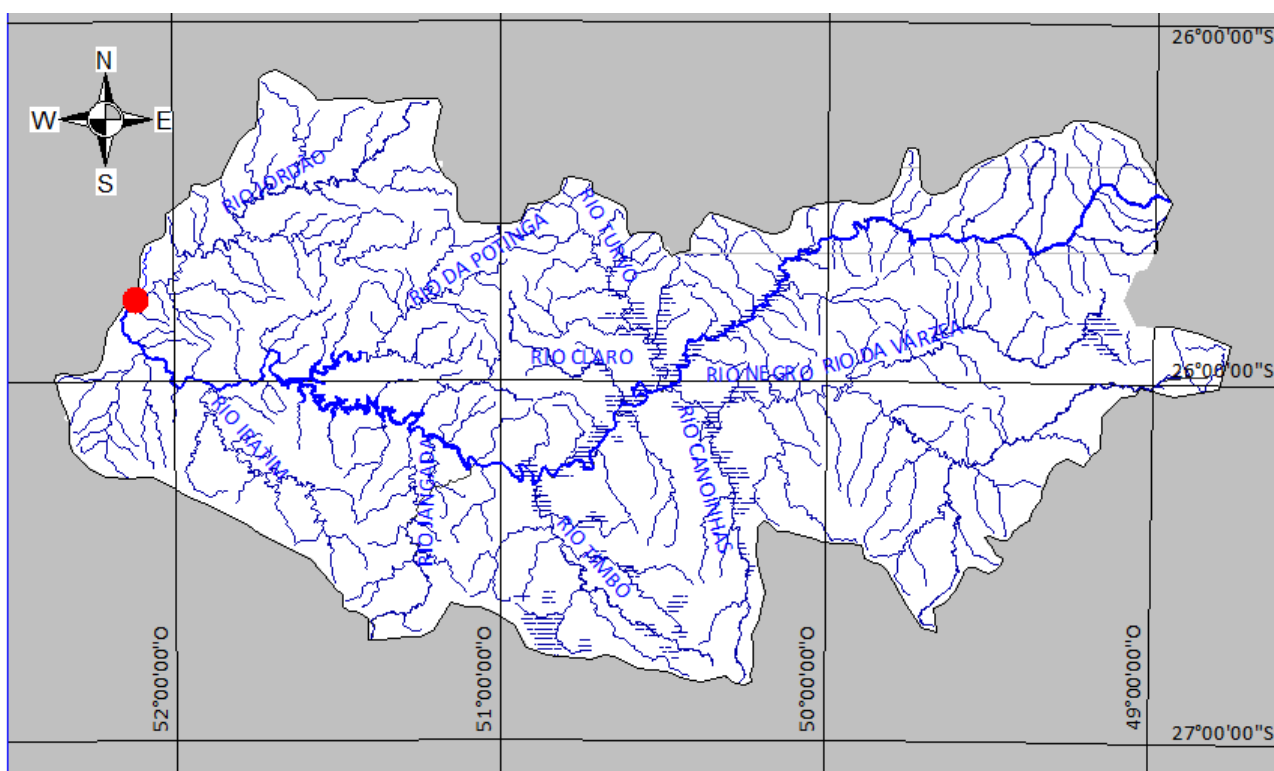


Figura 1 - Bacia Hidrográfica do Médio Iguaçu (Adaptado de IBGE, mapa SG 22).

Todos os postos fluviométricos da Tabela 1 são de responsabilidade da ANA e estão inseridos na bacia do Médio Iguaçu, portanto, bacia do Rio Paraná, sub-bacia do Rio Iguaçu, código ANA

número 65. Com exceção dos postos 65085000, 65235000 e 65810000, que encontram-se desativados desde 1967, todos são operados pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Estado do Paraná, a SUDERHSA.

## 2.2. Variáveis de Hidrológicas de Estudo

Para estudo da disponibilidade hídrica média da bacia foi utilizada como variável dependente do estudo a vazão média anual de longa duração ( $Q_{mld}$ ), calculada neste estudo de acordo com o conceito de Tucci (2002), ou seja, pela média dos dados da série de vazões médias mensais de cada posto.

Na caracterização de vazões mínimas da região foram usadas a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), comumente utilizada para fins de outorga de uso da água de um manancial e licenciamento ambiental; as vazões mínimas com permanência de 90% ( $Q_{90\%}$ ) e 95% ( $Q_{95\%}$ ), calculadas usando a série de vazões diárias de cada estação; e a vazão mínima média mensal ( $Q_{mín}$ ), determinada como o menor valor das vazões médias dos 12 meses do ano, importante para previsão do período de menor geração.

Para o cálculo da  $Q_{7,10}$  utilizou-se a série de vazões diárias de cada posto e determinou-se a menor vazão com 7 dias consecutivos de duração de cada ano. Em seguida fez-se uma análise de frequência e foi determinada a vazão com tempo de retorno de 10 anos.

Tabela 1 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo.

| Código   | Nome                     | Rio            | Latitude   | Longitude  | Área de Drenagem (km <sup>2</sup> ) |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------------|-------------------------------------|
| 65003950 | Olaria do Estado         | Rio Iraí       | 25°26'27"S | 49°07'06"O | 182                                 |
| 65009000 | Ponte BR-277             | Rio Iguaçu     | 25°29'00"S | 49°11'21"O | 625                                 |
| 65010000 | Fazendinha               | Rio Pequeno    | 25°31'09"S | 49°08'48"O | 116                                 |
| 65011400 | Prado Velho - UCP        | Rio Belém      | 25°27'00"S | 49°14'56"O | 42                                  |
| 65015400 | Cachoeira                | Rio Miringuava | 25°35'21"S | 49°13'43"O | 301                                 |
| 65019700 | Ponte da Caximba         | Rio Barigui    | 25°36'49"S | 49°21'24"O | 257                                 |
| 65021000 | Jusante Aterro Sanitário | Rio Passaúna   | 25°21'52"S | 49°20'27"O | 23                                  |
| 65024000 | Campina das Pedras       | Rio Passaúna   | 25°34'28"S | 49°25'47"O | 199                                 |
| 65025000 | Guajuvira                | Rio Iguaçu     | 25°36'01"S | 49°30'48"O | 2.577                               |
| 65027000 | Rodeio                   | Rio Verde      | 25°34'47"S | 49°34'59"O | 258                                 |
| 65035000 | Porto Amazonas           | Rio Iguaçu     | 25°32'53"S | 49°53'22"O | 3.662                               |
| 65060000 | São Mateus do Sul        | Rio Iguaçu     | 25°52'33"S | 50°23'23"O | 6.065                               |
| 65085000 | Bateias de Baixo         | Rio Negro      | 26°04'48"S | 49°16'09"O | 490                                 |
| 65090000 | Fragoso                  | Rio Negro      | 26°09'17"S | 49°22'50"O | 800                                 |
| 65094500 | Avencal                  | Rio Negro      | 26°16'00"S | 49°37'16"O | 868                                 |
| 65095000 | Rio Preto do Sul         | Rio Negro      | 26°12'58"S | 49°36'12"O | 2.495                               |
| 65100000 | Rio Negro                | Rio Negro      | 26°06'35"S | 49°48'04"O | 3.379                               |
| 65135000 | Rio da Várzea dos Lima   | Rio da Várzea  | 25°56'04"S | 49°23'35"O | 602                                 |

|          |                      |                |            |            |        |
|----------|----------------------|----------------|------------|------------|--------|
| 65136550 | Quitandinha          | Rio da Várzea  | 25°51'51"S | 49°30'46"O | 955    |
| 65155000 | São Bento            | Rio da Várzea  | 25°56'44"S | 49°47'29"O | 2.012  |
| 65180000 | Salto Canoinhas      | Rio Canoinhas  | 26°22'21"S | 50°16'59"O | 793    |
| 65220000 | Fluviópolis          | Rio Iguaçu     | 26°01'09"S | 50°35'33"O | 18.300 |
| 65235000 | Rio Claro do Sul     | Rio Claro      | 25°57'21"S | 50°41'04"O | 475    |
| 65295000 | Santa Cruz do Timbó  | Rio Timbó      | 26°23'02"S | 50°52'42"O | 2.614  |
| 65310000 | União da Vitória     | Rio Iguaçu     | 26°13'41"S | 51°04'49"O | 24.211 |
| 65365000 | Porto Vitória        | Rio Espingarda | 26°10'38"S | 51°31'11"O | 165    |
| 65370000 | Jangada do Sul - 396 | Rio Jangada    | 26°23'13"S | 51°16'19"O | 1.055  |
| 65415000 | Fazenda Maracanã     | Rio Palmital   | 26°01'49"S | 51°08'30"O | 323    |
| 65809000 | ETA - Guarapuava     | Rio das Pedras | 25°23'52"S | 51°26'09"O | 306    |
| 65810000 | Guarapuava           | Rio Jordão     | 25°26'22"S | 51°27'16"O | 731    |
| 65825000 | Santa Clara          | Rio Jordão     | 25°38'17"S | 51°58'02"O | 3.913  |

### 2.3. Parâmetros de Regressão

As variáveis independentes no estudo constituem características físicas e climáticas da bacia. As características físicas utilizadas foram a área de drenagem, obtida na rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da ANA, e a declividade média do talvegue do rio, sendo esta uma variável comumente usada nos estudos de regionalização de vazões e importante neste caso, tendo em vista o relevo acidentado da região.

O cálculo da declividade média depende de três variáveis: cota da nascente dos rios, aqui chamada de cota de montante; cota do nível de jusante e comprimento do curso principal, sendo as cotas dadas em metros e o comprimento do rio em quilômetros. A cota de montante foi levantada por cartas topográficas do IBGE em escalas de 1:50.000 e 1: 100.000, com equidistância entre curvas de nível variando de 20 a 50 metros.

O nível de jusante foi tirado da altitude de cada estação fluviométrica informada nos dados das estações disponíveis no portal Hidroweb. Já o comprimento do curso principal foi medido no mapa eletrônico do IBGE utilizando-se o software AutoCAD, da AutoDesk. A variável climática empregada foi a precipitação total anual média, calculada, para cada bacia, pelo método dos polígonos de Thiessen.

### 2.4. Metodologia de regionalização de vazões e análise dos dados

Foram aplicados, para cada variável hidrológica em estudo, as equações de regressão linear, potencial e exponencial exibidas abaixo.

- modelo linear:  $Q = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 Dd + \beta_3 P$  (1)

- modelo potencial:  $Q = \beta_0 A^{\beta_1} D d^{\beta_2} P^{\beta_3}$  (2)

- modelo exponencial:  $Q = e^{(\beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 D d + \beta_3 P)}$  (3)

Para avaliação da relevância de cada parâmetro no ajuste das equações, foram feitas análises utilizando apenas a área de drenagem (A), área de drenagem e declividade ( $D_d$ ), área de drenagem e precipitação (P) e, finalmente, usando os três parâmetros.

Por meio destas equações foram calculadas as chamadas vazões estimadas utilizando-se os parâmetros de entrada – área de drenagem, declividade e precipitação - de cada estação fluviométrica. O melhor ajuste para os valores dos coeficientes  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  foi feito através da minimização do erro relativo quadrático entre as vazões estimadas pelas equações de regionalização e as vazões observadas - estimadas com base nos dados coletados das estações fluviométricas.

Na análise dos resultados, foi utilizado como critério de seleção da melhor equação de regionalização o menor erro gerado e o maior fator de correlação entre vazões estimadas e observadas.

### 3. RESULTADOS

#### 5.1. Variáveis Hidrológicas

Os valores das variáveis hidrológicas calculadas com base nos dados obtidos das estações fluviométricas, chamados de vazões observadas, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Vazões observadas, estimadas com base nos dados obtidos das estações fluviométricas.



| Código   | Qmld (m³/s) | Qmín (m³/s) | Q95% (m³/s) | Q90% (m³/s) | Q7,10 (m³/s) |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 65003950 | 2,94        | 2,36        | 0,66        | 0,93        | 0,37         |
| 65009000 | 12,98       | 9,69        | 2,34        | 3,78        | 0,78         |
| 65010000 | 3,01        | 2,36        | 1,19        | 1,39        | 0,62         |
| 65011400 | 1,97        | 1,69        | 0,81        | 0,99        | 0,50         |
| 65015400 | 6,02        | 4,91        | 1,87        | 2,19        | 0,72         |
| 65019700 | 5,59        | 3,91        | 0,67        | 1,12        | 0,31         |
| 65021000 | 0,68        | 0,59        | 0,10        | 0,18        | 0,06         |
| 65024000 | 2,75        | 2,28        | 0,66        | 0,99        | 0,32         |
| 65025000 | 53,62       | 40,97       | 15,67       | 19,27       | 7,25         |
| 65027000 | 4,77        | 3,55        | 1,20        | 1,52        | 0,46         |
| 65035000 | 68,31       | 50,21       | 17,95       | 24,35       | 6,62         |
| 65060000 | 106,43      | 75,81       | 25,18       | 33,95       | 14,89        |
| 65085000 | 11,18       | 9,16        | 4,75        | 5,35        | 3,14         |
| 65090000 | 19,34       | 16,46       | 8,03        | 9,06        | 5,43         |
| 65094500 | 24,41       | 16,36       | 6,29        | 8,19        | 1,82         |
| 65095000 | 53,57       | 41,31       | 17,75       | 20,81       | 16,52        |
| 65100000 | 68,04       | 53,05       | 19,99       | 24,99       | 11,66        |
| 65135000 | 11,66       | 9,64        | 4,19        | 4,81        | 2,66         |
| 65136550 | 20,74       | 16,43       | 7,34        | 8,80        | 4,47         |
| 65155000 | 34,82       | 27,86       | 11,94       | 14,15       | 7,37         |
| 65180000 | 18,62       | 11,16       | 3,67        | 4,37        | 1,83         |
| 65220000 | 388,85      | 278,53      | 105,50      | 128,60      | 56,64        |
| 65235000 | 10,25       | 6,85        | 2,58        | 3,43        | 1,23         |
| 65295000 | 79,01       | 49,49       | 14,43       | 19,53       | 6,20         |
| 65310000 | 467,60      | 334,47      | 117,12      | 143,75      | 65,77        |
| 65365000 | 4,71        | 3,25        | 1,13        | 1,38        | 0,37         |
| 65370000 | 26,02       | 17,89       | 5,94        | 7,29        | 2,37         |
| 65415000 | 8,99        | 7,06        | 2,41        | 2,93        | 1,05         |
| 65809000 | 9,35        | 5,89        | 2,18        | 2,69        | 0,77         |
| 65810000 | 13,72       | 10,29       | 3,69        | 4,47        | 2,01         |
| 65825000 | 112,65      | 82,95       | 26,59       | 34,45       | 11,45        |

Observa-se que a vazão mínima média mensal apresentou um percentual médio, em relação à vazão média de longa duração, de 75% com variação de 7 pontos percentuais para mais ou para menos, o que confirma a expectativa de pequena variação sazonal do regime hidrológico da região.

## 5.2. Parâmetros de Regressão

A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros levantados para o estudo para cada estação fluviométrica.

Observa-se uma grande variação na dimensão das áreas de drenagem, que oscilam entre 23 km<sup>2</sup>, localizada no Rio Passaúna, e 24.211 km<sup>2</sup>, localizada no Rio Iguazu. A média é de 2.518 km<sup>2</sup> e o desvio padrão de 5.169 km<sup>2</sup>.

A declividade variou de 0,91 m/km a 25,98 m/km, sendo o valor médio de 6,03 m/km e o desvio padrão de 5,05 m/km.

Tabela 3 - Parâmetros das estações fluviométricas levantados.

| <b>Código</b> | <b>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Declividade (m/km)</b> | <b>Precipitação Média (mm)</b> |
|---------------|--|---------------------------|--------------------------------|
| 65003950      | 182                                      | 11,61                     | 1513                           |
| 65009000      | 626                                      | 3,71                      | 1513                           |
| 65010000      | 117                                      | 9,11                      | 1513                           |
| 65011400      | 42                                       | 11,00                     | 1513                           |
| 65015400      | 301                                      | 9,85                      | 1513                           |
| 65019700      | 257                                      | 3,69                      | 1513                           |
| 65021000      | 23                                       | 9,03                      | 1513                           |
| 65024000      | 199                                      | 3,84                      | 1513                           |
| 65025000      | 2.578                                    | 1,79                      | 1513                           |
| 65027000      | 258                                      | 3,24                      | 1513                           |
| 65035000      | 3.662                                    | 1,74                      | 1513                           |
| 65060000      | 6.065                                    | 1,17                      | 1513                           |
| 65085000      | 490                                      | 10,66                     | 1666                           |
| 65090000      | 800                                      | 8,23                      | 1666                           |
| 65094500      | 868                                      | 3,29                      | 1593                           |
| 65095000      | 2.495                                    | 5,33                      | 1592                           |
| 65100000      | 3.379                                    | 3,88                      | 1592                           |
| 65135000      | 602                                      | 1,90                      | 1592                           |
| 65136550      | 955                                      | 1,51                      | 1592                           |
| 65155000      | 2.012                                    | 1,36                      | 1592                           |
| 65180000      | 793                                      | 7,43                      | 1620                           |
| 65220000      | 18.300                                   | 0,91                      | 1592                           |
| 65235000      | 475                                      | 7,82                      | 1416                           |
| 65295000      | 2.614                                    | 3,59                      | 1607                           |
| 65310000      | 24.211                                   | 0,93                      | 1592                           |
| 65365000      | 165                                      | 25,98                     | 1963                           |
| 65370000      | 1.055                                    | 7,19                      | 1660                           |
| 65415000      | 323                                      | 11,08                     | 1593                           |
| 65809000      | 306                                      | 6,22                      | 1758                           |
| 65810000      | 731                                      | 9,64                      | 1758                           |
| 65825000      | 3.913                                    | 4,08                      | 1758                           |

A região em estudo apresenta distribuição irregular de precipitações ao longo do tempo e da área, entretanto, há pouca variação de precipitações médias anuais, sendo a média das estações em estudo de 1.592 mm e o desvio padrão de 105 mm. O valor mínimo é de 1.415 mm e o valor máximo de 1.963 mm.

### **5.3 Vazões Médias e Mínimas**

As Tabelas de 4 a 8 apresentam os resultados dos coeficientes ( $\beta_n$ ), das correlações ( $R^2$ ) e dos erros relativos quadráticos (Erro<sup>2</sup>) para as variáveis hidrológicas utilizando-se as equações de ajuste linear, potencial e exponencial e utilizando-se como parâmetros apenas a área de drenagem (A), área de drenagem e declividade (A + Dd), área de drenagem e precipitação (A + P) e todos os parâmetros (A + D<sub>d</sub> + P).

Tabela 4 - Resultados obtidos para vazão média de longa duração ( $Q_{mld}$ ).

| <b>Ajuste</b> | <b>Coefficiente</b> | <b>A</b>   | <b>A + Dd</b> | <b>A + P</b> | <b>A + Dd + P</b> |
|---------------|---------------------|------------|---------------|--------------|-------------------|
| Linear        | $\beta_0$           | 3,21366    | 4,40097       | -38,52258    | -59,39835         |
|               | $\beta_1$           | 0,01992    | 0,01985       | 0,01992      | 0,01967           |
|               | $\beta_2$           | -          | -0,17049      | -            | -0,67959          |
|               | $\beta_3$           | -          | -             | 0,02621      | 0,04229           |
|               | $R^2$               | 0,99518    | 0,99521       | 0,99554      | 0,99588           |
|               | Erro <sup>2</sup>   | 3.190,37   | 3.170,70      | 2.953,89     | 2.730,38          |
| Potencial     | $\beta_0$           | 0,03595    | 0,01916       | 0,00000      | 0,00000           |
|               | $\beta_1$           | 0,94095    | 1,00496       | 0,93844      | 0,93844           |
|               | $\beta_2$           | -          | 0,13435       | -            | -                 |
|               | $\beta_3$           | -          | -             | 2,31368      | 2,31368           |
|               | $R^2$               | 0,99569    | 0,99613       | 0,99771      | 0,99771           |
|               | Erro <sup>2</sup>   | 2.860,46   | 2.571,61      | 1.535,64     | 1.535,64          |
| Exponencial   | $\beta_0$           | 4,31108    | 0,00010       | -9,18126     | 4,24115           |
|               | $\beta_1$           | -0,00035   | 0,00017       | -0,00030     | 0,00007           |
|               | $\beta_2$           | -          | 0,23580       | -            | 0,15494           |
|               | $\beta_3$           | -          | -             | 0,00782      | -0,00109          |
|               | $R^2$               | 0,13366    | 0,73016       | 0,67998      | 0,73436           |
|               | Erro <sup>2</sup>   | 328.715,55 | 185.812,11    | 193.911,90   | 153.044,71        |

Tabela 5 - Tabela 5 - Resultados obtidos para mínima média mensal ( $Q_{\min}$ )

| Ajuste      | Coefficiente      | A          | A + Dd    | A + P       | A + Dd + P  |
|-------------|-------------------|------------|-----------|-------------|-------------|
| Linear      | $\beta_0$         | 2,58237    | 3,49657   | -27,17339   | -42,47518   |
|             | $\beta_1$         | 0,01425    | 0,01420   | 0,01425     | 0,01407     |
|             | $\beta_2$         | -          | -0,13127  | -           | -0,49811    |
|             | $\beta_3$         | -          | -         | 0,01869     | 0,03047     |
|             | $R^2$             | 0,99571    | 0,99574   | 0,99606     | 0,99642     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 1.454,61   | 1.442,95  | 1.334,41    | 1.214,33    |
| Potencial   | $\beta_0$         | 0,02736    | 0,01355   | 6,23478E-09 | 6,23478E-09 |
|             | $\beta_1$         | 0,93479    | 1,00627   | 0,93206     | 0,93206     |
|             | $\beta_2$         | -          | 0,14918   | -           | -           |
|             | $\beta_3$         | -          | -         | 2,07841     | 2,07841     |
|             | $R^2$             | 0,99569    | 0,99614   | 0,99837     | 0,99837     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 1.249,25   | 1.066,90  | 562,75      | 562,75      |
| Exponencial | $\beta_0$         | 3,97132    | 2,43787   | -9,15468    | 3,82140     |
|             | $\beta_1$         | -0,00032   | 0,00005   | -0,00030    | 0,00006     |
|             | $\beta_2$         | -          | 0,12916   | -           | 0,15146     |
|             | $\beta_3$         | -          | -         | 0,00763     | -0,00100    |
|             | $R^2$             | 0,13686    | 0,72186   | 0,67734     | 0,72967     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 167.726,21 | 81.469,20 | 99.336,92   | 79.487,09   |

Tabela 6 - Resultados obtidos para vazão com 95% de permanência ( $Q_{95}$ )

| Ajuste      | Coefficiente      | A         | A + Dd    | A + P       | A + Dd + P  |
|-------------|-------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Linear      | $\beta_0$         | 1,01936   | 1,30750   | -8,96129    | -14,00288   |
|             | $\beta_1$         | 0,00512   | 0,00511   | 0,00512     | 0,00506     |
|             | $\beta_2$         | -         | -0,04137  | -           | -0,16355    |
|             | $\beta_3$         | -         | -         | 0,00627     | 0,01015     |
|             | $R^2$             | 0,99287   | 0,99289   | 0,99318     | 0,99347     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 313,48    | 312,32    | 299,91      | 286,96      |
| Potencial   | $\beta_0$         | 0,01016   | 0,00778   | 7,38516E-07 | 7,38516E-07 |
|             | $\beta_1$         | 0,93155   | 0,95880   | 0,95772     | 0,95772     |
|             | $\beta_2$         | -         | 0,05847   | -           | -           |
|             | $\beta_3$         | -         | -         | 1,25768     | 1,25768     |
|             | $R^2$             | 0,99350   | 0,99359   | 0,99455     | 0,99455     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 285,73    | 282,17    | 243,12      | 243,12      |
| Exponencial | $\beta_0$         | 2,93517   | 1,48781   | -9,67906    | 2,77479     |
|             | $\beta_1$         | -0,00028  | 0,00004   | -0,00028    | 0,00005     |
|             | $\beta_2$         | -         | 0,12532   | -           | 0,14616     |
|             | $\beta_3$         | -         | -         | 0,00736     | -0,00093    |
|             | $R^2$             | 0,13861   | 0,69601   | 0,64871     | 0,70341     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 21.737,45 | 11.393,70 | 13.687,34   | 11.158,47   |

Tabela 7 - Resultados obtidos para vazão com 90% de permanência ( $Q_{90\%}$ ).

| Ajuste      | Coefficiente      | A         | A + Dd    | A + P       | A + Dd + P  |
|-------------|-------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Linear      | $\beta_0$         | 1,52060   | 2,26339   | -9,01733    | -17,04415   |
|             | $\beta_1$         | 0,00629   | 0,00625   | 0,00629     | 0,00619     |
|             | $\beta_2$         | -         | -0,10666  | -           | -0,26073    |
|             | $\beta_3$         | -         | -         | 0,00662     | 0,01280     |
|             | R <sup>2</sup>    | 0,99364   | 0,99376   | 0,99387     | 0,99437     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 420,53    | 412,84    | 405,41      | 372,51      |
| Potencial   | $\beta_0$         | 0,01504   | 0,01203   | 1,00813E-06 | 1,00813E-06 |
|             | $\beta_1$         | 0,91281   | 0,93545   | 0,91100     | 0,91100     |
|             | $\beta_2$         | -         | 0,04827   | -           | -           |
|             | $\beta_3$         | -         | -         | 1,30597     | 1,30597     |
|             | R <sup>2</sup>    | 0,99489   | 0,99495   | 0,99603     | 0,99603     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 340,00    | 336,06    | 265,51      | 265,51      |
| Exponencial | $\beta_0$         | 3,14658   | 1,71457   | -9,26445    | 3,03648     |
|             | $\beta_1$         | -0,00028  | 0,00004   | -0,00028    | 0,00005     |
|             | $\beta_2$         | -         | 0,12446   | -           | 0,14587     |
|             | $\beta_3$         | -         | -         | 0,00725     | -0,00096    |
|             | R <sup>2</sup>    | 0,13297   | 0,69493   | 0,64504     | 0,70318     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 32.791,49 | 17.195,05 | 20.795,94   | 16.800,82   |

Tabela 8 - Resultados obtidos para vazão mínima com sete dias de duração e 10 anos de tempo de retorno ( $Q_{7,10}$ ).

| Ajuste      | Coefficiente      | A        | A + Dd   | A + P       | A + Dd + P  |
|-------------|-------------------|----------|----------|-------------|-------------|
| Linear      | $\beta_0$         | 0,36630  | 0,25165  | -3,87057    | -4,56328    |
|             | $\beta_1$         | 0,00283  | 0,00284  | 0,00283     | 0,00282     |
|             | $\beta_2$         | -        | 0,01646  | -           | -0,02196    |
|             | $\beta_3$         | -        | -        | 0,00266     | 0,00319     |
|             | R <sup>2</sup>    | 0,98779  | 0,98780  | 0,98797     | 0,98799     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 164,94   | 164,76   | 162,48      | 162,25      |
| Potencial   | $\beta_0$         | 0,00439  | 0,00206  | 1,00685E-07 | 1,00685E-07 |
|             | $\beta_1$         | 0,95621  | 1,03305  | 0,95393     | 0,95393     |
|             | $\beta_2$         | -        | 0,16477  | -           | -           |
|             | $\beta_3$         | -        | -        | 1,45203     | 1,45203     |
|             | R <sup>2</sup>    | 0,98800  | 0,98858  | 0,98869     | 0,98869     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 162,02   | 154,41   | 152,86      | 152,86      |
| Exponencial | $\beta_0$         | 2,30327  | 0,85675  | -10,68911   | 1,92025     |
|             | $\beta_1$         | -0,00025 | 0,00003  | -0,00024    | 0,00004     |
|             | $\beta_2$         | -        | 0,12749  | -           | 0,14464     |
|             | $\beta_3$         | -        | -        | 0,00758     | -0,00077    |
|             | R <sup>2</sup>    | 0,14015  | 0,71042  | 0,66672     | 0,71440     |
|             | Erro <sup>2</sup> | 6.681,21 | 3.371,86 | 4.017,18    | 3.332,31    |

Observou-se que, para as variáveis de vazões médias e mínimas, o ajuste potencial foi o que apresentou a melhor correlação e o menor erro quando comparado com os demais. A análise gráfica evidencia que o ajuste exponencial não se adéqua à estimativa destas variáveis hidrológicas.

Quanto aos parâmetros testados, constatou-se que a declividade não contribui com a melhoria dos resultados, já a precipitação apresenta pequena correlação (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores de correlação entre as variáveis hidrológica e os parâmetros em análise.

| Variável          | Área de drenagem | Declividade | Precipitação |
|-------------------|------------------|-------------|--------------|
| Q <sub>md</sub>   | 0,99518          | -0,38504    | 0,02033      |
| Q <sub>mín</sub>  | 0,99571          | -0,38578    | 0,02024      |
| Q <sub>95%</sub>  | 0,99287          | -0,38374    | 0,01845      |
| Q <sub>90%</sub>  | 0,99364          | -0,39142    | 0,01499      |
| Q <sub>7,10</sub> | 0,98779          | -0,37030    | 0,01270      |

Definiu-se, então, pelos menores erros apresentados as equações de regionalização para vazões médias e mínimas e seus respectivos erros quadráticos e coeficientes de correlação apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Equações de regionalização de vazões médias e mínimas.

| Equação   | R <sup>2</sup> |
|---|----------------|
| $Q_{md} = 1,4408 * 10^{-9} A^{0,9384} P^{2,3137}$   | 0,99771        |
| $Q_{mín} = 6,2348 * 10^{-9} A^{0,9321} P^{2,0784}$  | 0,99837        |
| $Q_{95\%} = 7,3852 * 10^{-7} A^{0,9577} P^{1,2577}$ | 0,99455        |
| $Q_{90\%} = 1,0081 * 10^{-6} A^{0,9110} P^{1,3060}$ | 0,99603        |
| $Q_{7,10} = 1,0069 * 10^{-7} A^{0,9539} P^{1,4520}$ | 0,98869        |

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados levaram às seguintes conclusões para as variáveis de vazões médias e mínimas da bacia do Médio Iguaçu:

- O ajuste potencial foi o que apresentou a melhor correlação e o menor erro quando comparado com os demais.

- O ajuste exponencial não se adéqua à estimativa destas variáveis hidrológicas na bacia de estudo.
- Quanto aos parâmetros testados, constatou-se que a declividade não contribui com a melhoria dos resultados, já a precipitação apresenta uma pequena melhora na correlação.

## **BIBLIOGRAFIA**

AGRA, S.G.; SOUZA, V.C., B.; NEVES, M.G.F. CRUZ, M.A.S. Metodologias de regionalização de vazões: estudo comparativo na bacia do Rio Carreiro – RS. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba - PR. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Curitiba, 2003.

ALEXANDRE, A.M.B. Modelos regionais para estimativas de vazões máximas e médias de longo período do alto São Francisco. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2007, São Paulo - SP. *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, São Paulo, 2007.

BAENA, L. G. N. Regionalização de vazões para o Rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente. 2002. 135 f. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

DINIZ, L. da S. Regionalização de parâmetros de modelo chuva-vazão usando redes neurais. 2008. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RG, 2008.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro. V.1, 1985a.

PORTO, M.M.; ANDRADE, E.M.; COSTA, R.N.T.; LEMOS FILHO, L.C. A.; MEIRELES, M.. Identificação de bacias hidrográficas com características físicas similares no Estado do Ceará, Brasil. *Revista Ciência Agrônômica*, Ceará, Vol. 35, Nº 1, jan.-jun., p. 17-25, 2004.

RIBEIRO, C.B. M.; MARQUES, F.A.; SILVA, D. D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do Rio Doce. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, Vol. 13, Nº 2, abr.-jun., p. 103-117, 2005.

RODRIGUEZ, R. G. Proposta conceitual para regionalização de vazões. 2008. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas gerais, 2008.

SILVA, E.A; TUCCI, C.E.M. Relação entre as vazões máximas diária e instantânea. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol.3, Nº 1, jan.-mar., p. 133-151, 1998.

SILVA, B. C., TIAGO FILHO, G. L., SILVA, A. P. M., de PAULO, R. G. F. Regionalização de vazões na bacia do Rio Grande. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba - PR. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Curitiba, 2003.

TUCCI, C.E.M. Regionalização de Vazões. 1ª Ed. Porto Alegre – RG: Editora da Universidade/UFRGS, 2002. 256 p.