

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – ICIAG
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL

DARIONE ALVES LEAL

PROPOSTA DE REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA PARA A BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA

UBERLÂNDIA

2019

DARIONE ALVES LEAL

**PROPOSTA DE REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA PARA A BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof^o Dr^o Hudson de Paula Carvalho.

Coorientadora: Prof^a Dr^a Sueli Moura Bertolino.

UBERLÂNDIA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- L435p
2019
- Leal, Darione Alves, 1968
Proposta de regionalização hidrológica para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba [recurso eletrônico] / Darione Alves Leal. - 2019.
- Orientador: Hudson de Paula Carvalho.
Coorientadora: Sueli Moura Bertolino.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.1350>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.
1. Ecologia. 2. Bacias hidrográficas. 3. Escoamento. 4. Abastecimento de água. I. Carvalho, Hudson de Paula, 1976, (Orient.). II. Bertolino, Sueli Moura, 1977, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental. IV. Título.

CDU: 574

**PROPOSTA DE REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA PARA A BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 29 de abril de 2019.

| | |
|-------------------------------------------------------------|------|
| Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho | UFU |
| Prof ^a . Dr ^a . Sueli Moura Bertolino | UFU |
| Dr ^a . Marília Carvalho de Melo | IGAM |
| Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira | UFU |



Prof. Dr. Hudson de Paulo Carvalho
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA

2019

Ao meu pai Alfeu da Silva Leal (*in memoriam*),
por todo apoio nesta jornada e pelo amor com
que me criou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Altíssimo Deus, por me abençoar, me escolher e confiar, proporcionando-me conforto e fé em todos os momentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho, e coorientadora, Prof^a Dr^a. Sueli Moura Bertolino, pela orientação, sobretudo, pela competência técnico-científica, meu respeito e admiração.

À equipe do Laboratório de Hidrologia, pelo agradável convívio e auxílio nas atividades internas. Em especial a Márcia Batistela, Fernando Justino, Pedro Corsino e Natália Mendes.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, por terem contribuído de forma significativa para o meu crescimento profissional e pessoal.

À minha mãe, Maria Helena Alves Leal, pelo amor, por todo apoio, conselhos e por sempre acreditar em mim. Ao meu irmão Alcione Alves Leal por todo apoio, compreensão e pela confiança depositada.

À minha família por todo o suporte nesta caminhada, em especial, aos meus irmãos Daniel Alves Leal e Darlene Alves Leal pelo apoio e incentivo que me proporcionaram.

Aos amigos que fizeram parte destes momentos, sempre me ajudando e incentivando.

À secretária do Programa de Pós-Graduação, Marília, pela disponibilidade em resolver os problemas.

A todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a CAPES, pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.

O meu muito obrigado.

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| LISTA DE FIGURAS | i |
| LISTA DE TABELAS | iii |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | iv |
| RESUMO | v |
| ABSTRACT | vi |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 OBJETIVO | 3 |
| 2.1 GERAL..... | 3 |
| 2.2 ESPECÍFICOS | 3 |
| 3 HIPÓTESE | 4 |
| 4 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 5 |
| 4.1 POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS | 5 |
| 4.2 BACIA HIDROGRÁFICA | 6 |
| 4.2.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS | 6 |
| 4.2.2 OUTORGA..... | 7 |
| 4.3 VAZÕES DE REFERÊNCIA | 9 |
| 4.4 VALIDAÇÕES CRUZADAS | 11 |
| 4.5 REGIÕES HOMOGÊNEAS: ANÁLISES DE AGRUPAMENTOS..... | 12 |
| 4.5.1 K-MEANS..... | 16 |
| 4.5.2 IDW – PONDERAÇÃO DO INVERSO DA DISTÂNCIA | 16 |
| 4.5.3 INTERPOLAÇÃO USANDO <i>KRIGAGEM</i> ORDINÁRIA..... | 18 |
| 4.5.4 REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES..... | 19 |
| 4.6 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG..... | 20 |
| 5 MATERIAL E MÉTODOS..... | 23 |
| 5.1 ÁREA DE ESTUDO | 23 |
| 5.2 ETAPA I – OBTENÇÃO DOS DADOS SRTM TRATAMENTO/RESULTADOS..... | 31 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3 ETAPA II – OBTENÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DE VAZÕES E PRECIPITAÇÃO | 32 |
| 5.3.1 COLETA E ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS..... | 32 |
| 5.3.2 ESTIMATIVA DAS VAZÕES MÍNIMAS - $Q_{7,10}$, Q_{90} E Q_{95} | 33 |
| 5.4 ETAPA 3 – REGIONALIZAÇÃO..... | 36 |
| 5.4.1 ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS..... | 36 |
| 5.4.1 INTERPOLAÇÃO IDW | 37 |
| 5.4.2 KRIGAGEM ORDINÁRIA | 37 |
| 5.6 ATLAS DIGITAL | 40 |
| 5.7 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA | 41 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 43 |
| 6.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA..... | 43 |
| 6.2 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS | 47 |
| 6.3 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS..... | 57 |
| 6.3.1 INTERPOLADOR IDW | 57 |
| 6.3.2 INTERPOLAÇÃO UTILIZANDO KRIGAGEM ORDINÁRIA | 73 |
| 6.5 LIMITES DE UTILIZAÇÃO DA REGIONALIZAÇÃO DA $Q_{7,10}$, Q_{90} E Q_{95} MÉTODO KO | 77 |
| 6.6 COMPARAÇÃO DOS VALORES DE $Q_{7,10}$ ESTIMADOS PELO MODELO OBTIDO NESTE TRABALHO COM AQUELES ESTIMADOS PELO ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS E DEFLÚVIOS SUPERFICIAIS DE MINAS GERAIS | 78 |
| 6.7 COMPARAÇÃO DOS VALORES DE Q_{95} CALCULADOS PELO MODELO OBTIDO NESTE TRABALHO COM AQUELES ESTIMADOS PELO ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS | 80 |
| 6.8 COMPARAÇÃO DOS VALORES DE Q_{90} ESTIMADOS PELO MODELO OBTIDO NESTE TRABALHO COM AQUELES ESTIMADOS PELO ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS | 82 |
| 7 CONCLUSÕES..... | 85 |
| REFERÊNCIAS | 86 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| APÊNDICE A - RESULTADO DOS VALORES ESTIMADOS DOS MODELOS IDW E KO DE Q ₉₅ E DO ATLAS DIGITAL | 93 |
| APÊNDICE B - RESULTADO DOS VALORES ESTIMADOS DOS MODELOS IDW E KO DE Q ₉₀ E DO ATLAS DIGITAL | 97 |
| APÊNDICE C - RESULTADO DOS VALORES ESTIMADOS DE Q _{7,10} E ATLAS DIGITAL E DEFLÚVIOS SUPERFICIAIS DE MINAS | 101 |
| APÊNDICE D - RESULTADO DOS TESTES DE ADERÊNCIA PARA DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DE PROBABILIDADE | 106 |
| APÊNDICE E – FUNÇÃO EM <i>VISUAL BASIC</i> PARA MONTAGEM DAS SÉRIES HISTÓRICAS PARA VALIDAÇÃO CRUZADA | 110 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Recorte da Sub-bacia do Rio Araguari MG. a) Rio Araguari (principal ou de maior ordem); b) divisores de água; c) afluente margem esquerda (tributário de ordem inferior); d) exutório; e) sub-bacias contíguas. | 6 |
| Figura 2 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Paranaíba | 23 |
| Figura 3 – Fluxograma geral. “a” e “b” são compõe a primeira etapa e são realizadas concomitantemente. 2, 3 e 4 são as etapas subsequentes. CFBH – Características físicas da bacia hidrográfica; IDW – interpolador pelo Inverso da distância ao quadrado; MDE – Modelo digital de elevação; RHH – Regiões hidrologicamente homogêneas; AA – análise de agrupamentos. RV – Regionalização de vazões; COE – Coeficiente de Nash- Sutcliffe | 25 |
| Figura 4 – Etapa I. Fluxograma do processo de obtenção do SRTM/tratamento/resultados. Taudem – algoritmo para obtenção dos resultados SIG..... | 26 |
| Figura 5 – Etapa II. Fluxograma do processo de obtenção dos dados das estações hidrométricas | 27 |
| Figura 6 – Etapa III-a. Fluxograma para organização dos agrupamentos. A – área de drenagem; L – comprimento do rio principal; Kc – índice de compacidade; Alt – altitude; Dd – densidade de drenagem; Pm – precipitação média..... | 28 |
| Figura 7 – Etapa III-b. Fluxograma para processo dos agrupamentos | 29 |
| Figura 8 – Etapa IV. Organização dos agrupamentos e obtenção do modelo matemático | 30 |
| Figura 9 – Representação das 48 folhas de SRTM sobrepondo a BHRP | 31 |
| Figura 10 – Esquema das estações da sub-bacia distribuídas espacialmente em função da longitude e longitude | 38 |
| Figura 11 – Bacia do Rio Paranaíba e as estações fluviométricas distribuídas. Utilizado o <i>Datum</i> de projeções cônicas de Albers. | 43 |
| Figura 12- Representação hipsométrica da BHP. Projeção cônica de Albers. | 52 |
| Figura 13 – Regiões hidrologicamente homogêneas para $Q_{7,10}$ após IDW para BHRP. | 58 |
| Figura 14 – Regiões hidrologicamente homogêneas para Q_{95} após IDW para BHRP... .. | 62 |
| Figura 15 – Regiões hidrologicamente homogêneas para Q_{90} após IDW para BHRP... .. | 68 |
| Figura 16 – Mapa regionalizado por interpolação krigagem ordinária para $Q_{7,10}$ | 73 |
| Figura 17 – Mapa regionalizado por interpolação krigagem ordinária para Q_{90} | 74 |
| Figura 18 – Mapa regionalizado por interpolação krigagem ordinária para Q_{95} | 74 |

- Figura 19 - Comparação dos resultados da $Q_{7,10}$ para a região Minas Gerais, obtidos diretamente do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado), pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (Deflúvios) e por meio do Atlas Digital das Águas de Minas (Atlas). COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe..... 79
- Figura 20 - Comparação dos resultados da $Q_{7,10}$ para a região GO, MS e DF, obtidos diretamente do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado). COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe. 79
- Figura 21 - Comparação dos resultados da Q_{95} para a região Minas Gerais, obtidos diretamente por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado), pelos métodos IDW e KO e por meio do Atlas Digital das Águas de Minas (Atlas). COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe. 81
- Figura 22 - Comparação dos resultados da Q_{95} para as regiões de GO, MS e DF, obtidos diretamente por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado) IDW e KO. COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe.....97
- Figura 23 - Resultados de Q_{90} para a região MG, obtidos por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho, calculado IDW e KO, e por meio do Atlas Digital das Águas de Minas (Atlas). COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe. ... 82
- Figura 24 - Comparação dos resultados da Q_{90} para as regiões de GO, MS e DF, obtidos diretamente por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado) IDW e KO. COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe..... 83

LISTA DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – Definição dos parâmetros utilizados no algoritmo <i>SAGA</i> para krigagem | 38 |
| Tabela 2 - Faixa de valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe (COE) e sua respectiva classificação, segundo Moriasi et al. (2007)..... | 42 |
| Tabela 3 – Dados de caracterização das estações fluviométricas na BHP. | 44 |
| Tabela 4 – Principais características morfológicas das sub-bacias da BHRP | 48 |
| Tabela 5 – Matriz de correlação de Pearson para vazão média mínima de sete dias de duração ($Q_{7,10}$) anuais de cada estação e as possíveis variáveis explicativas..... | 53 |
| Tabela 6 – Matriz de correlação de Pearson entre a vazão mínima garantida em 90% do tempo (Q_{90}) e as possíveis variáveis explicativas..... | 54 |
| Tabela 7 – Matriz de correlação de Pearson entre a vazão mínima garantida em 95% do tempo (Q_{95}) e as possíveis variáveis explicativas..... | 55 |
| Tabela 8 – Estações das regiões hidrologicamente homogêneas para Q_7 | 58 |
| Tabela 9 – Estações das regiões hidrologicamente homogêneas para Q_{95} | 64 |
| Tabela 10 – Estações das regiões hidrologicamente homogêneas para Q_{90} | 69 |
| Tabela 11 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões $Q_{7,10}$ | 76 |
| Tabela 12 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões Q_{90} | 76 |
| Tabela 13 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões Q_{95} | 76 |
| Tabela 14 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões $Q_{7,10}$ | 77 |
| Tabela 15 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões Q_{90} | 77 |
| Tabela 16 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões Q_{95} | 77 |
| Tabela 17 – Resultados de Q_{95} calc. e do Atlas Digital comparado com Q_{95} validado | 94 |
| Tabela 18 – Resultados de Q_{90} calc. e do Atlas Digital comparado com Q_{90} validado | 98 |
| Tabela 19 – Resultados dos valores estimados para $Q_{7,10}$ IDW. $Q_{7,10}$ KO, Atlas Digital e Deflúvios Superficiais na BHRP | 102 |
| Tabela 20- Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de vazão mínima (Q_7) estações MG..... | 107 |

LISTA DE ABREVIATURAS

- AA – Análise de Agrupamentos
ANA – Agência Nacional de Águas
BH – Bacia Hidrográfica
BHP – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba
CBH – Comitês de Bacias Hidrográficas
CFBH – Características físicas da bacia hidrográfica
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COE – Coeficiente de Nash- Sutcliffe
FDP – Funções de densidade de probabilidades
IDW – Inverso da distância ao quadrado
IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas
KO – Krigagem ordinária
MDE – Modelo digital de elevação
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
RHH – Regiões hidrologicamente homogêneas
RV – Regionalização de vazões
SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEMADE – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente
SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*
USGS - *United States Geological Survey*
UHE – Usina Hidrelétrica

RESUMO

LEAL, DARIONE ALVES. **Proposta de regionalização hidrológica para Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba**. 2019. 131p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG¹.

A regionalização de vazões é uma técnica que permite transferir informação entre bacias hidrográficas semelhantes, a fim de calcular, em sub-bacias que não dispõem de dados, as variáveis fluviométricas de interesse, nesse caso, as vazões de referência $Q_{7,10}$; Q_{90} e Q_{95} . Outrossim, a mesma caracteriza-se por ser uma ferramenta útil na obtenção de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, instrumento previsto na Lei 9433/97. Embora existam informações e estudos da $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} para o estado de Minas Gerais em obras de relevância, como Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, Atlas Digital das Águas de Minas, Planos Diretores de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas, disponíveis e oficialmente publicados em diferentes estudos acadêmicos, por questões de interação com os outros segmentos que adotaram outros referenciais para o espaço físico, este estudo teve como objetivo a investigação, com o propósito de ampliar como ferramenta para os órgãos gestores, informações e, por consequência, um novo modelo de regionalização hidrológica para $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. A precisão dos dois modelos obtidos, pelo inverso da distância à potência (IDW) e por krigagem ordinária (KO), no que diz respeito à predição de vazões utilizadas como critério de outorga fez-se pela validação cruzada, conjunta ao Coeficiente de Nash-Sutcliffe (COE), utilizando como valor de estimativa as vazões geradas pelos modelos, e como valor padrão as estimativas calculadas por intermédio das séries históricas de estações fluviométricas. Os novos modelos apresentaram as eficiências: para $Q_{7,10}$ em MG COE Atlas (0,49) < Deflúvios (0,70) < KO (0,82) < IDW (0,84); $Q_{7,10}$ para GO, MS, DF COE resultou em KO (0,87) < IDW (0,81). Para modelagem Q_{95} em MG resultou em COE Atlas (0,75) < IDW (0,84) < KO (0,85); Q_{95} em MS, GO, DF resultou em COE KO (0,56) < IDW (0,84). Já a vazão de referência Q_{90} resultou para MG COE Atlas (0,83) < IDW (0,94) KO (0,95). Enquanto que para MS, GO e DF COE KO (0,96) < IDW (0,98). Conclui-se que os modelos IDW e KO se mostraram com eficiência muito boa, exceto para Q_{95} em GO, MS, DF, que se apresentou para o modelo KO apenas como satisfatória. Os modelos aqui propostos em todas as circunstâncias se apresentaram com melhor eficiência na estimativa. Portanto, a nova metodologia apresenta potencial quando comparada às metodologias comumente utilizadas neste tipo de estudo.

Palavras-chave: Regiões homogêneas. Ponderação do inverso da distância. Vazões de referência.

¹ Orientador: Hudson de Paula Carvalho, Universidade Federal de Uberlândia. Coorientador: Sueli Mora Bertolino. Universidade Federal de Uberlândia

ABSTRACT

LEAL, DARIONE ALVES. **Proposal for Hydrological Regionalization for the Paranaíba River Basin**. 2019. 131p. Dissertation (Master in Environmental Quality) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia - MG².

The regionalization of flows is a technique that allows transference of information between similar river basins in order to calculate the fluvioimetric variables of interest in sub-basins without data, in this case, the reference flows $Q_{7,10}$, Q_{90} and Q_{95} . Likewise, it is characterized as being a useful tool in obtaining the grant of water rights, an instrument provided for in Brazilian Law 9433/97. Although there are information and studies about $Q_{7,10}$, Q_{90} and Q_{95} for the State of Minas Gerais in relevant works, such as Run-off of Minas Gerais, Digital Map of Water in Minas Gerais, Water Resources Management Plans available and officially published on Hydrographic Basins and academic studies, for the purpose of interacting these with other segments that adopted other references to the physical space, this study aimed to investigate, with the purpose of expanding as a tool for management agencies, information and, consequently, a new model of hydrological regionalization for $Q_{7,10}$, Q_{90} and Q_{95} in Paranaíba River Basin. The precision of the two models obtained, by the inverse of the distance to the power (IDW) and by ordinary kriging (KO), with respect to the prediction of flows used as Grant criterion was obtained by cross validation, together with Coefficient of Nash-Sutcliffe (COE), using the flows generated by the models as estimated values, and as a standard value the calculation using historical series of fluvioimetric stations. The new models presented the efficiencies: for $Q_{7,10}$ in MG COE Map (0.49) < Run-off (0.70) < KO (0.82) < IDW (0.84). $Q_{7,10}$ for GO, MS, DF COE remained KO (0.87) < IDW (0.81). For modeling Q_{95} in MG was COE Map (0.75) < IDW (0.84) < KO (0.85); Q_{95} in MS, GO, DF was COE KO (0.56) < IDW (0.84). The reference flow Q_{90} was for MG COE Map (0.83) < IDW (0.94) KO (0.95). While for MS, GO and DF COE KO (0.96) < IDW (0.98). It can be concluded that IDW and KO models have presented very good efficiency, except for Q_{95} in GO, MS, DF, which has presented only as satisfactory to the KO model. The models proposed in this study have shown better efficiency in the estimation of the results for all circumstances when compared with the other models compared herein. Therefore, the new methodology presents potential when compared to those commonly used in this type of study.

Keywords: Homogeneous regions. Inverse distance weighting. Reference flows.

² Advisor: Hudson de Paula Carvalho, Universidade Federal de Uberlândia. Coordintor: Sueli Mora Bertolino. Universidade Federal de Uberlândia

1 INTRODUÇÃO

A predição dos regimes hidrológicos de vazões mínimas e máximas, assim como o entendimento da disponibilidade hídrica, são determinantes nos sistemas de gerenciamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica (CUNHA et al., 2014). Estimar as vazões mínima e máxima, para um determinado tempo de retorno, com boa precisão, é importante para a liberação de outorga para uso d'água, bem como para cálculos construtivos de obras hidráulicas, como pontes e dimensionamentos de redes pluviais (MOREIRA; SILVA 2013).

Entretanto, muitos cursos d'água não possuem uma rede de monitoramento de vazão e por isso são utilizados modelos de extrapolação, por exemplo, aqueles relacionados à regionalização de vazões, servindo como importante ferramenta de gerenciamento dos recursos hídricos nessas localidades.

A região da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba tem apresentado mudanças importantes devido ao seu crescimento demográfico e industrial acelerados. Por isso, é importante conhecer o comportamento dos componentes do ciclo hidrológico, como a vazão mínima dos cursos d'água, para o entendimento da dinâmica temporal da disponibilidade de água, a fim de se planejar futuras obras garantindo o abastecimento urbano e evitando possíveis conflitos, como apresentado no estudo de regionalização de vazões mínimas desenvolvido por Elesbon et al. (2015) na Bacia do Rio Doce (Brasil).

No Brasil, a ocorrência de conflitos envolvendo os diversos setores usuários tem se intensificado, mesmo com a implantação de uma série de instrumentos específicos para o gerenciamento dos recursos hídricos de forma múltipla e integrada. Tais processos geram o aumento, em grande escala, da utilização da água para atendimento das demandas da sociedade, seja como bem de consumo final ou como matéria-prima no processo produtivo. Santos et al. (2017) demonstraram o quão importante é o estudo do período de estiagem, o qual causa danos de toda monta nos setores usuários, como o agrícola. A identificação de períodos de vazões mínimas é parte integrante da saúde do ecossistema de um rio, o que dá confiança e garantia para o uso da água (VERMA et al., 2017).

Porém, uma dificuldade na gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas é a baixa disponibilidade de registros históricos de vazão nos pequenos cursos d'água (SILVA, 2003).

A Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP), área de estudo deste trabalho, abrange os municípios mineiros de Patos de Minas, Patrocínio, Araxá, Araguari e Uberlândia, no trecho denominado Alto Paranaíba e Ituiutaba, no Baixo Paranaíba. Em uma

porção limite entre esses dois trechos encontram-se os municípios de Coromandel e Guarda-Mor, em Minas Gerais, e Catalão, em Goiás.

A partir deste trecho, o rio Paranaíba continua sendo o divisor entre Goiás e Minas Gerais até o município de Paranaíba, em Mato Grosso do Sul, onde passa a formar a divisa entre os estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. O Rio Paranaíba continua até a confluência com o rio Grande, exutório da bacia, para formar o rio Paraná, o mais importante a compor a Bacia Hidrográfica do Prata, considerada a quinta maior bacia hidrográfica do mundo (ANA, 2015).

Esses municípios possuem importante significado econômico para o estado de Minas Gerais e Goiás. Desta forma, alterações da vazão dos cursos d'água da BHRP, em decorrência de captações excessivas, podem afetar atividades produtivas importantes dessas regiões. Para Fioreze, Oliveira e Franco (2008) eventos extremos de vazões ocorridos presumem que as vazões mínimas sejam menores em muitas regiões, podendo gerar conflitos entre a oferta e a demanda de água doce em escala mundial.

Assim, este trabalho norteia-se no sentido de propor uma regionalização de vazão para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, de forma a suprir com modelos capazes de estimar as vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} em áreas não atendidas por redes de monitoramentos hidrológicos.

2 OBJETIVO

2.1 Geral

O presente projeto tem como objetivo geral estimar modelos para a estimativa de vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba-BHRP.

2.2 Específicos

- a. Encontrar, na BHRP, áreas homogêneas em relação à vazão;
- b. Estimar modelos baseados no inverso do quadrado da distância (IDW) e krigagem ordinária (KO) para a determinação de vazões de referência ($Q_{7,10}$; Q_{90} e Q_{95}) na BHRP;
- c. Avaliar a capacidade preditiva de modelos para a estimativa de vazões de referência existentes na literatura, em comparação aos modelos aqui estimados.

3 HIPÓTESE

É possível gerar um novo modelo de regionalização de vazões em regiões hidrologicamente homogêneas da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, utilizando modelos geoestatísticos e determinísticos, em conjunto com variáveis morfométricas da bacia.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Política Nacional de Recursos Hídricos

Inserido em um contexto em que a água se tornava cada vez mais escassa, com a preocupação de que a sua distribuição fosse equitativa, em 1997 foi decretada a lei das águas - Lei 9.443, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (BRASIL, 1997).

A premissa inicial desse ordenamento jurídico era de proteger as águas a partir da gestão e integração dos recursos hídricos ao meio ambiente, no intuito de garantir o desenvolvimento sustentável e a manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado.

Em seu artigo 1º, essa Lei apresenta os principais fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Nele está descrito que a água é um bem público (não pode ser controlada por particulares) e recurso natural limitado, dotado de valor econômico, mas que deve priorizar o consumo humano e de animais, em especial em situações de escassez. A água deve ser gerida de forma a proporcionar usos múltiplos (abastecimento, energia, irrigação, indústria) e sustentáveis, e esta gestão deve se dar de forma descentralizada, com participação de usuários, da sociedade civil e do governo (BRASIL, 1997).

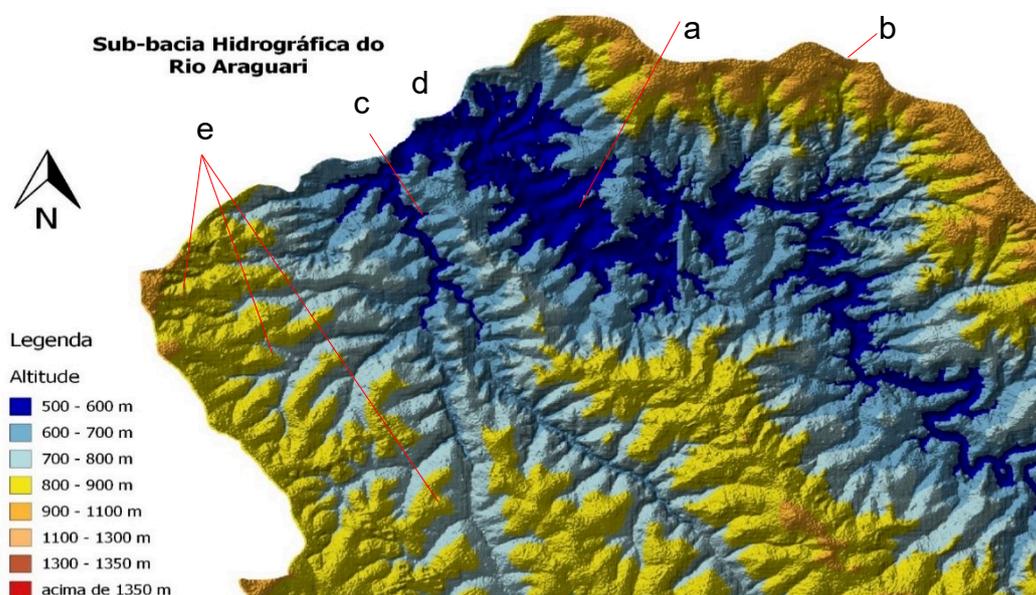
Dentro do SINGREH, o poder público, a sociedade civil organizada e os usuários da água integram os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) e atuam, em conjunto, na definição e aprovação das políticas acerca dos recursos hídricos de cada bacia hidrográfica (BH). Também fazem parte do Sistema, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a Agência Nacional de Águas (ANA), os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos e as Agências de Água, órgãos assessores dos CBHs.

O inciso V da Lei das Águas afirma que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Por isso, trabalhos desenvolvidos referentes a recursos hídricos passam a utilizar a BH como meio de estudos e obtenção de resultados.

4.2 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma captação natural do escoamento da água de precipitação, por meio de sua rede de drenagem, até um ponto em comum de saída, chamado exutório. Essa rede de drenagem é separada pelos seus vértices, os pontos mais altos, os divisores de água que separam as sub-bacias contíguas (TUCCI, 1997), (Figura 1).

Figura 1 – Recorte da Sub-bacia do Rio Araguari, MG. a) Rio Araguari (principal ou de maior ordem); b) divisores de água; c) afluente margem esquerda (tributário de ordem inferior); d) exutório; e) sub-bacias contíguas.



Fonte: O autor.

Segundo Schiavetti e Camargo (2002), a bacia hidrográfica é considerada um conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes.

4.2.1 Características morfométricas

A bacia hidrográfica é o local ideal para estudos e aquisição de informações hidrológicas e, portanto, se faz necessário o profundo conhecimento de suas características morfométricas, seus fatores geomorfológicos e hidrológicos. Atualmente, essas informações são obtidas por

meio do Modelo Digital de Elevação, em ambiente de sistemas de informações geográficas, a partir de imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

As características morfométricas de uma BH é importante para a compreensão de seus regimes hidrológicos e, assim, proceder com as análises hidrológicas ou ambientais que objetivam esclarecer a dinâmica ambiental da região em que se localiza a BH (TEODORO et al., 2007).

A análise morfométrica das bacias hidrográficas é uma técnica muito importante para um melhor entendimento da dinâmica dos recursos hídricos, informação fundamental para o planejamento e gestão desse recurso, seja para o abastecimento humano ou para o desenvolvimento de atividades econômicas (MOURA et al., 2018).

Teodoro et al. (2007) utilizaram como características morfométricas para caracterização e entendimento do comportamento hidrológico de uma BH: comprimento do canal principal, comprimento total dos canais, área de drenagem da bacia, densidade de drenagem, gradiente do canal principal, índice de circularidade da bacia, coeficiente de compacidade e declividade do rio principal, e afirmaram que propiciaram embasamento para elaboração preliminar do planejamento e gestão do uso do solo e da água na sub-bacia.

4.2.2 Outorga

O gerenciamento dos recursos hídricos na atualidade é uma das maiores preocupações da humanidade devido à necessidade de água para diversos tipos de usos, nas diversas atividades humanas (RAMÍREZ-GRANADOS e ALFARO-JIMÉNEZ, 2018).

A outorga é o instrumento de concessão de uso da água entre os mais diversos tipos de usos dentro de uma BH. Esta distribuição visa atender as necessidades ambientais, econômicas e sociais. A distribuição inevitavelmente requer o entendimento e a aplicação de conceitos técnicos (hidrologia, hidráulica, ecologia, qualidade da água, etc.) e aspectos legais (competência, direitos e responsabilidades), levando em consideração aspectos quantitativos, qualitativos, assim como as variações temporais e espaciais da água (BELO HORIZONTE, 2010).

Apesar de se passarem 20 anos da implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, a gestão democrática das águas ainda está longe de ser uma realidade, cenário ainda agravado devido à escassez e ao estresse hídrico verificado atualmente (ROCHA; KHOURY; DAMASCENO, 2018).

Via de regra, para a implantação do processo de outorga é adotada uma vazão mínima de referência, a qual caracteriza um momento crítico em disponibilidade, sendo realizados a partir desta vazão os cálculos de alocação do recurso hídrico.

As vazões de referência são geralmente definidas por vazões com alta permanência no tempo (como a Q_{90} , vazão que é igualada ou superada em 90% do tempo) ou por vazões mínimas associadas a probabilidades de ocorrência (como a $Q_{7,10}$ – vazão mínima de sete dias consecutivos e dez anos de recorrência).

Coube a cada estado definir e escolher a forma de outorgar por meio de umas das vazões de referência. A outorga do uso da água de corpos hídricos de superfície em Minas Gerais é realizada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - (SEMAD) e pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), que toma como norma jurídica a Lei Estadual nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais (BELO HORIZONTE, 2010). Esta Lei estabelece que a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos deva assegurar o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

Na liberação e extração de água, tendo-se por base a vazão de referência adotada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) – a $Q_{7,10}$, deverão ser verificadas as finalidades a que se destinam as águas captadas, derivadas ou desviadas quanto à racionalidade, avaliada de acordo com procedimentos e critérios definidos, para cada finalidade de uso (BELO HORIZONTE, 2010).

O estado de Goiás, por meio da Resolução nº 09/2005, adotou como referência a vazão mínima com 95% de garantia no tempo (Q_{95}) na análise dos pedidos de outorga. Esta vazão mínima com alta probabilidade de ocorrência fornece maior garantia aos pleitos outorgados, permitindo ao usuário/requerente da outorga melhor planejamento de seus investimentos (GOIÁS, 2012).

No estado do Mato Grosso do Sul, a outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos instrumentos de gestão estabelecidos na Política Estadual de Recursos Hídricos, Lei Estadual nº 2.406, de 29 de janeiro de 2002, e regulamentada pelo Decreto Estadual nº 13990, de 02 de julho de 2014. Ainda segundo essa Lei, a outorga é uma autorização concedida pelo estado para usos da água captada diretamente de rios, lagos e córregos de domínio estadual e das águas subterrâneas.

Em seu manual de outorga, a SEMADE define para a análise de disponibilidade hídrica nos corpos hídricos superficiais que será adotada como vazão de referência a Q_{95} (vazão com

permanência de 95% do tempo), obtida através da série histórica da estação de monitoramento mais representativa para a região em análise. A vazão mínima, que deverá ser mantida em qualquer corpo hídrico, é de 30% desta vazão de referência.

A outorga no Distrito Federal é regulamentada pela Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal por meio da Resolução ADASA/DF nº 350/2006. Ela estabelece os procedimentos para requerimento e obtenção de outorga do direito de uso dos recursos hídricos em corpos de água de domínio do Distrito Federal e em corpos de água delegados pela União e estados. No artigo 7 fica estabelecido que até 80% (oitenta por cento) das vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{90} , Q_{95} ou Q_{mmm} (média das mínimas mensais), quando não houver barramento, é de até 80% (oitenta por cento) das vazões regularizadas, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais perenes (ADASA, 2006).

4.3 Vazões de referência

As legislações ambientais e de recursos hídricos utilizam determinados limites de vazões como referência, visando a garantia de preservação e sustentabilidade do corpo hídrico. Vazão de referência é aquela vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH. É aquela que representa a disponibilidade hídrica do curso d'água, associada a uma probabilidade de ocorrência, como a Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$.

$Q_{7,10}$ é a vazão mínima com um período de retorno de 10 anos e de duração de 7 dias consecutivos. No caso de vazões mínimas, o período de retorno é o tempo médio, em anos, necessário para que ocorram vazões menores ou iguais a certo valor, uma vez em um ano qualquer. O cálculo é feito em duas etapas: primeiro calcula-se a Q_7 para todos os anos da série histórica, depois aplica-se uma distribuição estatística para vazões mínimas para o ajuste dos Q_7 calculados, sendo as distribuições mais comuns as de Weibull e Gumbel, (SARMENTO, 2007).

Nosrati et al. (2015) afirmam que o conhecimento das estatísticas para vazões mínimas é necessário para o gerenciamento eficaz da água em regiões propensas a eventos hidrológicos extremos, e utilizam em seu estudo num conjunto de dados de 23 séries temporais de vazão do rio da Bacia de drenagem de Sefidrood, Irã, para examinar a seca hidrológica regional com base no índice de vazão mínima $Q_{7,10}$.

Vazão em que 90% ou 95% dos dados diários de vazão são iguais ou superiores a ela (correspondente ao percentil 10% ou 5%) é considerada uma vazão de referência. Nesse caminho, os Estados de Mato Grosso do Sul e Goiás utilizam esta vazão de referência para concessão de outorga. Estas são calculadas por meio do artifício matemático percentil em planilhas eletrônicas pelos dados das séries históricas de vazões diárias anuais.

Noutro trabalho para determinação de redes hidrologicamente homogêneas, utilizou-se as vazões diárias do período plurianual de 1963-1983 coletadas para 15 bacias hidrográficas localizadas na Bacia do Vístula superior, na Polônia. As vazões mínimas foram quantificados por Q (95)%, isto é, a descarga que é excedida em 95% de todos os dias do período de medição, esta característica de vazão mínima é amplamente utilizada na Europa e foi escolhida devido à sua relevância para múltiplas escolhas de gerenciamento de água (UAK et al., 2017).

A informação sobre vazões mínimas é essencial para o gerenciamento de recursos hídricos. As vazões que são iguais ou superiores a 90% do tempo (Q₉₀) é um dos indicadores de vazões mínimas mais usados em muitos países e sua determinação é feita a partir da análise de frequência destas vazões considerando uma série histórica (BESKOW et al. 2016).

Zelenakova et al. (2014) realizou uma análise estatística das vazões mínimas observadas em 63 estações das bacias dos rios Hornad, Poprad, Bodva e Bodrog, localizadas na parte oriental da Eslováquia, para identificar a frequência das tendências mínimas de vazões.

A previsão de vazões mínimas em bacias hidrográficas é necessária em muitos ramos da gestão de recursos hídricos, incluindo a disponibilidade de água e estudos de ecologia fluvial. Vezza et al. (2010) analisaram a variabilidade regional de Q₉₅, ou seja, a descarga específica que é excedida em 95% do tempo, no noroeste da Itália (regiões de Piemonte e Valle d'Aosta).

Ding et al. (2017) estudaram o modelo hidrológico conceitual semi-distribuído (*Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning*) para estimar a vazão máxima instantânea a partir da máxima vazão média diária, operando em um período de tempo diário para 18 bacias hidrográficas na Bacia Aller-Leine, na Alemanha.

A estimativa dos quantis de vazões é necessária em muitas aplicações civis e de engenharia hidrológica e hidráulica. A estimativa dos quantis de vazões máximas em pontos não monitorados é um desafio frequentemente enfrentado pelos profissionais destas áreas e em muitas partes do mundo, principalmente devido à ausência de quantis de vazões máximas nestas regiões e quantidade de registro insuficiente de observações de vazão em outras bacias hidrográficas (NYEKO-OGIRAMOI et al., 2012). Os pesquisadores utilizaram uma abordagem baseada no momento-L para determinar a distribuição do Valor Extremo Generalizado (GEV),

por meio das curvas de cheias regionais a partir das quais os fatores de aumento da vazão de pico puderam ser derivados e mapeados por meio de interpolação.

4.4 Validações cruzadas

A validação cruzada é uma técnica para avaliar a capacidade de generalização de um modelo, a partir de um conjunto de dados. Esta técnica é amplamente empregada em problemas onde o objetivo da modelagem é a predição. Busca-se então estimar o quão preciso é este modelo na prática, ou seja, o seu desempenho para um novo conjunto de dados (CASTRO, 2016).

O conceito central das técnicas de validação cruzada é o particionamento do conjunto de dados em subconjuntos mutualmente exclusivos e, posteriormente, utiliza-se alguns destes subconjuntos para estimar os parâmetros do modelo (dados de treinamento) e o restante dos subconjuntos (dados de validação ou de teste) são empregados na validação do modelo (CASTRO, 2016).

Diversas formas de realizar o particionamento dos dados foram sugeridas, sendo as três mais utilizadas: o método *holdout*, o *k-fold* e o *leave-one-out*, sendo neste trabalho descrito apenas o método *holdout*.

O método *holdout* consiste em dividir o conjunto total de dados em dois subconjuntos mutuamente exclusivos, um para treinamento (estimação dos parâmetros) e outro para teste (validação). O conjunto de dados pode ser separado em quantidades iguais ou não. Uma proporção muito comum é considerar 2/3 dos dados para treinamento e o 1/3 restante para teste (CASTRO, 2016). Após o particionamento, a estimação do modelo é realizada e, posteriormente, os dados de teste são aplicados e o erro de predição, calculado.

Esta abordagem é indicada quando uma grande quantidade de dados está disponível. Caso o conjunto total de dados seja pequeno, o erro calculado na predição pode sofrer muita variação. Ele garante a variabilidade da sequência dos anos na tomada dos dados de vazões das séries históricas. Portanto, qualquer uma das técnicas ou estratégia, que pode ser usada para correção e regionalização de dados, necessita de calibração e validação por meio de informações históricas, direta ou indiretamente, avaliando os resultados de modelos hidrológicos distribuídos espacialmente.

4.5 Regiões homogêneas: análises de agrupamentos

A identificação e a delimitação de regiões homogêneas são consideradas as mais difíceis e mais sujeitas a subjetividades. A regionalização é um conjunto de procedimentos que leva em consideração a informação existente para estimar as variáveis hidrológicas em locais onde os dados estão faltando ou são insuficientes, ou seja, procura transferir informações de um local para outro (TUCCI et al., 1995). Na ausência de dados hidrológicos, a regionalização das variáveis hidrológicas utilizadas no planejamento de recursos hídricos e controle ambiental é destacadamente importante.

Para Naghettini et al. (2007), uma região é homogênea se existem evidências suficientes de que as diferentes amostras do grupo possuem a mesma distribuição de frequências. Considera-se que essa etapa é crucial por exigir do analista, e da metodologia empregada, a capacidade de discernir se observações anômalas, eventualmente existentes em uma ou mais amostras do grupo, devem-se a diferenças populacionais em relação ao modelo probabilístico proposto ou a meras flutuações amostrais.

Por conseguinte, acredita-se que a formulação do problema seja a parte mais importante da análise de agrupamentos (AA), ou seja, a escolha das variáveis, nas quais se baseará o processo de formação dos agrupamentos. A inclusão de uma ou duas variáveis, sem importância, poderá vir a distorcer o resultado da análise. O conjunto de variáveis escolhido deve descrever a semelhança entre objetos, em termos relevantes para o problema em pesquisa. Esta fase é uma das mais importantes para a AA, pois é onde se fixa o critério de homogeneidade (VICINI; SOUZA, 2005).

Em princípio, na hidrometeorologia, a AA tem sido empregada para classificar áreas homogêneas em relação às variáveis que se quer estudar. Ding e Haberlandt (2017) citam em seu trabalho que a regionalização de dados hidrológicos é o princípio básico e necessário para uma utilização dos dados de uma rede hidrológica para uma região onde não há monitoramento. Nesse estudo, esses autores usaram uma metodologia para a regionalização de um modelo hidrológico conceitual agrupado, onde analisaram principalmente as características geométricas para a definição. O trabalho envolveu a calibração para diferentes captações simultaneamente, usando uma forma funcional predefinida da relação entre os parâmetros do modelo e as características da captação. Eles utilizaram dados hidrológicos diários de dezoito estações durante um período de mais de trinta anos.

Santos et al. (2017) citam que a análise conjunta de *clusters*, dendrogramas e distribuição espacial dos valores de Sistema de Informações Geográficas (SIG) provou ser uma ferramenta poderosa na identificação de regiões homogêneas.

Regionalização baseada em redes neurais usando descritores de captação foi proposta por Latt, Wittemberg e Urban (2015), para o manejo de enchentes de bacias hidrográficas, desenvolvida no Rio Chindwin, Bacia de Myanmar, localidade com baixa densidade da rede hidrométrica. Os autores utilizaram o método de Ward para pesquisar os números iniciais do *cluster* antes da função *k-means clustering*.

Em Sicília (Itália), Pumo et al. (2016), por meio de método de regionalização para reconstrução de séries de vazões, utilizaram-se de parâmetros em um modelo para avaliar por equações regionais específicas em função características fisiográficas da bacia e climática facilmente mensuráveis. Foram utilizados os métodos de análise de agrupamentos por algoritmos de *k-means*, *Ward*, distância euclidiana, fatiamento em classes pela média ponderada.

Elesbon et al. (2015) realizaram um estudo para regionalização de áreas hidrológicas utilizando o método de matriz de similaridade de *Mahalanobis* e do método de agrupamento do vizinho mais distante. Ao final, eles obtiveram equações de regionalização por meio de análise de regressão múltipla.

Devido à escassez de monitoramento no Sudoeste da Ásia, Latt, Wittemberg e Urban (2015) propuseram um estudo por meio da regionalização hidrológica e extrapolaram as informações geradas para bacias escassamente monitoradas, a fim de antever possíveis eventos de enchentes na região de estudo.

Yin et al. (2016) estudaram métodos de regionalização: com base nos diagramas estatísticos de *goodness-of-fit* e de razão *L-moment*, as distribuições generalizadas de valor extremo (GEV) e normal generalizadas (GNO) para caracterizar eventos extremos, tais como precipitação e inundações na China, região do Delta do Rio Yangtze, por meio de análise de agrupamento e análise homogênea.

Na análise de regionalização, a incerteza devido à variabilidade regional é muito mais importante do que a incerteza devido à variabilidade da amostra, ou seja, à duração dos dados observados (VEZZA et al., 2010).

Para apresentação rigorosa da maioria dos problemas a serem tratados em uma regionalização de dados homogêneos, são fundamentais para o melhor resultado o estudo e o reconhecimento de padrões, conceito de similaridade e dissimilaridade e a noção de distância,

como a formulação matemática apropriada. Para a qual, a similaridade defini o grau de semelhança entre as instâncias e realizam o agrupamento de acordo com a sua coesão, e a dissimilaridade de acordo com as diferenças dos atributos das instâncias.

Na aprendizagem baseada em instâncias, cada nova instância é comparada com as existentes usando uma métrica de distância e a instância existente mais próxima é usada para atribuir a classe à nova. Isso é chamado de método de classificação mais próximo (WITTEN; FRANK, 2002). Sendo que, classificar seria subdividir o conjunto de objetos em vários outros conjuntos que reúnem os objetos similares quando consideramos um padrão específico. Em outras palavras, o padrão determina a similaridade entre objetos, e os objetos similares são agrupados no mesmo conjunto.

Em uma analogia à análise matemática (GONZÁLEZ; MAIA, 2001a) aplicada ao caso, teria o seguinte desenvolvimento: em primeiro lugar, tem-se um conjunto Q (vazão) de pontos, esta vazão tem uma relação com A (área) e essa relação será denominada de semelhança. Se dois pontos q_1 e q_2 são semelhantes, então diz-se que vale $A(q_1, q_2)$. Então, se q_1 pertence a um agrupamento A e $S(q_1, q_2)$, tem-se que q_2 também pertence ao agrupamento A .

Outra formulação possível consiste em definir uma função de similaridade. Essa função pode ser resumida como “ s ”: $A \times A \rightarrow \{0, 1\}$ tal que toma o valor 1 quando os objetos são similares e 0 no caso contrário. Uma função contrária a “ s ” seria uma função de distância “ d ”: $A \times A \rightarrow \{0, 1\}$ para representar o grau de dissimilaridade, com valor 0 quando os objetos são similares e 1 no caso contrário. A função “ d ” que representa uma medida de similaridade entre objetos é denominada frequentemente função de distância (GONZÁLEZ; MAIA, 2001a).

A forma imediata de pensar essa medida de similaridade é como uma mensurabilidade, ou seja, uma função que estabeleça uma quantificação. Detalhadamente, se A é o conjunto dos objetos a serem classificados, então uma mensurabilidade é uma função $\mu: A \times A \rightarrow M$, sendo M o conjunto imagem da mensurabilidade.

Nem todo conjunto é apropriado para ser usado como base para uma mensurabilidade. Se um conjunto tem uma ordem total e as operações aritméticas definidas nele, então a imagem da função de mensurabilidade permite um tratamento simples e intuitivo, e por isso é que são amplamente utilizadas mensurabilidades definidas sobre o conjunto dos números reais, e mensurabilidades discretas, em graus inteiros, definidas sobre o conjunto dos números inteiros.

Esta mensurabilidade formaliza uma noção de proximidade, que significa que os objetos mais similares estão, num sentido abstrato, mais próximos. O contrário da noção de

proximidade é a noção de distância, que representa o grau de dissimilaridade entre dois objetos (GONZÁLEZ; MAIA, 2001b).

Zaifoglu, Akintug e Yanmaz (2018) fizeram uma análise de frequência regional usando L-momentos no norte de Chipre. Esta análise foi realizada com abordagens de agrupamento de séries temporais para identificar regiões homogêneas usando conjuntos de dados dinâmicos. Os resultados foram pouco satisfatórios nas estatísticas de desempenho para os períodos de retorno inferiores a 100 anos, e na maioria das abordagens o método regional superestima os quantis de vários períodos de retorno. Os autores concluíram que para aumentar a confiabilidade das estimativas de quantis, mais dados devem ser agrupados na região em termos de maior comprimento de registro e número de estações.

Estudos na costa oeste dos EUA demonstram a eficiência de parâmetros transferidos dentro das regiões homogêneas favorecida pela similaridade no efeito da interação entre o clima, características fisiográficas e o mecanismo predominante de geração de escoamento. O uso das características de vazão na regionalização ajudou a explicar a similaridade no efeito da interação (CHOUAIB et. al., 2018).

Um método hierárquico cria uma decomposição hierárquica de um conjunto de dados, formando um dendrograma (árvore) que divide o conjunto de dados em grupos menores (JAIN et al., 1999). Ward (1963) menciona que o algoritmo de Ward é uma técnica frequentemente utilizada para estudos de regionalização em hidrologia e climatologia. Esse algoritmo baseia-se no pressuposto de que, se dois grupos se fundem, a perda de informação resultante, ou a mudança no valor da função objetivo, dependerá apenas do relacionamento entre os dois grupos combinados e não dos relacionamentos com outros grupos.

Em princípio, na hidrometeorologia, a análise de agrupamentos tem sido empregada para classificar áreas homogêneas em relação às variáveis que se quer estudar (Souza, 2012; UDA, 2015; Assunção, 2006; Valverde et al., 2003; Moreira, 2016; Menezes, 2015; Comunello, et al. 2013; Miranda, 2016). Nesses trabalhos foram utilizados métodos de análises com algoritmos de *k-means*, Ward, distância euclidiana e fatiamento em classes pela média ponderada.

Tanto a pluviosidade quanto a vazão são variáveis hidrológicas de extrema importância no acompanhamento do regime hídrico em bacias hidrográficas, pois caracteriza o conjunto das variações do estado e das características de uma massa de água, tais como as variações cíclicas no espaço e tempo, p.e. a sazonalidade. Portanto, a disponibilidade hídrica é imprescindível para a gestão destes recursos (CUNHA et al., 2014).

4.5.1 K-Means

O algoritmo de *K-means* foi empregado de acordo com os procedimentos relatados por Macqueen (1967) e Hartigan e Wong (1979). Este é um algoritmo baseado em centroides e tem uma função objetivo que é minimizada em cada iteração em um processo de otimização conhecido como técnica de realocação iterativa.

No contexto deste estudo, a Soma dos Erros Quadráticos (ESE) foi tomada como função objetivo. O processo de otimização move os objetos de um grupo para outro, associando objetos aos grupos com o centroide mais próximo, a fim de diminuir a variação no interior do agrupamento dada pelo SSE (equação 01). Seja k o número total de grupo no conjunto de armazenamento em grupos de dados $NC = \{nc_1, nc_2, \dots, nc_k\}$ do conjunto de dados $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, onde x_i ($i = 1, \dots, n$) é um vetor de feições n -dimensionais representando um objeto atribuído ao cluster nc_p e NC com centroide.

$$SSE = \sum_{p=1}^K \sum_{i \in nc_p} (X_i - \bar{X}_{nc_p})^2 \quad \text{equação 01}$$

Variações em *K-means* têm sido propostas com o objetivo de superar uma ou mais fraquezas existentes neste algoritmo, como a falha em identificar grupos com diferentes formatos e também a sensibilidade a ruído e *outliers*. O *K-means* é extremamente dependente da configuração inicial dos grupos, portanto, iniciais fracas levam a soluções não razoáveis.

4.5.2 IDW – Ponderação do Inverso da Distância

A Ponderação do Inverso das Distâncias (*Inverse Distance Weighting* - IDW) implanta explicitamente o pressuposto de que as coisas mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes.

Para prever um valor para algum local não medido, o IDW usará os valores amostrados à sua volta, que terão maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta, daí seu nome.

Os pesos dos locais observados, a serem usados na predição, são ponderados e sua soma é igual a 1. O IDW é um método puramente geométrico, onde o peso entre as amostras diminui à medida em que essas amostras se distanciam, estas distâncias são euclidianas.

A utilização de algum método de interpolação espacial de dados está se tornando cada vez mais frequente em diversos tipos de análises, em função de que, atualmente, diversos softwares já contêm vários destes métodos, permitindo análises bem mais detalhadas do que há algum tempo. A interpolação de dados é importante para eliminar o chamado “efeito mosaico” ou “efeito xadrez” presentes em geral na visualização de mapas temáticos e para chamar a atenção para as principais concentrações espaciais de determinado atributo, suavizando suas diferenças.

Lourenço (1998) aponta que os mapas de isovalores, que mostram a variabilidade dos dados, são resultados cada vez mais comuns que se espera dos SIG, assim como as estimativas dos dados de pontos não amostrados, por meio de valores em pontos amostrados. O autor coloca também que nestas duas situações, os problemas de interpolação surgem, tornando necessário o uso de metodologias específicas, e as soluções deveriam vir com os erros associados às estimativas.

A interpolação é uma técnica utilizada para a estimativa do valor de um atributo em locais não amostrados, a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. A interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas. O raciocínio que está na base da interpolação é que, em média, os valores do atributo tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados. Esse conceito também fundamenta a base das relações espaciais entre fenômenos geográficos, utilizando a correlação espacial como meio de diferença dos atributos estimados (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto por meio do método do IDW, utilizou-se a seguinte equação 02:

$$Z(X) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(X_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad \text{equação 02}$$

em que: $Z(x)$ - é o valor do ponto que se deseja interpolar, n - é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto x , $Z(x_i)$ - é o valor do ponto x_i , e ω_i - é o peso do valor de x_i sobre o ponto x . Para se determinar ω_i utiliza-se a seguinte equação 03:

$$\omega_i = \frac{1}{h_{(X,X_i)}^p} \quad \text{equação 03}$$

Onde: $h(x, x_i)$ - é a distância entre o ponto x e o ponto x_i e p - é o parâmetro de potência, geralmente igual a dois. Parâmetros de potência maiores enfatizam pontos mais próximos, tornando o resultado menos suave. Parâmetros de potência menores enfatizam pontos mais distantes, tornando o resultado mais suave, porém menos preciso.

Segundo Marcuzzo et al. (2011), a interpolação por IDW determina os valores nos pontos interpolados usando uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância. É um método computacionalmente rápido, já que a definição dos pesos para a ponderação linear é feita de uma maneira simplista.

Nesse método os pontos de dados estão no interior das isoietas equivalentes, porém geralmente há a geração de muitas “ilhas” de dados e as isoietas não são muito suaves. Moura (2012) ressalta que o IDW é indicado quando o interesse é a área de influência dos valores e pontos, resultando em um valor em cada ponto do território.

Pena et al. (2015) realizaram um estudo no estado de Goiás com o objetivo de determinar o melhor e mais eficiente interpolador espacial para estimar dados pluviométricos e obtiveram os métodos deterministas como melhores resultados, superiores aos modelos geoestatísticos, com o interpolador IDW apresentando melhor resultado estatísticos quando comparada aos demais modelos, seguido pelo Spline e posteriormente pela krigagem.

Martins (2016) estudou métodos para interpolação e espacialização de dados pluviométricos na bacia do Rio Paranaíba, sendo eles determinísticos e geoestatísticos, utilizando a extensão *Geoestatistical Analyst* do software ArcGIS 10.1®. Obteve como resultados que em áreas com baixa densidade de estações os métodos determinísticos apresentam menor percentual de erro médio final, embora os métodos geoestatísticos forneçam dados mais exatos em uma análise mais detalhada.

4.5.3 Interpolação usando *krigagem* ordinária

O Kriging é um método de interpolação espacial que leva em conta a variabilidade espacial dos dados. Este método de interpolação é um estimador não-viesado onde a variação do erro de krigagem (interpolação) é minimizada. A ideia básica dos métodos de krigagem euclidiana (como a krigagem ordinária) é estimar o valor de uma variável regionalizada Z por uma combinação linear das observações vizinhas. Neste caso, as observações vizinhas são as

sub-bacias que estão “próximas” em relação à sua localização centroide ao considerar o erro de predição Z da regressão ajustada como uma variável de krigagem.

Para modelar a variabilidade associada à variável regionalizada, Z utilizou-se o semivariograma, que é a função de estrutura que mede a variabilidade espacial das diferenças quadráticas entre pares de variáveis, o que permite construir o semivariograma experimental, $\gamma(h)$, dado pela Equação 04.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad \text{Equação 04}$$

Onde: x_i e $x_i + h$ são dois locais de amostragem separados por uma distância h , $N(h)$ representa o número de pontos de amostra usando h , $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ representam valores da variável Z medida em ambos os locais.

Neste estudo, os centroides das sub-bacias são adotados para locais de amostragem da bacia e determinar as defasagens h . Eles foram estimados usando o QGIS conforme relatado na seção Dados. A variável Z está relacionada à vazão específica de cada sub-bacia.

Um modelo de semivariograma é ajustado ao semivariograma experimental. O semivariograma ajustado é caracterizado por três parâmetros principais: alcance, soleira e pepita. "Intervalo" representa o limite de distância além do qual os dados não são mais correlacionados. "Sill" representa a variância variável. O efeito "Nugget" é um componente aleatório do campo Z e representa erros de medição ou a variação da variável estudada em pequena escala (CRESSIE, 1993).

4.5.4 Regionalização de vazões

A regionalização de vazões é um dos meios de transportar a informação de vazões de um local onde há a informação por meio de redes de monitoramento para outro, onde a informação é escassa ou não ocorre o monitoramento.

Na regionalização são utilizadas técnicas estatísticas e matemáticas, como a regressão entre a variável que se deseja estimar em função de variáveis explicativas, que podem ser determinadas nos locais sem dados de vazão.

São utilizadas funções de densidade de probabilidades (FDP) para relacionar as variáveis dependentes (vazões) com variáveis independentes, que podem ser as variáveis explicativas, como as características morfométricas da bacia hidrográfica.

Para Calegario (2014) a regionalização de vazões pode ser utilizada para aumentar a confiabilidade dos quantis estimados em uma seção já monitorada, e estimar quantis em áreas desprovidas de monitoramento.

Segundo Pruski et al. (2015) é possível prever vazões mínimas para o conhecimento da disponibilidade de água natural, por meio de extrapolações, utilizando técnicas de regionalização para planejamento hidrológico. O uso de ferramentas para apoiar a tomada de decisões que forneçam o máximo possível de informações detalhadas sobre a disponibilidade de água é essencial para o desenvolvimento de estratégias para o planejamento e o gerenciamento de recursos hídricos. O uso de um indicador físico de comportamento hidrológico em áreas onde a extrapolação de equações de regionalização é utilizada é um procedimento seguro que pode auxiliar o gerenciamento de recursos hídricos nessas áreas.

A regionalização da vazão, em alguns casos torna-se crucial, especialmente quando o custo de implementação da rede hidrométrica para medir dados torna-se inviável. Além disso, o processo de regionalização melhora as estimativas das variáveis hidrológicas e permite verificar a consistência das séries de dados hidrológicos.

4.6 Sistema de informação geográfica – SIG

Geotecnologias são um conjunto de tecnologias para coleta, refino e processamento das informações geográficas referenciadas, com resultados que integram soluções de *hardware* e *software* potencializando tomadas de decisões. Estes recursos estão cada vez mais disponíveis, permitindo a análise de grande quantidade de dados, disponibilizando os resultados em diversos tipos e formatos, como mapas e tabelas o que facilitam o entendimento destas informações.

Uma das geotecnologias em espectro de evidência e em crescente utilização é o SIG, sistema que utiliza uma base de dados georreferenciados, os quais permitem o entendimento e interpretação de informações reais de elementos físicos da paisagem, fornecendo resultados riquíssimos das formas naturais dos objetos de pesquisa. Esse sistema tem sido bastante utilizado em estudos que visam obter informações físicas de bacias hidrográficas, como relevo, área, uso do solo, variação hipsométrica, declividade, entre outras.

Para tanto, uma das informações básicas para o início destes estudos é a aquisição do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). A United States Geological Survey (USGS) dispõe publicamente os dados em escala global obtidos pela missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que incorpora a técnica InSAR, realizada em 2000 a bordo da nave

Endeavour. Os dados são distribuídos em formato *raster* pelo EROS Data Center e podem ser acessados em formato HGT, com resolução radiométrica de 16 bits. Os MDEs são organizados em *tiles* de 1° x 1° e oferecem 30 m de resolução. Dias et al. (2004), Santos et al. (2006), Valeriano e Abdon (2007), Luedeling et al. (2007), Fredrick et al. (2007), Berry et al. (2007) e Rennó et al. (2008) são exemplos de pesquisas que foram conduzidas com a finalidade de analisar, comparar e atualizar informações da superfície terrestre por meio de dados do SRTM.

Diversos softwares existem para manipulação destas informações de geotecnologias, tais como: ArcGIS, QGIS, PostGIS, gvSIG, i3Geo, SPRING, MapServer, TerraView, entre outros. Estes *softwares* utilizam-se de algoritmos específicos para manipulação destas informações espaciais. Em específico para área ambiental são muito utilizados os algoritmos: TauDEM, GRASS GIS, GDAL e SAGA.

Após a definição do software e algoritmo a ser utilizado deve-se atentar para os sistemas de referências (DATUM), nas quais as informações espaciais são fornecidas e em qual DATUM será utilizado nos processos de geração dos resultados.

Para este estudo foram utilizadas informações iniciais em sistemas de referência geográfica DATUM WGS 84 de código EPSG:4326. Já para execução dos algoritmos as informações foram reprojatadas para coordenadas planas utilizando o sistema projeções cônica de Albers.

Uma projeção cartográfica determina a correspondência matemática biunívoca entre os pontos da esfera (ou elipsoide) e sua transformação num plano. Sistemas de projeção resolvem as equações 05 e 06: (x e y – coordenadas planas, ϕ , λ -coordenadas geográficas):

$$X = f1(\phi, \lambda) \quad Y = f2(\phi, \lambda) \quad \text{equação 05}$$

$$\lambda = g1(X, Y) \quad \phi = f2(X, Y) \quad \text{equação 06}$$

As projeções cônicas de Albers são preferencialmente utilizadas para mapeamentos temáticos de áreas com extensão predominante de Leste-Oeste, pois há a preservação da área (DUARTE, 2002).

Zhang et al. (2018), utilizando-se de SIG, avaliou os riscos ecológicos com base nos dados do LUCC (Land use/cover change) em Jinghe, Xinjiang Uygur Região Autônoma (XUAR) da China.

Brunner et al. (2018) utilizaram o SIG no processo de identificação de regiões homogêneas pelo método de krigagem e parâmetros médios para uma comparação de métodos de regionalização para hidrogramas de projeto sintético em bacias hidrográficas. Eles concluíram que os parâmetros relacionados à magnitude do evento de projeto podem ser regionalizados usando técnicas de regressão linear e não-linear usando a área de captação, comprimento do canal principal, intensidade máxima de precipitação e energia de alívio como variáveis explicativas.

Novais (2015) a partir do GIS ArcGIS for Desktop 10.2.1 realizou a caracterização de alguns parâmetros morfométricos da Bacia Itapicuru BA. A finalização do processamento dos dados do SRTM foi dividida em seis etapas, sendo elas: 1º - Mosaico (mosaico), 2º - Extrato Máscara (*extrac* por máscara) do polígono da bacia, 3º - Depressões de enchimento (preenchimento de pias), 4ª - direção de fluxo (direção de fluxo), 5ª - fluxo acumulado (acúmulo de fluxo) e 6ª - delineamento da drenagem da hierarquia fluvial (ordem dos córregos). O modelo de terreno digital resultante dos dados SRTM mostrou potencial significativo para o uso de informações de contribuição satisfatória para ações de planejamento ambiental.

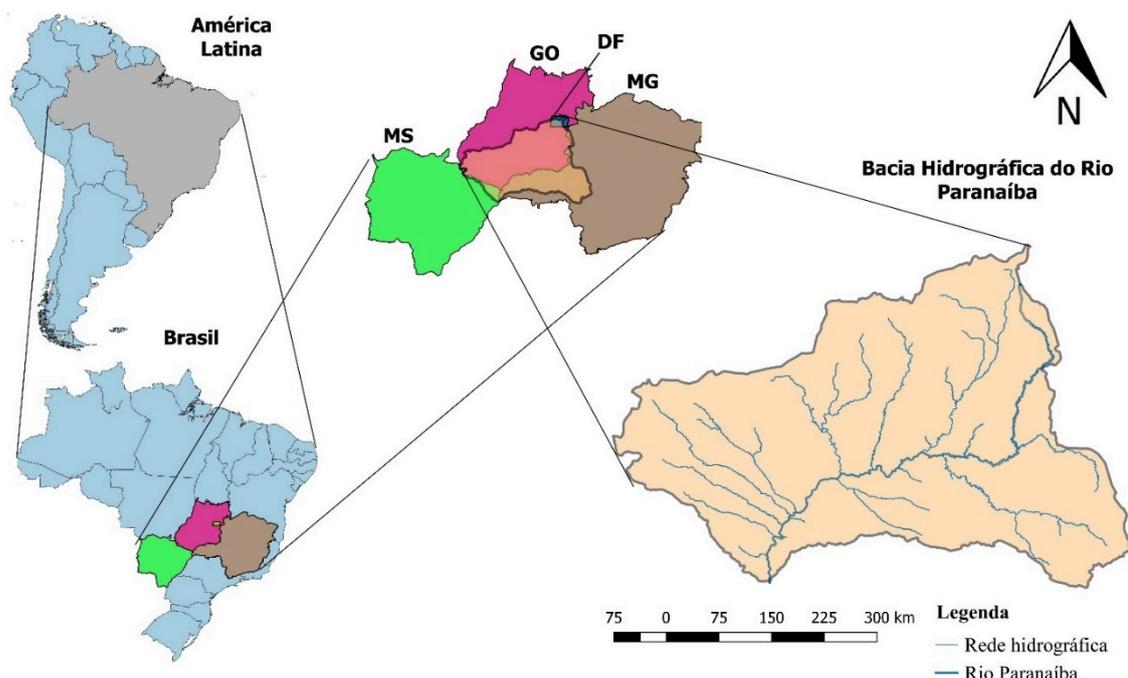
Assunção et al. (2006) utilizou o Sistema de Geoprocessamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 4.2) para fazer distribuição espacial dos dados de chuva da Bacia do Rio Araguari, na escala de 1:1.000.000, envolvendo informações pluviométricas de um período de 30 anos (1975-2004). A utilização do software possibilitou inferir que há uma tendência de redução na precipitação no sentido Leste-Oeste, ou então que as precipitações menores ocorrem nas áreas mais baixas próxima ao leito do rio e na sua foz. Já na estação chuvosa que engloba seis meses (outubro a março) são esperados aproximadamente 85% das precipitações anuais, sendo que dezembro e janeiro concentram as maiores precipitações (45% do total anual).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (BHRP) (Figura 2), objeto deste estudo, é a segunda maior unidade da Região Hidrográfica do Paraná, ocupando 25,4% de sua área. Esta bacia está localizada entre os paralelos 15° e 20° Sul e os meridianos 45° e 53° Oeste, e possui uma área de drenagem de 222,6 mil km². A BHRP abrange 197 municípios da região central do Brasil, ocupa cerca de 2,6% do território nacional, englobando os estados de Goiás (63,3%), Mato Grosso do Sul (3,4%) e Minas Gerais (31,7%), além do Distrito Federal (1,6%) (SANTOS e FERREIRA, 2013).

Figura 2 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Paranaíba



Fonte: O autor.

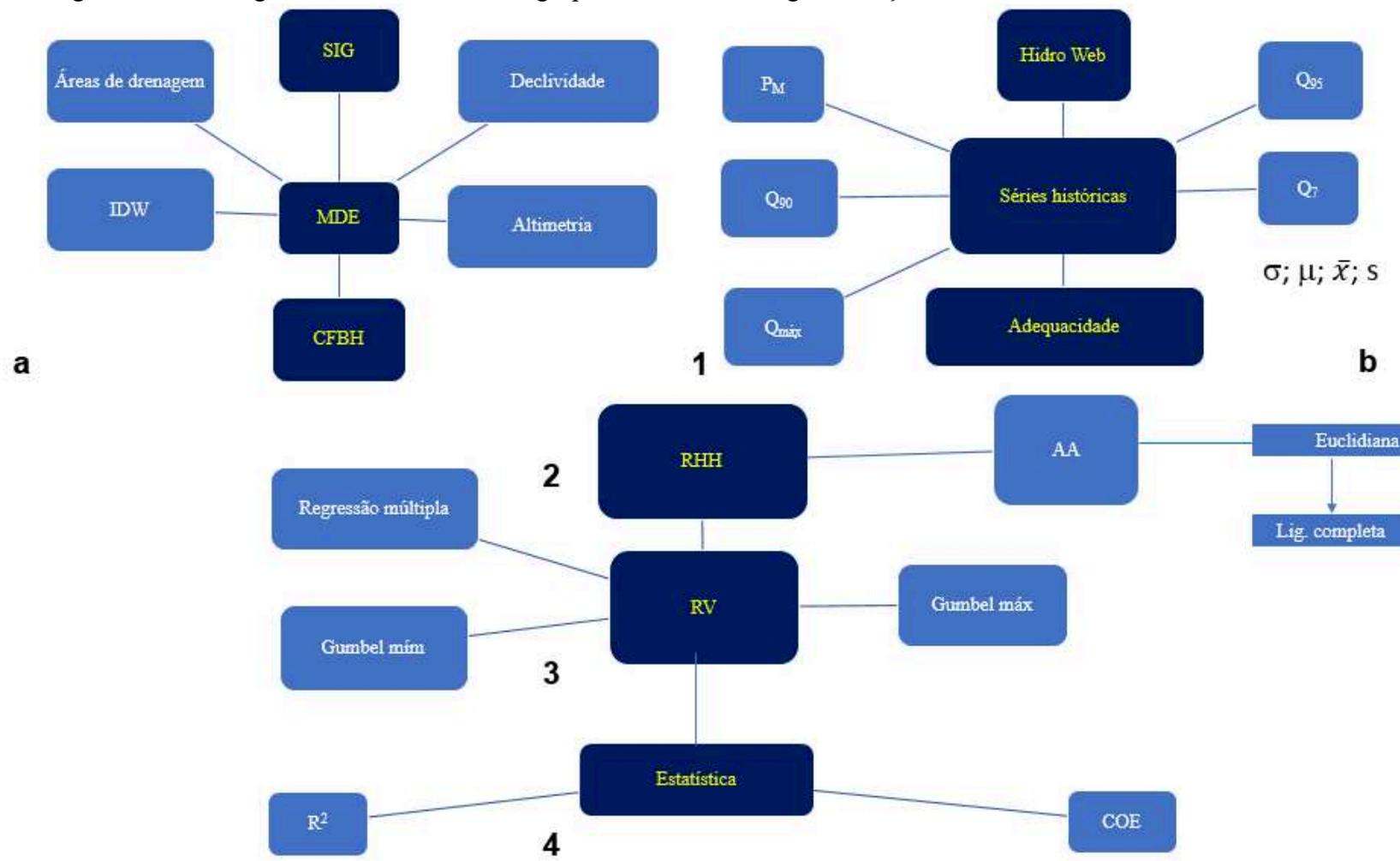
O rio Paranaíba, juntamente com o rio Grande, é um dos formadores do rio Paraná. Sua nascente possui altitude de cerca de 1.100 m e está situada na Serra da Mata da Corda, no município de Rio Paranaíba/MG.

O rio Paranaíba percorre aproximadamente 100 km até alcançar o município de Patos de Minas/MG e segue mais 150 km, aproximadamente, até atingir a divisa entre os estados de Goiás e Minas Gerais. Deste ponto em diante, encontram-se os limites municipais entre

Coromandel e Guarda-Mor, em Minas Gerais, e Catalão, em Goiás. Neste momento, o rio Paranaíba continua sendo o divisor entre Goiás e Minas Gerais até o município de Paranaíba/MS, de onde divide os estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. O rio Paranaíba segue até a junção com o rio Grande, exutório da bacia, para formar o rio Paraná.

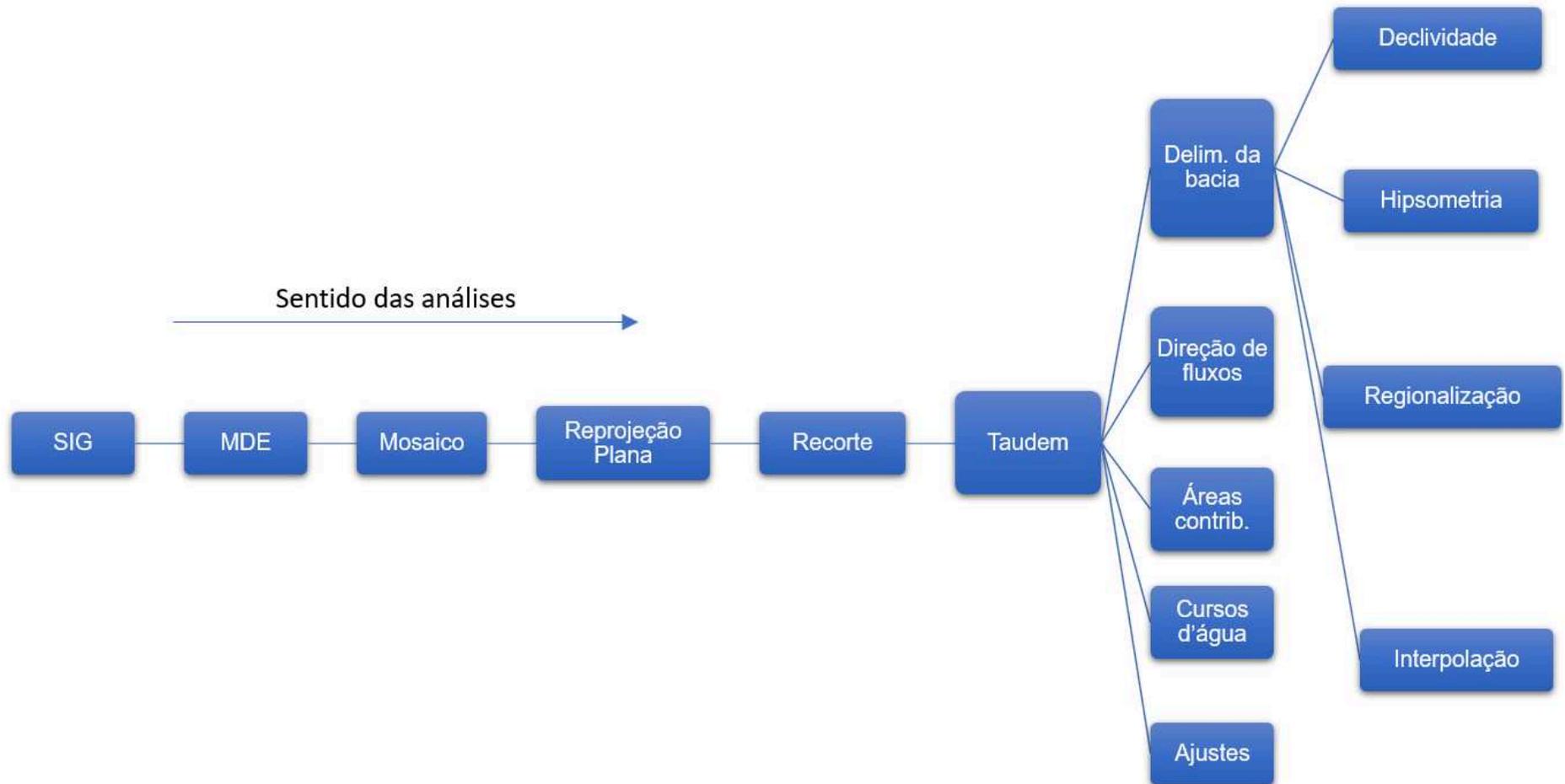
Este estudo foi realizado em 4 etapas, conforme explicitado na Figura 3. No intuito de facilitar o entendimento, cada etapa foi detalhada nas Figuras 4 a 8. Na Figura 4 está descrita a forma de obtenção dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), o tratamento dado a estes e os produtos obtidos. Na Figura 5 está explicitada a forma de obtenção dos dados das bacias delimitadas a partir das estações fluviométricas. Na Figura 6 encontra-se o detalhamento da regionalização dos dados de vazão obtidos nas estações fluviométricas. Na Figura 7 estão resumidos os passos do processo de agrupamento. Por fim, na Figura 8 estão explicitadas as etapas de organização dos agrupamentos e de obtenção dos modelos.

Figura 3 – Fluxograma geral: as etapas 1a e 1b foram realizadas concomitantemente, etapas 2, 3 e 4 são as etapas subsequentes. CFBH – Características físicas da bacia hidrográfica, IDW – interpolador pelo Inverso da distância ao quadrado, MDE – Modelo digital de elevação, RHH – Regiões hidrologicamente homogêneas, AA – análise de agrupamentos, RV – Regionalização de vazões, COE – Coeficiente de Nash- Sutcliffe.



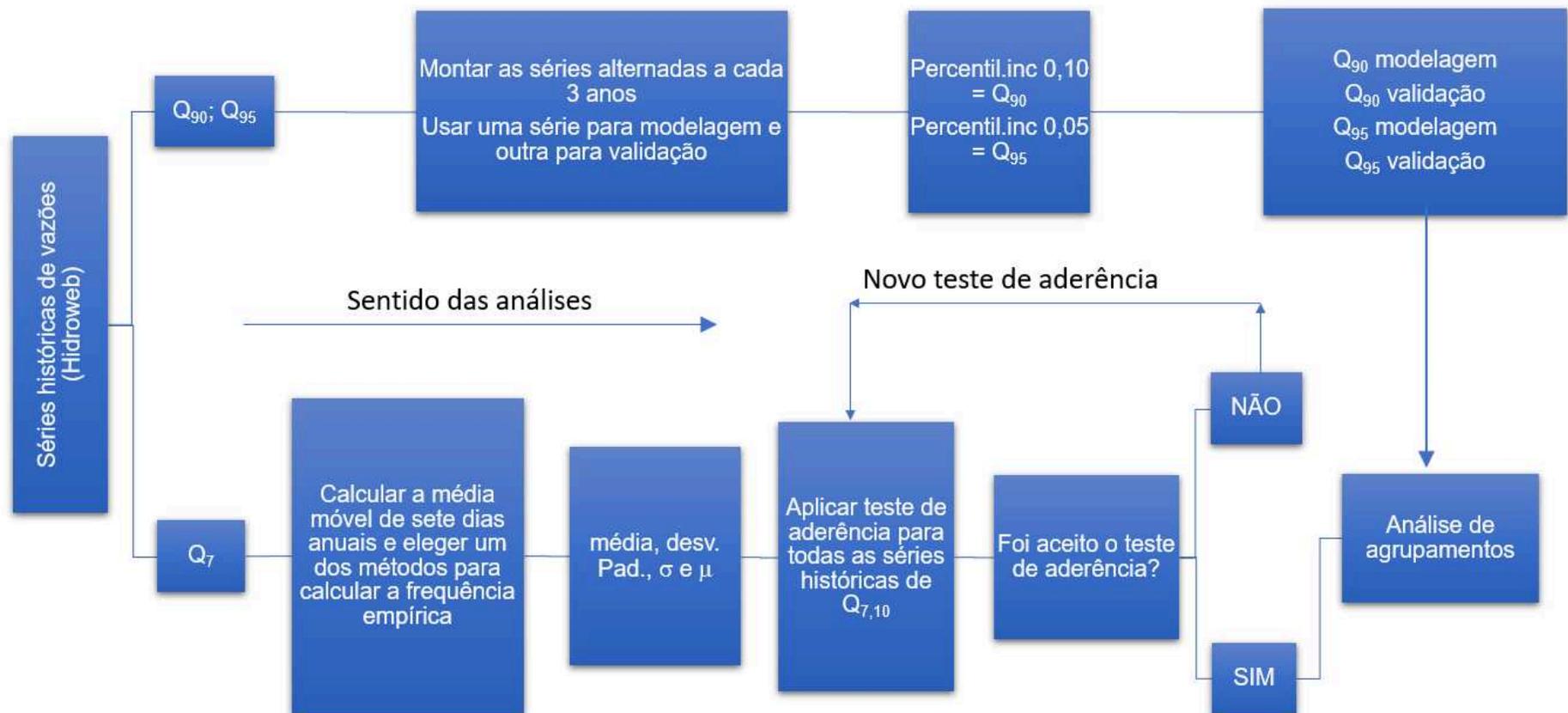
Fonte: O autor.

Figura 4 – Etapa 1a: Fluxograma do processo de obtenção do SRTM/tratamento/resultados. Taudem – algoritmo para obtenção dos resultados



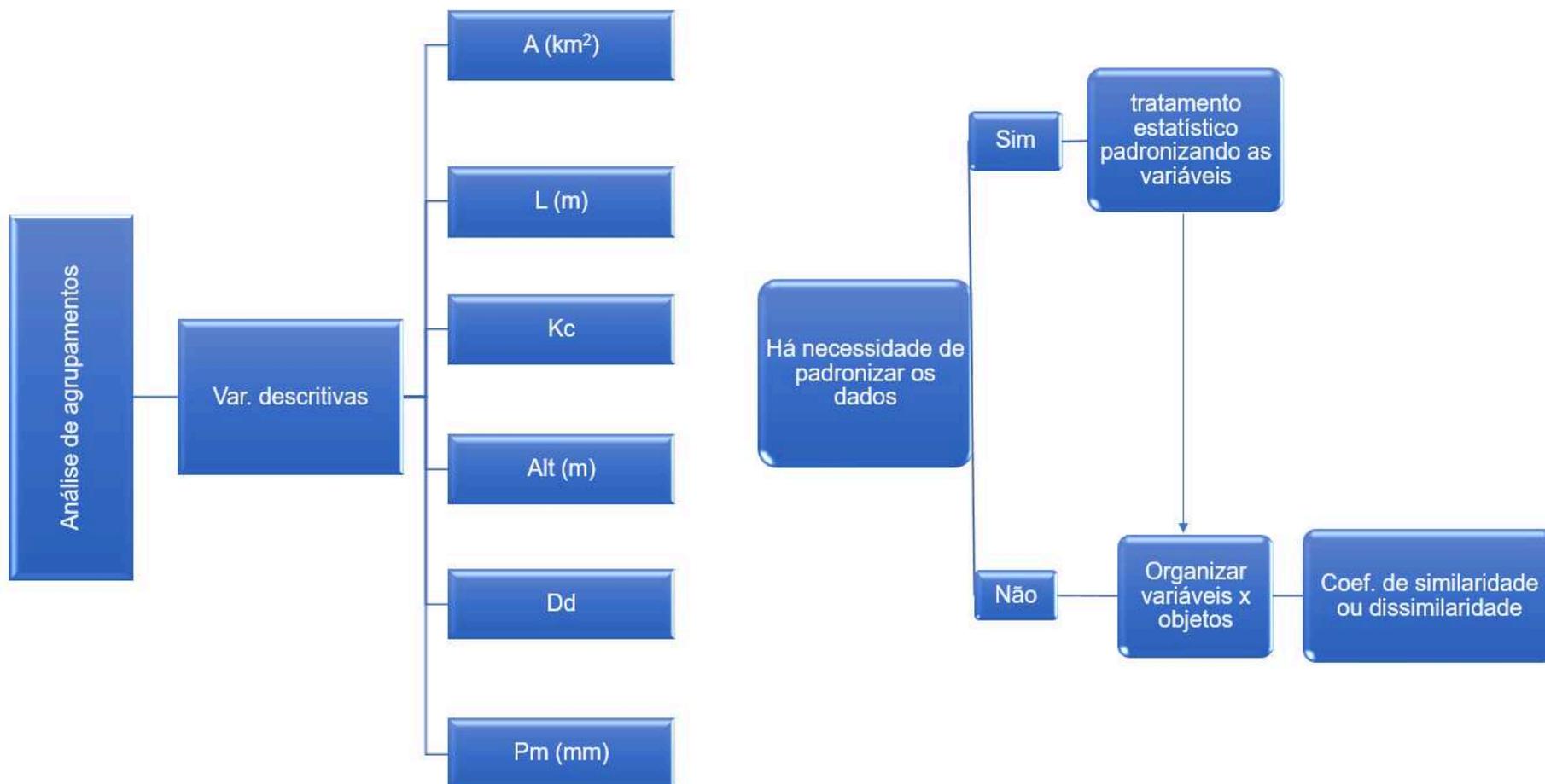
Fonte: O autor.

Figura 5 – Etapa 1b: Fluxograma do processo de obtenção dos dados das estações hidrométricas



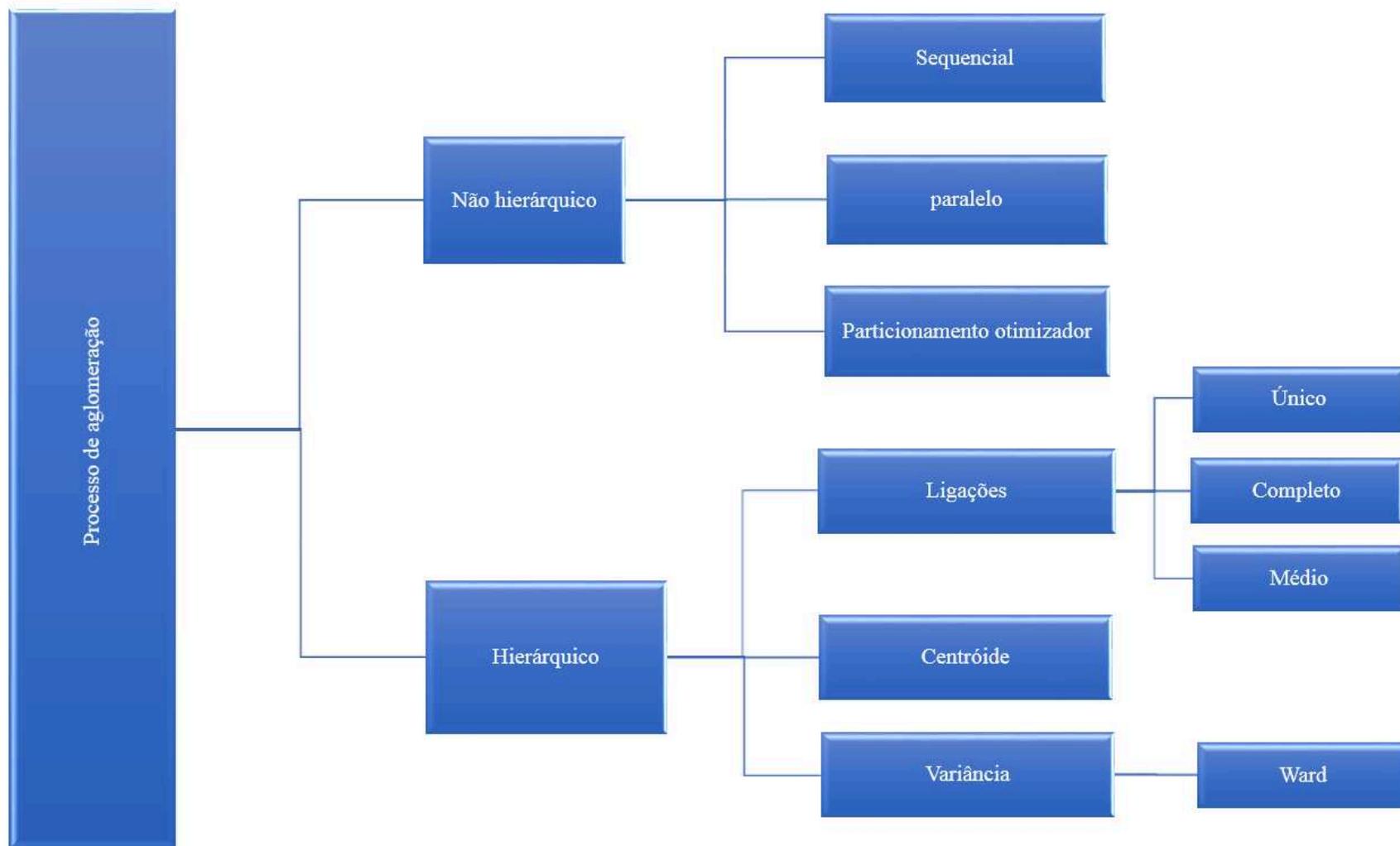
Fonte: O autor.

Figura 6 – Etapa 3: Fluxograma para organização dos agrupamentos. A – área de drenagem, L – comprimento do rio principal, Kc – índice de compacidade, Alt – altitude, Dd – densidade de drenagem, Pm – precipitação média.



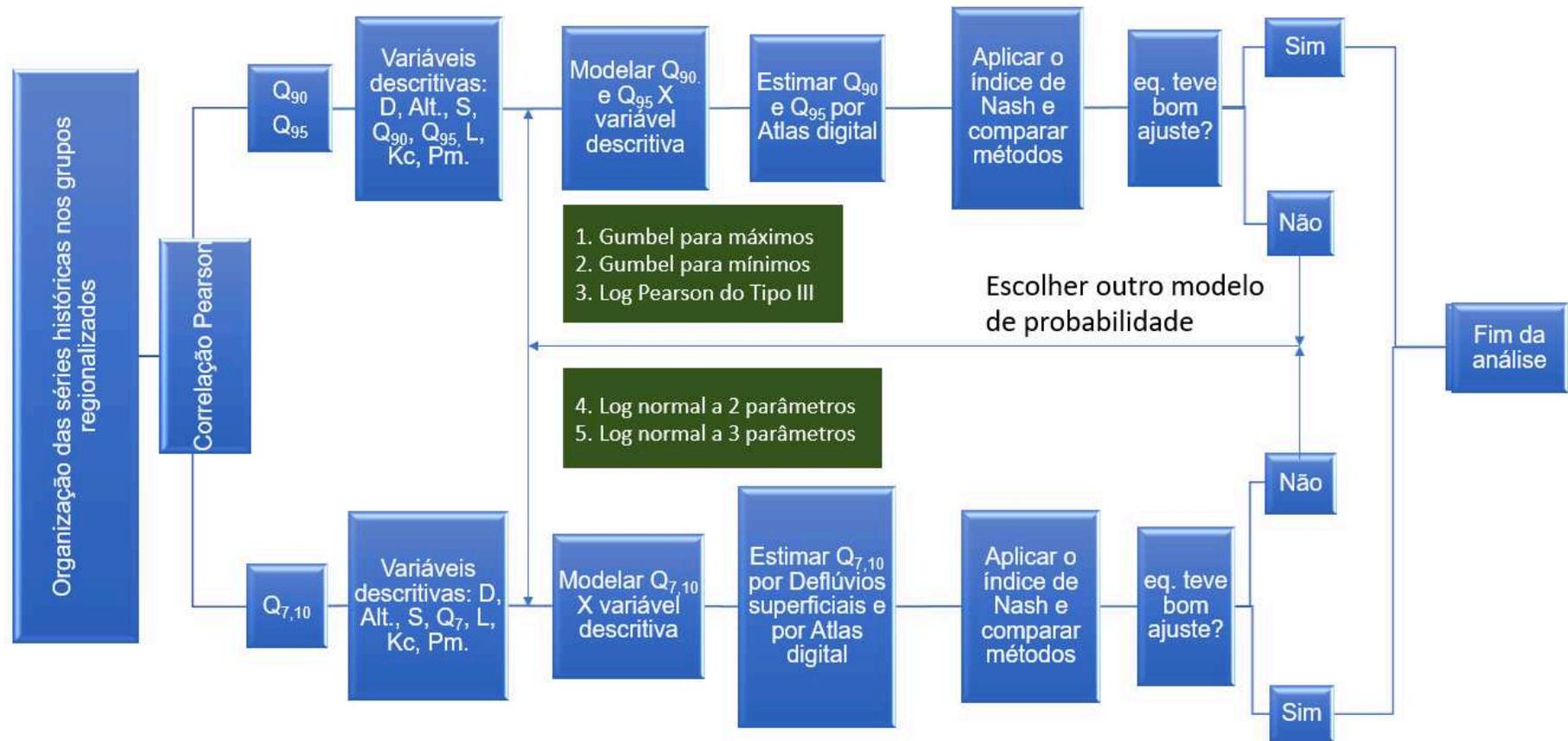
Fonte: O autor.

Figura 7 – Etapa 4: Fluxograma para processo dos agrupamentos



Fonte: O autor.

Figura 8 – Etapa 4: Organização dos agrupamentos e obtenção do modelo matemático



Fonte: O autor.

5.2 Etapa I – Obtenção dos dados SRTM tratamento/resultados

As imagens foram disponibilizadas gratuitamente pelo serviço da NASA (sigla em inglês de *National Aeronautics and Space Administration* – Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço), mediante um cadastro no site <https://earthexplorer.usgs.gov/>. As imagens dos modelos digitais de elevação (MDE) foram obtidas do satélite Landsat 8, com resolução de 30 m. A Figura 9 demonstra as 48 folhas de SRTM que foram utilizadas para formação do mosaico referente a BHRP.

Figura 9 – Representação das 48 folhas de SRTM sobrepondo a BHRP

| | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| S16_54 | S16_53 | S16_52 | S16_51 | S16_50 | S16_49 | S16_48 | S16_47 |
| S17_54 | S17_53 | S17_52 | S17_51 | S17_50 | S17_49 | S17_48 | S17_47 |
| S18_54 | S18_53 | S18_52 | S18_51 | S18_50 | S18_49 | S18_48 | S18_47 |
| S19_54 | S19_53 | S19_52 | S19_51 | S19_50 | S19_49 | S19_48 | S19_47 |
| S20_54 | S20_53 | S20_52 | S20_51 | S20_50 | S20_49 | S20_48 | S20_47 |
| S21_54 | S21_53 | S21_52 | S21_51 | S21_50 | S21_49 | S21_48 | S21_47 |

Fonte: O autor.

Na página <https://earthexplorer.usgs.gov/>, selecionou-se a região que enquadrava a BHP no mapa disponibilizado. Então, para escolher o tipo de produto – SRTM 30 m – selecionou-se *digital elevation > SRTM > SRTM 1 arc-second global, e results*. O sistema apresentou todos os SRTM que foram encontrados para a região selecionada. Para a BHP utilizou-se 48 SRTM (Figura 9). Portanto, fez-se o download de cada imagem em uma pasta pré-definida e posteriormente a descompactação de cada uma. Com a utilização do software QGIS adicionou-se cada camada raster (SRTM) para checagem das qualidades das imagens (metadados) e sequencialmente os processos de tratamento das imagens.

A próxima etapa foi a criação de um mosaico no QGis, utilizando as 48 folhas e empregando-se o algoritmo GDAL. Ao executá-lo, obteve-se uma única imagem – mosaico – representando toda a BHRP. Após isso, foi realizada a reprojeção para coordenadas planas, na qual as operações seguintes foram executadas. Também pelo algoritmo GDAL, utilizando-se como entrada o mosaico no sistema original de coordenadas e para o arquivo de saída, o sistema de projeções cônicas de Albers (explicado no item 4.5).

Nesta etapa, iniciou-se as rotinas para delimitação da bacia hidrográfica. Nesta pesquisa, primeiramente delimitou-se a bacia hidrográfica do rio Paranaíba e depois as 74 sub-bacias cujo local do exutório foi exatamente o mesmo onde estavam instaladas as estações fluviométricas da bacia. O objetivo para a delimitação de cada sub-bacia foi para posteriormente determinar as características fisiográficas de cada uma delas.

Após delimitação da BHRP foi possível obter algumas variáveis utilizadas nas discussões dos resultados, como a hipsometria, declividade, interpolação da precipitação média anual histórica e regionalização.

5.3 Etapa II – Obtenção e organização dos dados de vazões e precipitação

5.3.1 Coleta e análise de consistência dos dados

Os dados das estações fluviométricas e pluviométricas da BHRP foram obtidos diretamente no portal Hidroweb <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf> (Agência Nacional das Águas - ANA, 2010). No intuito de baixar os dados históricos de vazão diária e precipitação diária no sistema Hidroweb, foram preenchidos os seguintes campos de busca: Bacia > sub-bacia > rio > estado > cidade.

Assim, a pesquisa foi realizada nos principais municípios da BHRP, separados pelas UGHs (Unidades de Gestão Hídrica). Na BHRP foram identificadas dez unidades, sendo: o estado de Minas Gerais dividido em três UGHs - Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba, Rio Araguari e Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. O estado de Goiás dividido em cinco UGHs - São Marcos, Corumbá, Meia Ponte, Turvo e dos Bois e Claro, Verde, Correntes e Aporé. No Distrito Federal a bacia do Paranaíba foi subdividida em cinco sub-bacias hidrográficas, que juntas compõe uma única UGH. Por fim, no estado do Mato Grosso do Sul foi considerada a UGH Santana-Aporé.

Havendo estações na busca realizada no *Hidroweb*, um resultado era mostrado e então escolhia-se a estação de interesse. Nessa lista de estações, eram informados o código e o tipo de estação (estação pluviométrica ou fluviométrica). Dentre três opções de *download* possíveis, escolheu-se a saída para banco de dados *Access* (extensão .mdb), pois, dessa forma, conseguia-se importar os dados para tratamento e organização no sistema *Hidro 1.3*, fornecido e disponibilizado pela ANA.

Após baixar o arquivo, este foi descompactado em uma pasta intitulada *dados convencionais*. Por meio do aplicativo computacional *Hidro 1.3*, procedeu-se a importação dos dados obtidos nas estações seguindo o caminho: *sistema > importar > buscar o arquivo*.

Caso a estação contivesse uma série de dados relevante (nesta pesquisa adotou-se como relevante no mínimo de 9 anos de dados), essas estações apareceriam na tela. Após isso, os dados foram transportados para o banco de dados de saída da pesquisa. Concluída essa ação, foi feita uma checagem para verificar se a transferência de um banco de dados para outro foi completa. Caso a série histórica não tivesse a quantidade de anos desejada, iniciava-se o processo novamente, a partir da pesquisa por estações no portal *Hidroweb*.

Após essa etapa, os arquivos foram transportados para uma planilha eletrônica, para um ajuste fino no tocante às análises de consistências, haja vista que o software *Hidro 1.3* não permite completar séries ou deletar séries intermediárias que estavam incompletas. Ao assim proceder, foi possível recalcular a $Q_{7,10}$ pelo método de distribuição de probabilidades de Gumbel para mínimos ou Assintótica de Valores Mínimos Extremos do Tipo I (Equação 1). Foram analisadas somente estações a partir de no mínimo 9 anos de monitoramento.

5.3.2 Estimativa das vazões mínimas - $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}

Antes de proceder com o cálculo da vazão mínima de sete dias consecutivos, com tempo de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), a série de dados de cada estação fluviométrica considerada neste trabalho foi submetida ao teste de aderência de Komogorov-Smirnov (Equação 7), conforme parametrização descrita em Mello e Silva (2013).

$$|\Delta F|_{\text{máximo}} \leq |\Delta F|_{\text{tabelado}(n,\alpha)} \quad \text{Equação 7}$$

Onde: $|\Delta F|_{máximo}$ é a maior diferença entre a frequência empírica ou observada e a teórica ou calculada (em módulo), $|\Delta F|_{tabela(n,\alpha)}$ valor tabelado, em função de n e α , sendo n o tamanho da amostra e α o nível de significância do teste (5%).

A frequência empírica ou observada foi estimada pelo método de Weibull (Equação 8) (Mello e Silva, 2013).

$$P = \frac{m}{N+1} \quad \text{Equação 8}$$

Onde: P é a frequência empírica (adimensional) m é a ordem da variável hidrológica (1 para a primeira posição e N para a última) e N é o tamanho da amostra (número de anos da série histórica).

A frequência teórica ou calculada pelo modelo de distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos foi obtida por meio da Equação 9 (Mello e Silva, 2013).

$$F_i = 1 - e^{-e^{\sigma(X_{Ti} - \mu)}} \quad \text{Equação 9}$$

Onde: F_i é a frequência empírica ou calculada pela distribuição de Gumbel para mínimos na i ésima posição (adimensional) e X_{Ti} é a vazão mínima anual oriunda da média móvel de sete dias na i ésima posição em $m^3 s^{-1}$.

Os valores da média móvel das vazões de sete dias consecutivos em cada ano da série de dados (X_{Ti}) foram obtidos por meio do software *Hidro 1.3*. Os parâmetros de forma (σ) e escala (μ) da distribuição de Gumbel para mínimos foram determinados por meio das Equações 10 e 11, respectivamente, conforme parametrização de Mello e Silva (2013).

$$\mu = \bar{X} + 0,45 \cdot S \quad \text{Equação 10}$$

$$\sigma = \frac{1,2826}{S} \quad \text{Equação 11}$$

Onde: σ é o parâmetro de escala da distribuição de Gumbel para mínimos em $m^3 s^{-1}$, μ é o parâmetro de posição da distribuição de Gumbel para mínimos em $m^3 s^{-1}$, S é o desvio padrão amostral em $m^3 s^{-1}$ e \bar{X} representa o valor médio dos dados de vazão mínima anual oriunda da média móvel de sete dias em $m^3 s^{-1}$.

Caso o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov rejeitasse o modelo de distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos para alguma estação fluviométrica, refazia-se o teste

com outros modelos de estimativa da frequência empírica, como Mediana, Hosking, Blom, Cunnane, Gringorten e Hazen, nesta ordem, conforme parametrização proposta em Mello e Silva (2013). Caso persistisse a recusa do teste de aderência para a estação fluviométrica em questão, procedeu-se a substituição do teste de Kolmogorov-Smirnov por Qui-quadrado.

Após a confirmação dada pelo teste de aderência, a série com os valores das médias móveis das vazões de sete dias consecutivos (Q_7) em cada ano (XT) foi dividida em duas partes: uma para a geração do modelo hidrológico para a estimativa da vazão $Q_{7,10}$ e outra para a validação do modelo, por meio de testes estatísticos. Esse procedimento foi realizado para todas as estações fluviométricas da bacia.

A separação da série foi feita montando duas séries históricas variando em intervalos de três, quatro ou cinco anos, formando uma série que foi utilizada para modelagem e a outra utilizada na validação. Esse procedimento foi realizado de forma alternada, ou seja, os primeiros três, quatro ou cinco anos da série para a geração do modelo e os três, quatro ou cinco seguintes para a validação, e assim sucessivamente. A metodologia adotada neste trabalho para a obtenção das séries alternadas seguiu a seguinte lógica:

- Série de dados de $Q_7 \leq 12$ anos \rightarrow intervalos de 3 anos, com tolerância de até 1 ano, para mais ou para menos;
- 12 anos $>$ Série de dados de $Q_7 \leq 17$ anos \rightarrow intervalos de 4 anos, com tolerância de até 1 ano, para mais ou para menos;
- Série de dados de $Q_7 > 17$ anos \rightarrow intervalos de 5 anos, com tolerância de até 4 anos, para mais ou para menos.

Após a obtenção da série de dados de Q_7 para a geração do modelo, foi utilizada a distribuição de Gumbel para mínimos, para a estimativa da vazão mínima de sete dias com tempo de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), para cada estação fluviométrica da BHRP, conforme parametrizado em Mello e Silva (2013) (Equação 12).

$$Q_{7,10 \text{ calculado}} = \frac{\text{LN}\left(-\text{LN}\left(1-\frac{1}{\text{TR}}\right)\right)}{\sigma} + \mu \quad \text{Equação 12}$$

Onde: $Q_{7,10 \text{ calculado}}$ é a vazão mínima de sete dias consecutivos com tempo de retorno de dez anos, calculada para cada estação fluviométrica selecionada na BHRP, em $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ e LN é a representação do logaritmo natural.

Para a obtenção dos resultados de Q_{90} e Q_{95} utilizou-se os dados de vazões médias diárias de cada uma das estações fluviométricas selecionadas na BHRP. O procedimento para a separação das séries para modelagem e validação do modelo hidrológico para a estimativa dessas vazões seguiu a mesma lógica descrita para a vazão $Q_{7,10}$, porém, aqui os dados de vazão não eram provenientes da média móvel de sete dias, mas dos dados originais das séries históricas.

Uma vez organizada a série de dados para geração do modelo, os valores de probabilidade Q_{90} e Q_{95} foram obtidos para cada estação fluviométrica, a partir da função "PERCENTIL.INC", presente no software Microsoft Excel® 2019.

5.4 Etapa 3 – Regionalização

5.4.1 Análise de agrupamentos

As variáveis descritivas foram extraídas da tabela de atributos no mapa da BHRP, quais sejam: área de drenagem (A), comprimento do rio principal (L), coeficiente de compactidade (K_c), altitude (Alt), densidade de drenagem (D_1), precipitação mínima ($P_{mín}$) e precipitação média (P_m).

Sequencialmente, fez-se um estudo preliminar das características e das grandezas dos valores e unidades daquelas variáveis, a fim de identificar a necessidade da padronização e transformação destas. Optou-se pela transformação (Equação 13), devido às variáveis apresentarem unidades e magnitudes diferentes, o que poderia ocasionar uma distorção nos dados (Equação 13).

$$z = \left| \frac{x - \bar{x}}{s} \right| \quad \text{Equação 13}$$

Onde: Z é a variável transformada, x é a variável descritiva, \bar{x} é a média amostral e s é o desvio padrão.

A partir disso, foi realizado um teste de correlação de Pearson com a finalidade de checar o grau de correlação entre as variáveis. Ao final, escolheu-se aquelas que representariam toda a BHRP para o processo de aglomeração. Definiu-se pelo método de *k-means*, como medida de distância entre as variáveis (item 4.5.1). Assim, pelo software *Action Stat Pro versão 3.5.152.34 build 4 – 25/06/2018; R version 3.3.2 (2016-31-10)* processou-se os algoritmos para a análise de agrupamentos.

5.4.1 Interpolação IDW

Para a criação dos mapas interpolados, bem como para a visualização das regiões homogêneas na BHRP, empregou-se o software *QGIS versão 2.19.24*. Para tanto, foram utilizados os dados de vazão separados para a fase de modelagem. A variável descritiva empregada na interpolação seria aquela que apresentou melhor desempenho no teste de correlação de Pearson.

Organizou-se uma planilha eletrônica relacionando a variável escolhida no teste de correlação com as respectivas longitudes e latitudes dos pontos de controle de cada sub-bacia. Esta planilha foi salva na extensão *.csv* para a posteriormente ser utilizada no software de interpolação.

Por meio do algoritmo *SAGA* na plataforma *QGIS* e utilizando a planilha em formato *csv* como entrada de dados, gerou-se a interpolação dos valores para toda a BHRP. Conforme explicado no item 4.6, esta interpolação se baseia em uma variação da distância euclidiana, levando em consideração como peso de ponderação, o inverso do quadrado da distância (Equação 2).

Após isso, foram gerados mapas de isolinhas regionalizadas para cada vazão de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}), a partir da variável escolhida no teste de correlação. Caso o exutório de alguma sub-bacia se localizasse entre duas isoietas, foi adotado o procedimento matemático explicitado na Equação 14, afim de obter-se maior precisão nos valores das vazões de referência estimadas pelo método de interpolação IDW.

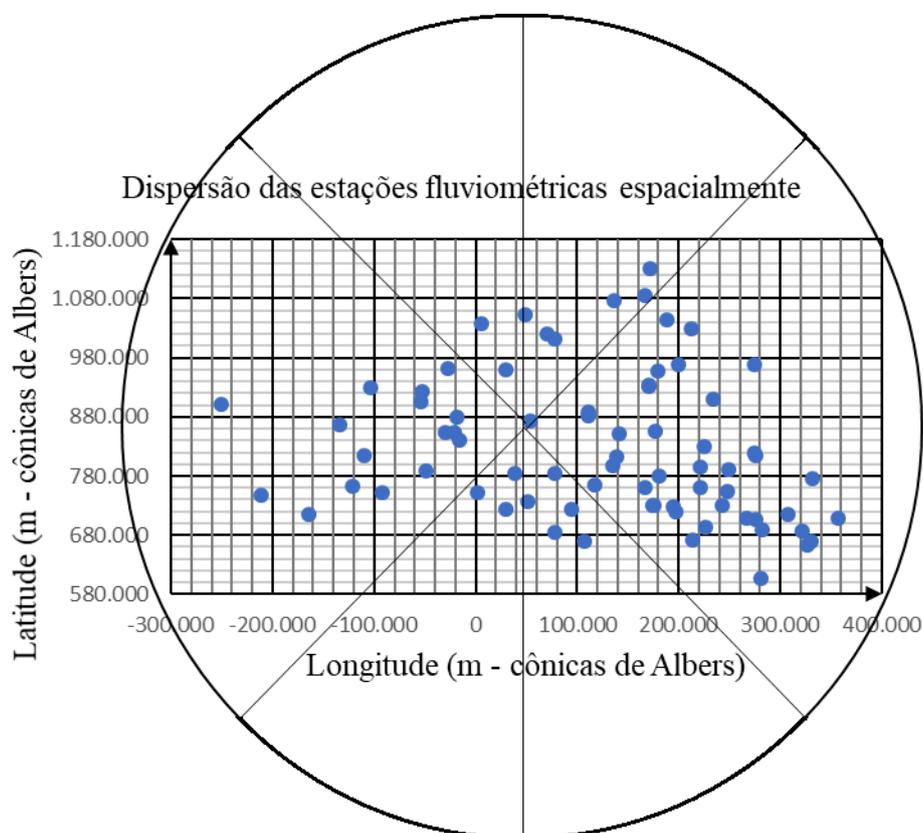
$$\beta = L_1 + \frac{C d_1}{d_2} \quad \text{Equação 14}$$

Onde: β é o valor da variável interpolada naquele exutório, L_1 é o valor da isolinha mais próxima do exutório a ser interpolado, C é a diferença dos valores das isolinhas (L_1 e L_2), d_1 é a distância de L_1 até o exutório e d_2 é a distância do exutório até L_2 .

5.4.2 Krigagem ordinária

Essa interpolação foi realizada utilizando-se primeiramente o algoritmo *SAGA* para fazer a definição do semivariograma e os ajustes dos respectivos parâmetros (Tabela 1). Por meio da Figura 10 é possível visualizar a dispersão espacial das estações fluviométricas na BHRP. Isso ajudou na definição dos valores dos parâmetros para a krigagem.

Figura 10 – Esquema das estações da sub-bacia distribuídas espacialmente em função da longitude e longitude



Fonte: O autor.

Tabela 1 – Definição dos parâmetros utilizados no algoritmo *SAGA* para krigagem

| X0 (m) | Xn (m) | ΔX (m) | Y0 (m) | Yn (m) | ΔY (m) |
|-------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------|
| 302.198 | 373.617 | 675.815 | 583.33 3 | 1.161.950 | 578.617 |
| <i>block size</i> | <i>maxim distance</i> | <i>lag distance classe</i> | <i>cellsize</i> | <i>maxim search distance</i> | <i>search Direction</i> |
| 500 | 20.000 | 210.000 | 2.000 | 600.000 | All |

X0 – Valor da longitude no exutório da sub-bacia extrema esquerda, Xn - Valor da longitude no exutório da sub-bacia extrema direita, $\Delta X = Xn - X0$, Y0 - Valor da latitude no exutório da sub-bacia mais ao norte, Yn Valor da longitude no exutório da sub-bacia mais ao sul e $\Delta Y = Yn - Y0$.

Fonte: O autor.

Após obtenção dos valores das variáveis da krigagem (Tabela 1) foi obtido, por meio do software *SAGA GIS Versão 2.3.2*, na aba krigagem do menu geostatística espacial, a

equação do variograma. Neste trabalho, a equação que melhor alcançou ajuste foi a linear simples (Equação 15).

$$\gamma = a + b x \quad \text{Equação 15}$$

Onde: γ é a variância da variável descritiva escolhida, a é o coeficiente linear, b é o coeficiente angular da reta e x é o valor da variável descritiva (aquela com melhor desempenho no teste de correlação de Pearson).

Posteriormente, no *QGIS*, executou-se o algoritmo *SAGA* e na aba krigagem ordinária lançou-se os valores das variáveis contidas na Tabela 1, juntamente com a equação modelo para geração do mapa interpolado (Equação 15).

Após isso, foram gerados mapas de isolinhas regionalizadas para cada vazão de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}), a partir da variável escolhida no teste de correlação. Caso o exutório de alguma sub-bacia se localizasse entre duas isoietas, foi adotado o procedimento matemático explicitado na Equação 14, item 5.4.1, objetivando conseguir maior precisão nos valores das vazões de referência estimadas pelo método de interpolação por krigagem ordinária.

5.5 Deflúvios superficiais

Para a obtenção das estimativas das vazões utilizou-se os Anexos 6 e 7 do trabalho “*Deflúvios superficiais no Estado de Minas Gerais*” (Deflúvios), elaborado por SOUZA (1993). Esta bibliografia possui mapas temáticos por meio dos quais se obtém os rendimentos específicos médios mensais com 10 anos de recorrência e a tipologia da região. Para obtenção dessas informações, basta o usuário encontrar o ponto de interesse, a partir dos seus dados de latitude e longitude. A estimativa da vazão mínima de sete dias consecutivos com tempo de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$) é obtida, no Deflúvios, por meio da Equação 16.

$$Q_{7,10} = F_{10,7} * Q_{10M} \quad \text{Equação 16}$$

Onde: $Q_{7,10}$ é a vazão mínima de sete dias consecutivos com tempo de retorno de dez anos $L s^{-1}$, $F_{10,7}$ é a função para inferência da vazão de sete dias com tempo de retorno de dez anos adimensional (Equação 17) e $Q_{10,M}$ é a vazão mínima de duração mensal e recorrência decenal (10 anos) em $L s^{-1}$ (Equação 18).

$$F_{10,7} = \alpha + \beta * \gamma^D * (Log T)^{-(r*Log T+s)} * D^{(m+n*Log T)} \quad \text{Equação 17}$$

Onde: α , β , γ , m , n , r e S são valores tabelados e obtidos a partir da definição da tipologia da região (adimensionais); D é duração da vazão mínima (sete dias) em dias e T é o tempo de retorno (dez anos) em anos.

$$Q_{10,M} = Re * A \quad \text{Equação 18}$$

Onde: Re é o rendimento específico médio mensal em $L (s \text{ km}^2)^{-1}$ e A é a área de drenagem em km^2 .

Portanto, neste trabalho, foi estimada a $Q_{7,10}$ para cada sub-bacia hidrográfica da BHRP, a partir da localização geográfica do respectivo exutório e de sua área de drenagem, determinado no local de cada estação fluviométrica. O *Deflúvios* foi concebido para a estimativa dessa vazão somente para o estado de Minas Gerais. Portanto, os seus resultados foram comparados com os valores de $Q_{7,10}$ estimados por meio da krigagem ordinária e da interpolação IDW, somente em Minas Gerais.

5.6 Atlas digital

A estimativa das vazões de referência ($Q_{7,10}$; Q_{90} e Q_{95}) por meio do *Atlas Digital das Águas de Minas* foi feita a partir das Equações 20, 21 e 22, respectivamente. Importa destacar que o Atlas indica somente um modelo matemático, para cada vazão de referência, para todo o lado mineiro da BHRP.

$$Q_{7,10} = 0,0038 A^{0,945} \quad \text{Equação 20}$$

$$Q_{90} = 0,0055 A^{1,0078} \quad \text{Equação 21}$$

$$Q_{95} = 0,0039 A^{1,0241} \quad \text{Equação 22}$$

Onde: A é a área de drenagem delimitada a partir da seção de controle de cada estação fluviométrica (exutório de cada da sub-bacia) em km^2 .

Assim como o *Deflúvios*, por meio do *Atlas Digital de Minas* é possível estimar as vazões de referência ($Q_{7,10}$; Q_{90} e Q_{95}) somente para o estado de Minas Gerais e para algumas bacias dos estados do Espírito Santo e da Bahia. Portanto, neste trabalho, os seus resultados

foram comparados com os valores das vazões de referência estimadas por meio da krigagem ordinária e da interpolação IDW, somente em Minas Gerais.

5.7 Avaliação estatística

A avaliação estatística neste trabalho ficou circunscrita à comparação dos resultados das vazões de referência ($Q_{7,10}$; Q_{90} e Q_{95}) observadas (tidas como padrão) em cada sub-bacia *versus* as vazões de referência calculadas por meio dos modelos hidrológicos (calculadas) oriundos da interpolação IDW, da krigagem ordinária, do *Atlas Digital das Águas de Minas* e do *Deflúvios Superficiais de Minas Gerais*. As vazões observadas vieram da série de dados para a validação dos modelos.

A estatística foi feita pelo Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE), o qual permite inferir sobre a eficiência do modelo gerado na determinação da vazão de referência. Para Machado, Vetorazzi, e Xavier (2003), o COE é um dos mais importantes critérios estatísticos para avaliar o ajuste de modelos hidrológicos. O COE foi calculado por meio da Equação 23.

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{calculada})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad \text{Equação 23}$$

Onde: COE é o Coeficiente de Nash-Sutcliffe (adimensional), $Q_{calculada}$ é a vazão calculada (podendo ser a $Q_{7,10}$ ou Q_{90} ou Q_{95}) em $m^3 s^{-1}$, Q_{obs} é a vazão observada (podendo ser a $Q_{7,10}$ ou Q_{90} ou Q_{95}) em $m^3 s^{-1}$ e $\overline{Q_{obs}}$ é a média dos valores de vazão observada (podendo ser a $Q_{7,10}$ ou Q_{90} ou Q_{95}) em $m^3 s^{-1}$.

O coeficiente estatístico COE traduz a eficiência do modelo matemático gerado, na previsão das vazões estudadas neste trabalho. O resultado do coeficiente de Nash-Sutcliffe foi interpretado a partir da classificação contida na Tabela 2, sugerida por Moriasi et al. (2007).

Tabela 2 - Faixa de valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe (COE) e sua respectiva classificação, segundo Moriasi et al. (2007).

| Resultado do coeficiente de Nash-Sutcliffe (COE) | Classificação do modelo matemático |
|--------------------------------------------------|------------------------------------|
| $0,75 < COE \leq 1,0$ | Muito bom |
| $0,65 < COE < 0,75$ | Bom |
| $0,50 < COE < 0,65$ | Satisfatório |
| $COE < 0,50$ | Não satisfatório |

Fonte: Adaptado de Moriasi et al. (2007).

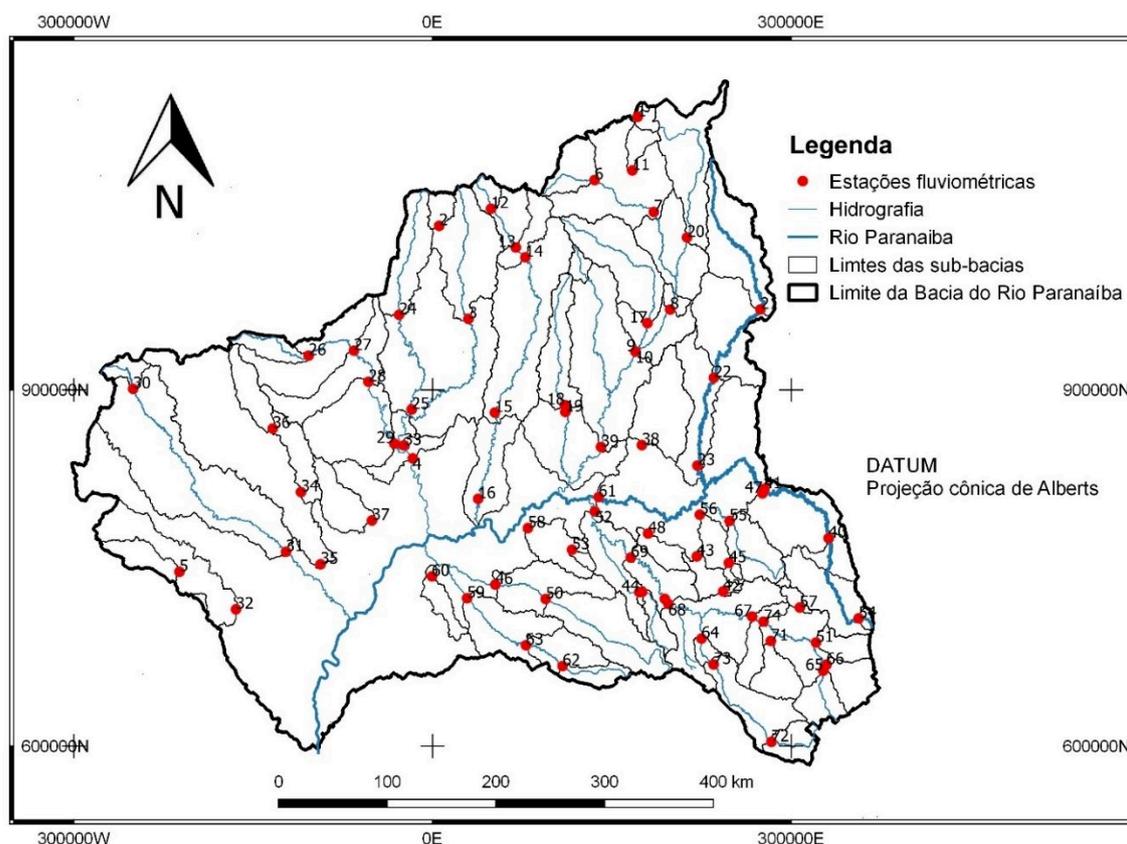
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba

A distribuição espacial das estações fluviométricas está representada na Figura 11. Foram 74 estações fluviométricas, sendo 35 distribuídas ao lado da margem esquerda (região de Minas Gerais) e outras 39 situadas à margem direita, distribuídas pelos estados de GO, MS e o DF.

Aplicou-se como teste de adequacidade (Apêndice D), para as estações fluviométricas, Kolmogorov-Smirnov (vazões mínimas) com nível de 5% de significância. A distribuição de probabilidade que melhor se ajustou foi a de Gumbel para mínimos, resultados estes que corroboram com estudos efetivados por Lopes et al. (2016), nos quais a distribuição de Gumbel permitiu um bom ajuste para as vazões mínimas.

Figura 11 – Bacia do Rio Paranaíba e as estações fluviométricas distribuídas. Utilizado o *Datum* de projeções cônicas de Albers.



Fonte: O autor.

A Tabela 3 apresenta os dados básicos, referente às estações fluviométricas analisadas.

Tabela 3 – Dados de caracterização das estações fluviométricas na BHP

| seq. | Código | Nome | Long. | Lat. | Estado | Município | Rio | período | Série (anos) |
|------|----------|------------------------------------|------------|-----------|--------|-----------------------------|-------------------|-----------|--------------|
| 1 | 60435000 | Descoberto - chácara 89 | -048:14:05 | -15:42:27 | DF | Brasília | Descoberto | 1978 2017 | 39 |
| 2 | 60700000 | Anicuns | -049:56:34 | -16:27:55 | GO | Anicuns | Dos Bois | 1956 2005 | 49 |
| 3 | 60715000 | Fazenda Boa Vista | -049:41:18 | -17:06:25 | GO | Varjão | Dos Bois | 2007 2017 | 10 |
| 4 | 60805000 | Ponte Sul Goiana | -050:10:18 | -18:04:14 | GO | Goiatuba | Dos Bois | 1968 1996 | 28 |
| 5 | 60960000 | Barra do Prata | -052:12:47 | -18:50:42 | GO | Cassilândia | Aporé ou do Peixe | 1985 2006 | 21 |
| 6 | 60430000 | Ponte Anápolis - Brasília | -048:36:06 | -16:08:45 | GO | Alexânia | Corumbá | 1966 2004 | 38 |
| 7 | 60445000 | Estrada GO-56 (PCD INPE) | -048:05:22 | -16:21:48 | GO | Luziânia | Corumbá | 1973 1995 | 22 |
| 8 | 60510010 | Engenheiro Amorim | -047:56:27 | -17:02:10 | GO | Orizona | Corumbá | 1995 2012 | 17 |
| 9 | 60544990 | UHE Corumbá I Montante 1 | -048:14:21 | -17:19:42 | GO | Pires do Rio | Corumbá | 1992 2016 | 24 |
| 10 | 60545000 | Pires do Rio | -048:14:19 | -17:19:38 | GO | Urutaí | Corumbá | 1972 2005 | 33 |
| 11 | 60443000 | Santo Antônio do Descoberto | -048:16:38 | -16:04:40 | GO | Santo Antonio do Descoberto | Descoberto | 1978 1995 | 17 |
| 12 | 60635000 | Inhumas | -049:29:39 | -16:20:47 | GO | Inhumas | Meia Ponte | 1947 2007 | 60 |
| 13 | 60640000 | Montante de Goiânia | -049:16:47 | -16:36:49 | GO | Goiânia | Meia Ponte | 1975 2007 | 32 |
| 14 | 60650000 | Jusante de Goiânia | -049:11:47 | -16:40:52 | GO | Goiânia | Meia Ponte | 1978 2006 | 28 |
| 15 | 60675000 | Aloândia | -049:27:27 | -17:45:11 | GO | Aloândia | Meia Ponte | 1975 1995 | 20 |
| 16 | 60680000 | Ponte Meia Ponte | -049:36:06 | -18:20:56 | GO | Itumbiara | Meia Ponte | 1953 2007 | 54 |
| 17 | 60540000 | UHE Corumbá I Rio Piracanjuba | -048:08:14 | -17:07:53 | GO | Orizona | Piracanjuba | 1972 2016 | 44 |
| 18 | 60590000 | Fazenda Papua | -048:51:00 | -17:42:00 | GO | Morrinhos | Piracanjuba | 1967 1995 | 28 |
| 19 | 60591000 | UHE Itumbiara jusante ponte GO-213 | -048:50:39 | -17:44:52 | GO | Morrinhos | Piracanjuba | 2007 2016 | 9 |
| 20 | 60500000 | UHE Batalha rio São Bartolomeu | -047:48:02 | -16:32:15 | GO | Cristalina | São Bartolomeu | 1968 2016 | 48 |
| 21 | 60020000 | Ponte São Marcos | -047:09:31 | -17:01:44 | GO | Cristalina | são Marcos | 1971 2007 | 36 |
| 22 | 60030000 | Campo Alegre de Goiás | -047:33:24 | -17:30:15 | GO | Campo Alegre de Goiás | são Marcos | 1972 2007 | 35 |
| 23 | 60040000 | Fazenda São Domingos | -047:41:30 | -18:06:40 | GO | Davinópolis | São Marcos | 1969 2007 | 38 |

Continuação da Tabela 3

| Seq. | Código | Nome | Long. | Lat. | Estado | Município | Rio | período | | Série (anos) |
|------|----------|---------------------------------|------------|-----------|--------|----------------|-------------------|---------|------|--------------|
| 24 | 60750000 | Fazenda Nova do Turvo | -050:17:22 | -17:04:45 | GO | Paraúna | Turvo | 1957 | 2006 | 49 |
| 25 | 60765000 | Barra do Monjolo | -050:10:51 | -17:43:56 | GO | Edeia | Turvo | 1972 | 2006 | 34 |
| 26 | 60774000 | Montividiu | -051:04:31 | -17:21:33 | GO | Montividiu | Verde ou Verdão | 1974 | 2006 | 32 |
| 27 | 60781000 | Ponte Rodagem | -050:40:55 | -17:19:33 | GO | Paraúna | Verde ou Verdão | 1972 | 2006 | 34 |
| 28 | 60790000 | Ponte Rio Verdão | -050:33:23 | -17:32:28 | GO | Acreúna | Verde ou Verdão | 1962 | 2007 | 45 |
| 29 | 60798000 | Maurilândia | -050:19:57 | -17:58:04 | GO | Maurilândia | Verde ou Verdão | 1974 | 2007 | 33 |
| 30 | 60910000 | Ponte do Cedro | -052:36:05 | -17:34:46 | GO | Mineiros | Verde | 1965 | 2006 | 41 |
| 31 | 60920000 | Itarumã | -051:16:48 | -18:42:43 | GO | Itarumã | verde | 1971 | 1987 | 16 |
| 32 | 60968000 | Cassilândia | -051:43:15 | -19:06:27 | MS | Cassilândia | Aporé ou do Peixe | 1984 | 2005 | 21 |
| 33 | 60772000 | Fazenda Santa Maria | -050:14:49 | -17:58:51 | GO | Paraúna | Dos Bois | 1975 | 2007 | 32 |
| 34 | 60900000 | Ponte_BR-364 | -051:08:49 | -18:18:03 | GO | Cachoeira alta | Doce | 1972 | 1994 | 22 |
| 35 | 60950000 | Cachoeira Alta | -050:58:43 | -18:47:59 | GO | Cachoeira alta | Claro | 1972 | 1988 | 16 |
| 36 | 60895000 | Ponte Rio Doce | -051:23:24 | -17:51:39 | GO | Jatai | doce | 1967 | 2007 | 40 |
| 37 | 60870000 | Quirinópolis | -050:31:43 | -18:29:54 | GO | Quirinópolis | Preto | 1971 | 2017 | 46 |
| 38 | 60300000 | Estacam veríssimo | -048:10:38 | -17:58:23 | GO | Goianira | Veríssimo | 1969 | 2010 | 41 |
| 39 | 60570080 | UHE Corumbá I Barramento | -048:31:58 | -17:59:16 | GO | Corumbaíba | Corumbá | 1996 | 2015 | 19 |
| 40 | 60011000 | Patos de Minas (INMET) | -046:32:22 | -18:36:06 | MG | Patos de Minas | Paranaíba | 1975 | 2017 | 35 |
| 41 | 60012100 | Vicente Goulart - Jusante | -047:06:23 | -18:16:03 | MG | Coromandel | Paranaíba | 2002 | 2017 | 16 |
| 42 | 60145000 | Iraí de Minas - Iraí de Minas | -047:27:23 | -18:58:41 | MG | Iraí de Minas | Bagagem | 1952 | 2015 | 64 |
| 43 | 60150000 | Estrela do Sul - Estrela do Sul | -047:41:24 | -18:44:17 | MG | Estrela do Sul | Bagagem | 1942 | 2016 | 75 |
| 44 | 60381000 | Faz. Letreiro Uberlândia | -048:11:25 | -18:59:18 | MG | Uberlândia | Uberabinha | 1976 | 2017 | 42 |
| 45 | 60130000 | Fazenda Cachoeira | -047:24:32 | -18:46:51 | MG | Monte Carmelo | Perdizes | 1952 | 2016 | 58 |
| 46 | 60845000 | Ituiutaba - Ituiutaba | -049:26:59 | -18:56:27 | MG | Ituiutaba | Tijuco | 1942 | 2016 | 71 |
| 47 | 60012000 | Vicente Goulart | -047:07:19 | -18:17:54 | MG | Coromandel | Paranaíba | 1957 | 1989 | 33 |
| 48 | 60180000 | Fazenda Ponte Preta | -048:07:00 | -18:35:00 | MG | Araguari | Ribeirão Jordão | 1952 | 1960 | 9 |
| 49 | 60381005 | Sucupira | -048:09:53 | -18:59:11 | MG | Uberlândia | Uberabinha | 1950 | 1965 | 16 |

Continuação da Tabela 3

| Seq. | Código | Nome | Long. | Lat. | Estado | Município | Rio | período | Série (anos) |
|------|----------|-------------------------|------------|-----------|--------|---------------------|-----------------------|-----------|--------------|
| 50 | 60842000 | Br 153 Posto Tejuco | -049:00:33 | -19:02:22 | MG | Prata | Tijuco | 1995 2016 | 20 |
| 51 | 60272000 | Ponte Rio São João | -046:38:14 | -19:19:24 | MG | Ibiá | São João | 1999 2015 | 17 |
| 52 | 60400000 | Ponte Melo Viana | -048:35:00 | -18:26:00 | MG | Tupaciguara | Araguari | 1949 1975 | 11 |
| 53 | 60615000 | Fazenda Cachoeira 2 | -048:46:50 | -18:41:54 | MG | Tupaciguara | Pouso Alegre | 1949 2015 | 64 |
| 54 | 60005000 | Fazenda Bom Jardim | -046:15:57 | -19:09:08 | MG | Rio Paranaíba | Paranaíba | 1956 1979 | 23 |
| 55 | 60110000 | Abadia dos Dourados | -047:24:23 | -18:29:28 | MG | Abadia dos Dourados | Dourados | 1944 2015 | 70 |
| 56 | 60135000 | Estação Douradoquara | -047:40:00 | -18:27:00 | MG | Monte Carmelo | Perdizes | 1948 1975 | 28 |
| 57 | 60285000 | Salitre - Patrocínio | -046:47:00 | -19:05:00 | MG | Patrocínio | Ribeirão do Salitre | 1948 1964 | 17 |
| 58 | 60620000 | Ponte Rio Piedade | -049:10:00 | -18:33:00 | MG | Mte Alegre de Minas | Piedade | 1952 1975 | 23 |
| 59 | 60855000 | Ponte do Prata | -049:41:50 | -19:02:08 | MG | Ituiutaba | Da Prata | 1941 2015 | 74 |
| 60 | 60856000 | Ponte BR-365 | -050:00:18 | -18:53:05 | MG | Gurinhata | Ribeirão São Jerônimo | 1995 2016 | 20 |
| 61 | 60210000 | Ponte Veloso | -048:33:00 | -18:20:00 | MG | Araguari | Paranaíba | 1948 1979 | 32 |
| 62 | 60848000 | Br 153 Nossa Senhora | -048:51:31 | -19:30:07 | MG | Prata | Da Prata | 1995 2016 | 21 |
| 63 | 60850000 | Fazenda Buriti do Prata | -049:10:49 | -19:21:35 | MG | Prata | Da Prata | 1941 2015 | 74 |
| 64 | 60235005 | Santa Juliana | -047:38:29 | -19:18:19 | MG | Nova Ponte | Araguari | 1972 1984 | 13 |
| 65 | 60250000 | Fazenda São Matheus | -046:34:12 | -19:31:03 | MG | Ibiá | Quebra Anzol | 1949 2016 | 38 |
| 66 | 60265000 | Ibiá - Ibiá | -046:32:31 | -19:28:30 | MG | Ibiá | Misericórdia | 1946 2016 | 67 |
| 67 | 60320000 | P. J. Candido | -047:12:00 | -19:09:00 | MG | Patrocínio | Quebra Anzol | 1967 1993 | 14 |
| 68 | 60340000 | Porto Saracura | -047:56:03 | -19:04:07 | MG | Indianópolis | Araguari | 1977 1997 | 19 |
| 69 | 60360000 | Capim Branco | -048:16:00 | -18:45:00 | MG | Araguari | Araguari | 1069 2006 | 14 |
| 70 | 60350000 | Porto Monjolinho | -047:58:00 | -19:02:00 | MG | Araguari | Araguari | 1949 1975 | 27 |
| 71 | 60300000 | Antinha | -047:02:00 | -19:19:00 | MG | Perdizes | Capivara | 1952 1992 | 39 |
| 72 | 60220000 | Fazenda desemboque | -047:01:02 | -20:00:50 | MG | Sacramento | Araguari | 1955 2017 | 63 |
| 73 | 60230000 | Cachoeira Pai Joaquim | -047:32:00 | -19:29:00 | MG | Santa Juliana | Araguari | 1940 1956 | 15 |
| 74 | 60305000 | Porto da Mandioca | -047:06:00 | -19:11:00 | MG | Perdizes | Quebra Anzol | 1952 1967 | 16 |

Fonte: O autor.

6.2 Características fisiográficas

A partir da delimitação da BHRP e as sub-bacias das 74 estações, obtiveram-se os dados fisiométricos e os dados de Q_7 , Q_{90} , Q_{95} , dispostos na Tabela 4.

De acordo com a estatística descritiva referente aos dados fisiométricos observou-se que apenas a variável índice de conformação (K_c) apresentou uma distribuição simétrica aproximando de uma distribuição normal e a altitude com uma distribuição mais uniforme e valores distribuídos próximos da média.

As demais variáveis apresentaram uma distribuição de assimetria positiva com a calda direita mais acentuada, são os maiores valores distribuídos em menor quantidade. Considerando uma amplitude de classes como 6 para as variáveis, observa-se que a maioria dos dados apresentou valores distribuídos na primeira e na segunda classe.

$Q_{7,10}$ variou de 0,61 a 152,57 $m s^{-1}$ e com 61% distribuídos na primeira classe, a segunda classe com 16% e as demais 7%, 3%, 8% e 5%. O perímetro das sub-bacias variou de 74,41 a 2.071,50 km, sendo 42% distribuídos na primeira classe, a segunda classe com 31% e as demais 12%, 9%, 4% e 1%. A área de drenagem das sub-bacias variou de 87,31 a 35.489,98 km^2 , sendo 65% distribuídos na primeira classe, a segunda classe com 19% e as demais 7%, 5%, 3% e 1%.

O comprimento coaxial (L_x) das sub-bacias variou de 12,32 a 304,88 km, sendo 30% distribuídos na primeira classe, a segunda classe com 23% e as demais 19%, 12%, 9% e 7%. Já o comprimento do rio principal (L) das sub-bacias variou de 7,62 a 812,16 km, sendo 68% distribuídos na primeira classe, a segunda classe com 22% e as demais 7%, 3%, 0% e 1%. Por outro lado, a rede de drenagem (R_d) das sub-bacias variou de 247,74 a 21.689,20 km, sendo 68% distribuídos na primeira classe, a segunda classe com 22% e as demais 7%, 3%, 0% e 1%.

A altitude no ponto de exutório das sub-bacias variou de 412 a 1034 m, sendo 20% distribuídos na primeira classe, a segunda classe com 20% e as demais 23%, 19%, 12% e 5%. A Figura 12 apresenta a distribuição hipsométrica para BHRP.

Tabela 4 – Principais características morfométricas das sub-bacias da BHRP

| seq. | Código | Nome | Q _{7,10} (m ³ s ⁻¹) | Perímetro (Km) | Área de drenagem (Km ²) | Lx (km) | L (km) | Rd (km) | Altitude (m) | Ic | Kc | Dd (km.km) ⁻² |
|------|----------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|------------|---------|------------|-----------------|------|------|-----------------------------|
| 1 | 60435000 | Descoberto - chácara 89 | 0,61 | 79,41 | 87,31 | 12,32 | 7,62 | 247,74 | 1.034 | 0,14 | 2,38 | 2,84 |
| 2 | 60700000 | Anicuns | 2,72 | 166,11 | 552,61 | 30,12 | 67,34 | 294,51 | 684 | 0,05 | 1,98 | 0,53 |
| 3 | 60715000 | Fazenda Boa Vista | 12,15 | 535,92 | 4.623,04 | 112,01 | 109,68 | 2.553,92 | 587 | 0,02 | 2,21 | 0,55 |
| 4 | 60805000 | Ponte Sul Goiana | 128,70 | 1.434,11 | 29.362,33 | 230,45 | 443,19 | 15.660,92 | 427 | 0,01 | 2,34 | 0,53 |
| 5 | 60960000 | Barra do Prata | 6,35 | 322,37 | 1.100,32 | 69,92 | 32,1074 | 2.349,36 | 701 | 0,06 | 2,72 | 2,14 |
| 6 | 60430000 | Ponte Anápolis - Brasília | 10,46 | 268,79 | 1.420,72 | 46,38 | 66,545 | 722,53 | 854 | 0,03 | 2,00 | 0,51 |
| 7 | 60445000 | Estrada GO-56 (PCD INPE) | 47,95 | 663,36 | 7.326,61 | 99,11 | 45,18 | 3.721,05 | 777 | 0,01 | 2,17 | 0,51 |
| 8 | 60510010 | Engenheiro Amorim | 76,18 | 1.066,44 | 14.460,50 | 171,44 | 166,74 | 7.332,35 | 720 | 0,01 | 2,48 | 0,51 |
| 9 | 60544990 | UHE Corumbá I Montante 1 | 108,20 | 1.175,70 | 20.005,96 | 210,29 | 234,46 | 10.294,16 | 690 | 0,01 | 2,33 | 0,51 |
| 10 | 60545000 | Pires do Rio | 108,30 | 1.193,85 | 20.009,02 | 235,88 | 110,15 | 14.108,76 | 650 | 0,01 | 2,36 | 0,71 |
| 11 | 60443000 | Santo Antônio do Descoberto | 6,20 | 238,50 | 932,49 | 57,28 | 53,01 | 645,77 | 857 | 0,06 | 2,19 | 0,69 |
| 12 | 60635000 | Inhumas | 2,36 | 145,33 | 534,99 | 30,20 | 36,74 | 384,68 | 900 | 0,06 | 1,76 | 0,72 |
| 13 | 60640000 | Montante de Goiânia | 6,53 | 318,22 | 1.720,14 | 67,81 | 60,68 | 1.210,96 | 704 | 0,04 | 2,15 | 0,70 |
| 14 | 60650000 | Jusante de Goiânia | 14,19 | 422,80 | 2.811,74 | 78,72 | 41,72 | 1.526,71 | 694 | 0,03 | 2,23 | 0,54 |
| 15 | 60675000 | Aloândia | 44,62 | 933,97 | 9.757,65 | 201,66 | 376,36 | 5.283,02 | 515 | 0,02 | 2,65 | 0,54 |
| 16 | 60680000 | Ponte Meia Ponte | 43,27 | 1.220,71 | 12.304,59 | 288,19 | 518,36 | 6.708,37 | 468 | 0,02 | 3,08 | 0,55 |
| 17 | 60540000 | UHE Corumbá I Rio Piracanjuba | 15,50 | 508,29 | 3.679,31 | 106,01 | 136,62 | 2.634,66 | 690 | 0,03 | 2,35 | 0,72 |
| 18 | 60590000 | Fazenda Papua | 9,13 | 484,38 | 2.365,71 | 109,31 | 132,13 | 1.272,85 | 588 | 0,05 | 2,79 | 0,54 |
| 19 | 60591000 | UHE Itumbiara jusante pte GO-213 | 5,08 | 485,50 | 2.411,31 | 114,91 | 139,59 | 1.298,20 | 579 | 0,05 | 2,77 | 0,54 |
| 20 | 60500000 | UHE batalha rio são Bartolomeu | 19,15 | 622,56 | 3.880,84 | 117,06 | 136,48 | 1.913,68 | 758 | 0,03 | 2,80 | 0,49 |
| 21 | 60020000 | Ponte São Marcos | 17,75 | 572,76 | 3.782,83 | 134,03 | 117,73 | 1.470,71 | 775 | 0,04 | 2,61 | 0,39 |
| 22 | 60030000 | Campo Alegre de Goiás | 38,68 | 870,49 | 7.599,02 | 183,92 | 241,58 | 3.031,58 | 660 | 0,02 | 2,80 | 0,40 |

Continuação da Tabela 4

| Seq. | Código | Nome | Q _{7,10} (m ³ s ⁻¹) | Perímetro (Km) | Área de drenagem (Km ²) | Lx (km) | L (km) | Rd (km) | Altitude (m) | Ic | Kc | Dd (km.km) ⁻² |
|------|----------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|---------|--------|------------|-----------------|-------|------|-----------------------------|
| 23 | 60040000 | Fazenda São Domingos | 48,14 | 1.207,13 | 10.264,74 | 260,30 | 389,84 | 4.220,72 | 412 | 0,025 | 3,34 | 0,41 |
| 24 | 60750000 | Fazenda Nova do Turvo | 5,69 | 440,24 | 2.572,64 | 107,86 | 120,01 | 1.841,56 | 531 | 0,042 | 2,43 | 0,72 |
| 25 | 60765000 | Barra do Monjolo | 19,55 | 805,41 | 8.031,64 | 188,93 | 248,61 | 4.427,92 | 458 | 0,024 | 2,52 | 0,55 |
| 26 | 60774000 | Montividiu | 9,21 | 258,16 | 935,33 | 68,40 | 43,66 | 643,51 | 704 | 0,073 | 2,36 | 0,69 |
| 27 | 60781000 | Ponte Rodagem | 46,48 | 660,65 | 5.158,91 | 110,13 | 132,52 | 2.888,05 | 534 | 0,021 | 2,58 | 0,56 |
| 28 | 60790000 | Ponte Rio Verdão | 59,10 | 728,79 | 7.245,49 | 123,01 | 49,24 | 4.968,47 | 526 | 0,017 | 2,40 | 0,69 |
| 29 | 60798000 | Maurilândia | 87,70 | 882,40 | 11.281,54 | 163,04 | 211,81 | 7.795,83 | 445 | 0,014 | 2,33 | 0,69 |
| 30 | 60910000 | Ponte do Cedro | 5,49 | 202,96 | 606,86 | 29,83 | 21,65 | 916,00 | 659 | 0,049 | 2,31 | 1,51 |
| 31 | 60920000 | Itarumã | 110,99 | 1.092,02 | 10.328,38 | 216,83 | 186,84 | 16.882,81 | 435 | 0,021 | 3,01 | 1,63 |
| 32 | 60968000 | Cassilândia | 62,64 | 692,25 | 4.461,32 | 137,42 | 168,25 | 2.382,62 | 443 | 0,031 | 2,90 | 0,53 |
| 33 | 60772000 | Fazenda Santa Maria | 50,64 | 1.024,43 | 17.173,67 | 226,08 | 373,39 | 9.444,37 | 433 | 0,013 | 2,19 | 0,55 |
| 34 | 60900000 | Ponte_BR-364 | 23,63 | 616,67 | 2.673,49 | 70,36 | 147,19 | 2.497,51 | 433 | 0,026 | 3,34 | 0,93 |
| 35 | 60950000 | Cachoeira Alta | 88,19 | 1.130,30 | 11.781,00 | 200,62 | 157,86 | 8.015,61 | 413 | 0,017 | 2,92 | 0,68 |
| 36 | 60895000 | Ponte Rio Doce | 13,57 | 323,04 | 1.284,11 | 76,31 | 135,11 | 811,48 | 419 | 0,059 | 2,52 | 0,63 |
| 37 | 60870000 | Quirinópolis | 10,43 | 327,05 | 1.636,78 | 74,56 | 73,37 | 1.469,23 | 765 | 0,046 | 2,26 | 0,90 |
| 38 | 60300000 | Estação veríssimo | 12,10 | 437,53 | 3.174,97 | 86,55 | 117,37 | 2.283,16 | 619 | 0,027 | 2,17 | 0,72 |
| 39 | 60570080 | UHE Corumbá I Barramento | 122,11 | 1.460,84 | 27.075,55 | 304,88 | 872,16 | 12.774,96 | 584 | 0,011 | 2,49 | 0,47 |
| 40 | 60011000 | Patos de Minas (INMET) | 12,45 | 465,89 | 3.660,39 | 87,64 | 55,07 | 2.117,52 | 787 | 0,024 | 2,16 | 0,58 |
| 41 | 60012100 | Vicente Goulart - Jusante | 33,59 | 665,72 | 7.030,16 | 154,16 | 179,13 | 5.353,17 | 742 | 0,022 | 2,22 | 0,76 |
| 42 | 60145000 | Iraí de Minas - Iraí de Minas | 0,57 | 74,38 | 92,63 | 18,22 | 11,05 | 48,75 | 951 | 0,197 | 2,16 | 0,53 |
| 43 | 60150000 | Estrela do Sul | 5,44 | 302,47 | 871,13 | 43,44 | 25,70 | 821,24 | 720 | 0,050 | 2,87 | 0,94 |
| 44 | 60381000 | Faz. Letreiro Uberlândia | 4,43 | 263,51 | 767,52 | 57,23 | 60,44 | 495,59 | 800 | 0,075 | 2,66 | 0,65 |

Continuação da Tabela 4

| Seq. | Código | Nome | Q _{7,10} (m ³ s ⁻¹) | Perímetro (Km) | Área de drenagem (Km ²) | Lx (km) | L (km) | Rd (km) | Altitude (m) | Ic | Kc | Dd (km.km) ⁻² |
|------|----------|--------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|------------|-----------|------------|-----------------|--------|------|-----------------------------|
| 44 | 60381000 | Faz. Letreiro Uberlândia | 4,43 | 263,51 | 767,52 | 57,23 | 60,44 | 495,59 | 800 | 0,075 | 2,66 | 0,65 |
| 45 | 60130000 | Fazenda Cachoeira | 0,59 | 94,31 | 130,95 | 17,18 | 11,33 | 77,03 | 616 | 0,131 | 2,31 | 0,59 |
| 46 | 60845000 | Ituiutaba - Ituiutaba | 30,63 | 754,85 | 6.309,67 | 163,76 | 82,45 | 4.352,04 | 563 | 0,026 | 2,66 | 0,69 |
| 47 | 60012000 | Vicente Goulart | 33,77 | 665,27 | 7.008,45 | 147,02 | 194,59 | 3.939,28 | 742 | 0,021 | 2,23 | 0,56 |
| 48 | 60180000 | Fazenda Ponte Preta | 3,82 | 246,12 | 760,24 | 45,73 | 68,16 | 1.333,09 | 701 | 0,060 | 2,50 | 1,75 |
| 49 | 60381005 | Sucupira | 4,02 | 261,21 | 722,98 | 56,58 | 59,57 | 463,13 | 847 | 0,0783 | 2,72 | 0,64 |
| 50 | 60842000 | Br 153 Posto Tejuco | 19,62 | 553,07 | 3.736,57 | 120,63 | 60,26 | 3.350,10 | 594 | 0,0323 | 2,53 | 0,90 |
| 51 | 60272000 | Ponte Rio São João | 4,39 | 219,92 | 911,86 | 47,35 | 37,41 | 666,79 | 839 | 0,0519 | 2,04 | 0,73 |
| 52 | 60400000 | Ponte Melo Viana | 147,05 | 1.443,68 | 21.510,23 | 282,11 | 346,93 | 15.764,91 | 626 | 0,0131 | 2,76 | 0,73 |
| 53 | 60615000 | Fazenda Cachoeira 2 | 1,26 | 95,97 | 190,66 | 24,40 | 15,63 | 263,43 | 793 | 0,1280 | 1,95 | 1,38 |
| 54 | 60005000 | Fazenda Bom Jardim | 0,62 | 81,17 | 168,01 | 14,35 | 9,82 | 277,93 | 950 | 0,0854 | 1,75 | 1,65 |
| 55 | 60110000 | Abadia dos Dourados | 6,50 | 342,00 | 1.951,74 | 74,48 | 18,56 | 926,43 | 784 | 0,0382 | 2,17 | 0,47 |
| 56 | 60135000 | Estação Douradoquara | 2,90 | 286,17 | 1.120,81 | 65,98 | 77,45 | 620,26 | 613 | 0,0589 | 2,39 | 0,55 |
| 57 | 60285000 | Salitre - Patrocínio | 0,87 | 135,13 | 277,26 | 25,05 | 13,85 | 157,06 | 806 | 0,0903 | 2,27 | 0,57 |
| 58 | 60620000 | Ponte Rio Piedade | 5,49 | 321,28 | 1.720,00 | 69,45 | 61,71 | 2.570,09 | 499 | 0,0404 | 2,17 | 1,49 |
| 59 | 60855000 | Ponte do Prata | 16,00 | 632,35 | 5.165,25 | 150,51 | 122,59 | 2.697,28 | 511 | 0,0291 | 2,46 | 0,52 |
| 60 | 60856000 | Ponte BR-365 Guarinhata | 1,66 | 278,30 | 825,15 | 41,68 | 32,22 | 802,60 | 423 | 0,0505 | 2,71 | 0,97 |
| 61 | 60210000 | Ponte Veloso | 123,32 | 2.071,50 | 35.489,98 | 277,50 | 231,35 | 21.689,20 | 520 | 0,0078 | 3,08 | 0,61 |
| 62 | 60848000 | Br 153 Nossa Senhora | 3,13 | 238,28 | 844,87 | 59,83 | 19,00 | 775,56 | 610 | 0,0708 | 2,30 | 0,92 |
| 63 | 60850000 | Fazenda Buriti do Prata | 9,23 | 380,52 | 2.419,02 | 90,90 | 123,44 | 2.199,21 | 517 | 0,0376 | 2,17 | 0,91 |
| 64 | 60235005 | Santa Juliana | 32,36 | 575,01 | 3.915,42 | 141,28 | 187,38 | 1.415,85 | 750 | 0,0361 | 2,57 | 0,36 |

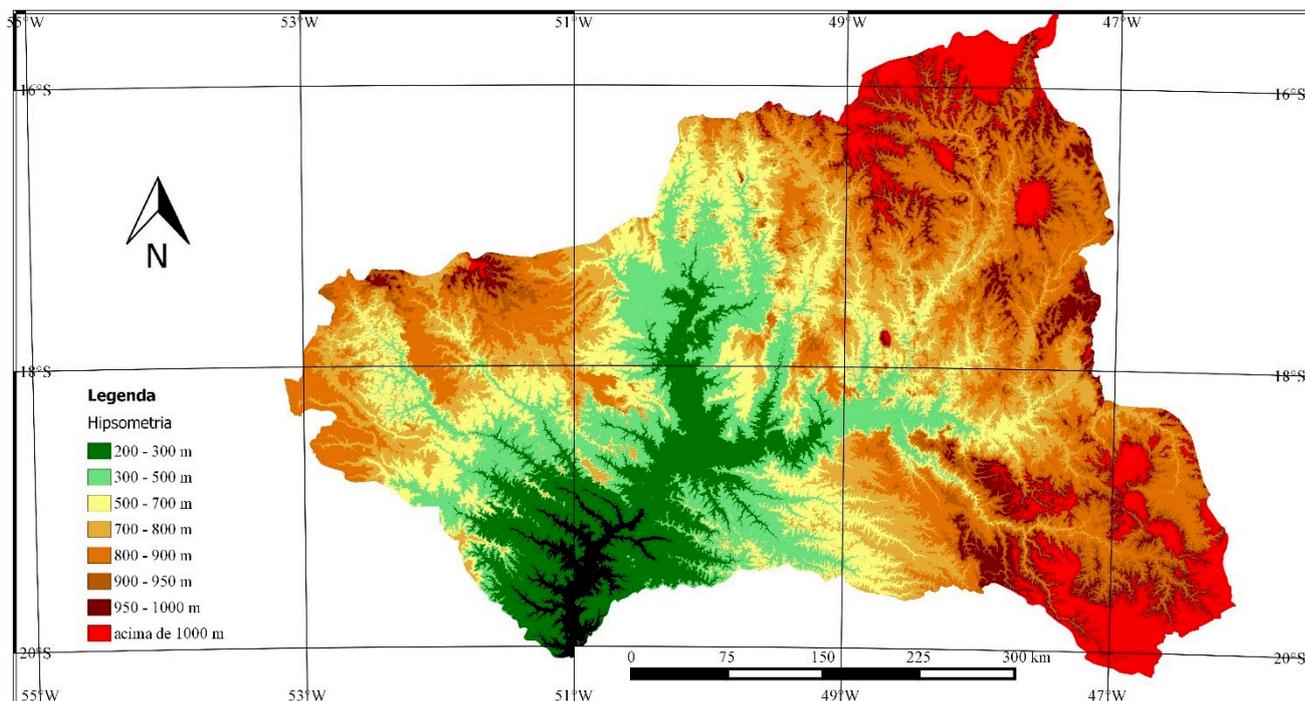
Continuação da Tabela 4

| Seq. | Código | Nome | Q _{7,10} (m ³ s ⁻¹) | Perímetro (Km) | Área de drenagem (Km ²) | L _x (km) | L (km) | Rd (km) | Altitude (m) | Ic | Kc | Dd (km.km) ⁻² |
|------|----------|-----------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|-----------------|--------|------|-----------------------------|
| 65 | 60250000 | Fazenda São Matheus | 11,46 | 243,62 | 1.195,90 | 47,49 | 38,74 | 560,86 | 852 | 0,0397 | 1,97 | 0,47 |
| 66 | 60265000 | Ibiá - Ibiá | 10,94 | 259,19 | 1.328,73 | 45,72 | 26,76 | 595,99 | 880 | 0,0344 | 1,99 | 0,45 |
| 67 | 60320000 | P. J. Candido | 60,35 | 714,49 | 8.352,04 | 121,41 | 125,09 | 3.943,00 | 780 | 0,0145 | 2,19 | 0,47 |
| 68 | 60340000 | Porto Saracura | 145,22 | 1.055,82 | 16.650,92 | 175,64 | 237,93 | 4.352,09 | 699 | 0,0105 | 2,29 | 0,26 |
| 69 | 60360000 | Capim Branco | 152,57 | 1.278,15 | 18.305,55 | 233,96 | 247,56 | 13.553,90 | 660 | 0,0128 | 2,65 | 0,74 |
| 70 | 60350000 | Porto Monjolinho | 127,03 | 1.070,73 | 16.743,02 | 188,91 | 330,67 | 3.139,42 | 650 | 0,0113 | 2,32 | 0,19 |
| 71 | 60300000 | Antinha | 9,76 | 256,03 | 1.270,73 | 54,67 | 21,95 | 618,82 | 835 | 0,0430 | 2,01 | 0,49 |
| 72 | 60220000 | Fazenda desemboque | 9,25 | 228,34 | 1.081,07 | 41,81 | 40,65 | 598,19 | 960 | 0,0387 | 1,94 | 0,55 |
| 73 | 60230000 | Cachoeira Pai Joaquim | 27,45 | 508,59 | 3.568,44 | 120,28 | 157,08 | 1.297,94 | 830 | 0,0337 | 2,38 | 0,36 |
| 74 | 60305000 | Porto da Mandioca | 54,58 | 694,39 | 7.307,37 | 234,93 | 184,04 | 2.716,17 | 788 | 0,0321 | 2,27 | 0,37 |

L_x – comprimento coaxial da sub-bacia, L – comprimento do rio principal, Rd – rede de drenagem da sub-bacia, Ic – índice de compacidade, Kc – coeficiente de compacidade e Dd – densidade de drenagem.

Fonte: O autor.

Figura 12- Representação hipsométrica da BHP. Projeção cônica de Albers



Fonte: O autor.

Observa-se na Figura 12 que as manchas na cor vermelha são as maiores altitudes e também onde estão as nascentes dos principais tributários em termos de extensão e de contribuição para o Rio Paranaíba, tais como o rio São Marcos, Corumbá e rio dos Bois ao Norte e na margem direita. Já a Sudeste temos a nascente do rio Araguari e a Oeste, o rio Verdão, todos acima de 900 m de altitude. O rio principal, o Paranaíba, tem sua nascente aos 1.148 m de altitude, porém, ela decresce e atinge uma faixa próxima aos 250m pouco antes da foz no encontro com o Rio Grande, tornando-se um dos grandes formadores do Rio Paraná. Quando comparado esses dados com a análise de frequência, percebe-se que 54% das sub-bacias estão distribuídas entre as altitudes entre 650 a 900 m o que representa a maioria, e uma minoria acima de 950 m, 5%.

A seguir apresenta-se a matriz de correlação de Pearson das variáveis explicativas e as variáveis dependentes (Tabelas, 5, 6 e 7).

Tabela 5 – Matriz de correlação de Pearson para vazão média mínima de sete dias de duração ($Q_{7,10}$) anuais de cada estação e as possíveis variáveis explicativas

| <i>MATRIZ DE CORRELAÇÃO</i> | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------------|------------|-----------|------------|-----------------|-------|-------|------------------------|----------|-------|------|
| | $Q_{7,10}$ ($m^3 s^{-1}$) | Perímetro (km) | Área de drenagem (km^2) | Lx (km) | L (km) | Rd (km) | Altitude (m) | Ic | Kc | Dd ($km km^{-2}$) | σ | μ | S |
| Q_7 ($m^3 s^{-1}$) | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| Perímetro (km) | 0,88 | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Área de drenagem (km^2) | 0,90 | 0,95 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Lx (km) | 0,81 | 0,95 | 0,86 | 1,00 | | | | | | | | | |
| L (km) | 0,65 | 0,77 | 0,74 | 0,83 | 1,00 | | | | | | | | |
| Rd (km) | 0,85 | 0,90 | 0,91 | 0,81 | 0,61 | 1,00 | | | | | | | |
| Altitude (m) | -0,34 | -0,52 | -0,39 | -0,52 | -0,46 | -0,44 | 1,00 | | | | | | |
| Ic | -0,57 | -0,67 | -0,56 | -0,66 | -0,49 | -0,52 | 0,45 | 1,00 | | | | | |
| Kc | 0,29 | 0,50 | 0,29 | 0,49 | 0,37 | 0,36 | -0,58 | -0,23 | 1,00 | | | | |
| Dd ($km km^{-2}$) | -0,23 | -0,30 | -0,26 | -0,33 | -0,30 | -0,06 | 0,11 | 0,40 | 0,01 | 1,00 | | | |
| σ | -0,41 | -0,53 | -0,40 | -0,56 | -0,41 | -0,37 | 0,42 | 0,84 | -0,29 | 0,44 | 1,00 | | |
| μ | 1,00 | 0,89 | 0,91 | 0,81 | 0,65 | 0,85 | -0,35 | -0,57 | 0,29 | -0,24 | -0,41 | 1,00 | |
| S | 0,96 | 0,91 | 0,95 | 0,81 | 0,66 | 0,86 | -0,34 | -0,56 | 0,28 | -0,26 | -0,40 | 0,97 | 1,00 |

Fonte: O autor.

Tabela 6 – Matriz de correlação de Pearson entre a vazão mínima garantida em 90% do tempo (Q_{90}) e as possíveis variáveis explicativas

| <i>MATRIZ DE CORRELAÇÃO</i> | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------|--------------------------------|------------|-----------|---------|-----------------|-------|------|------------------------|
| | Q_{90} ($m^3 s^{-1}$) | Perímetro (Km) | Área de drenagem (Km^2) | Lx (km) | L (km) | Rd (km) | Altitude (m) | Ic | Kc | Dd ($km km^{-2}$) |
| Q_{90} ($m^3 s^{-1}$) | 1,00 | | | | | | | | | |
| Perímetro (km) | 0,89 | 1,00 | | | | | | | | |
| Área de drenagem (km^2) | 0,90 | 0,95 | 1,00 | | | | | | | |
| Lx (km) | 0,81 | 0,95 | 0,86 | 1,00 | | | | | | |
| L (km) | 0,66 | 0,77 | 0,74 | 0,83 | 1,00 | | | | | |
| Rd (km) | 0,86 | 0,90 | 0,91 | 0,81 | 0,61 | 1,00 | | | | |
| Altitude (m) | -0,35 | -0,52 | -0,39 | -0,52 | -0,46 | -0,44 | 1,00 | | | |
| Ic | -0,56 | -0,67 | -0,56 | -0,66 | -0,49 | -0,52 | 0,45 | 1,00 | | |
| Kc | 0,31 | 0,50 | 0,29 | 0,49 | 0,37 | 0,36 | -0,58 | -0,23 | 1,00 | |
| Dd ($km km^{-2}$) | -0,22 | -0,30 | -0,26 | -0,33 | -0,30 | -0,06 | 0,11 | 0,40 | 0,01 | 1,00 |

Fonte: O autor.

Tabela 7 – Matriz de correlação de Pearson entre a vazão mínima garantida em 95% do tempo (Q_{95}) e as possíveis variáveis explicativas

| <i>MATRIZ DE CORRELAÇÃO</i> | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------------------------|---------|--------|------------|-----------------|-------|------|------------------------|
| | Q_{95} ($m^3 s^{-1}$) | Perímetro (km) | Área de drenagem (km^2) | Lx (km) | L (km) | Rd (km) | Altitude (m) | Ic | Kc | Dd ($km km^{-2}$) |
| Q_{95} ($m^3 s^{-1}$) | 1,00 | | | | | | | | | |
| Perímetro (km) | 0,78 | 1,00 | | | | | | | | |
| Área de drenagem (km^2) | 0,78 | 0,95 | 1,00 | | | | | | | |
| Lx (km) | 0,70 | 0,95 | 0,86 | 1,00 | | | | | | |
| L (km) | 0,50 | 0,77 | 0,74 | 0,83 | 1,00 | | | | | |
| Rd (km) | 0,76 | 0,90 | 0,91 | 0,81 | 0,61 | 1,00 | | | | |
| Altitude (m) | -0,30 | -0,52 | -0,39 | -0,52 | -0,46 | -0,44 | 1,00 | | | |
| Ic | -0,51 | -0,67 | -0,56 | -0,66 | -0,49 | -0,52 | 0,45 | 1,00 | | |
| Kc | 0,29 | 0,50 | 0,29 | 0,49 | 0,37 | 0,36 | -0,58 | -0,23 | 1,00 | |
| Dd ($km km^{-2}$) | -0,20 | -0,30 | -0,26 | -0,33 | -0,30 | -0,06 | 0,11 | 0,40 | 0,01 | 1,00 |

Fonte: O autor.

Ao analisar a matriz de correlação, descartou-se Kc e Dd por apresentarem baixa correlação e p-valor maior que 0,05. Ic foi descartado por apresentar p-valor sem relevância também.

Ao se analisar as Tabelas 5, 6 e 7, nota-se que as variáveis físicas da bacia, como a área de drenagem, o comprimento do curso d'água principal, comprimento total dos cursos de água, perímetro e comprimento axial, são fortemente correlacionadas entre si, por isso não foram utilizadas conjuntamente nos modelos, no intuito de se evitar a multicolinearidade. A variável morfométrica densidade de drenagem possui correlação moderada com as demais variáveis analisadas.

Ao se analisar o índice de conformação e o coeficiente de compacidade (Tabelas 5, 6 e 7), nota-se que eles apresentaram uma correlação muito baixa com as variáveis de resposta (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}). Em função disso, essas variáveis não foram utilizadas nos modelos hidrológicos propostos neste trabalho, corroborando Elesbon (2015), que desenvolveu uma metodologia baseada em análises estatísticas multivariadas de componentes principais, visando à identificação da variável mais representativa na regionalização de vazões da bacia hidrográfica do Rio Doce.

Essa técnica de avaliação das variáveis preditoras que influenciam as variáveis de resposta permite minimizar a redundância e a multicolinearidade entre os índices utilizados na análise (OLDEN; POFF, 2003). Ao se analisar especificamente a Tabela 5, verifica-se que os parâmetros de escala e posição (σ e μ , respectivamente) apresentam de moderada a forte correlação com as demais variáveis morfométricas, com exceção do coeficiente de compacidade e do índice de conformação.

Contudo, observa-se, para todas as variáveis de resposta, uma forte correlação com a área da bacia hidrográfica. Devido à facilidade de obtenção desse parâmetro, principalmente por meio de imagens orbitais, a área da bacia hidrográfica foi usada como variável resposta para todos os modelos propostos. Dessa mesma forma, Lopes et al. (2017) também procederam, excluindo as demais variáveis, ficando apenas com a área da bacia hidrográfica.

6.3 Identificação e delimitação de regiões homogêneas

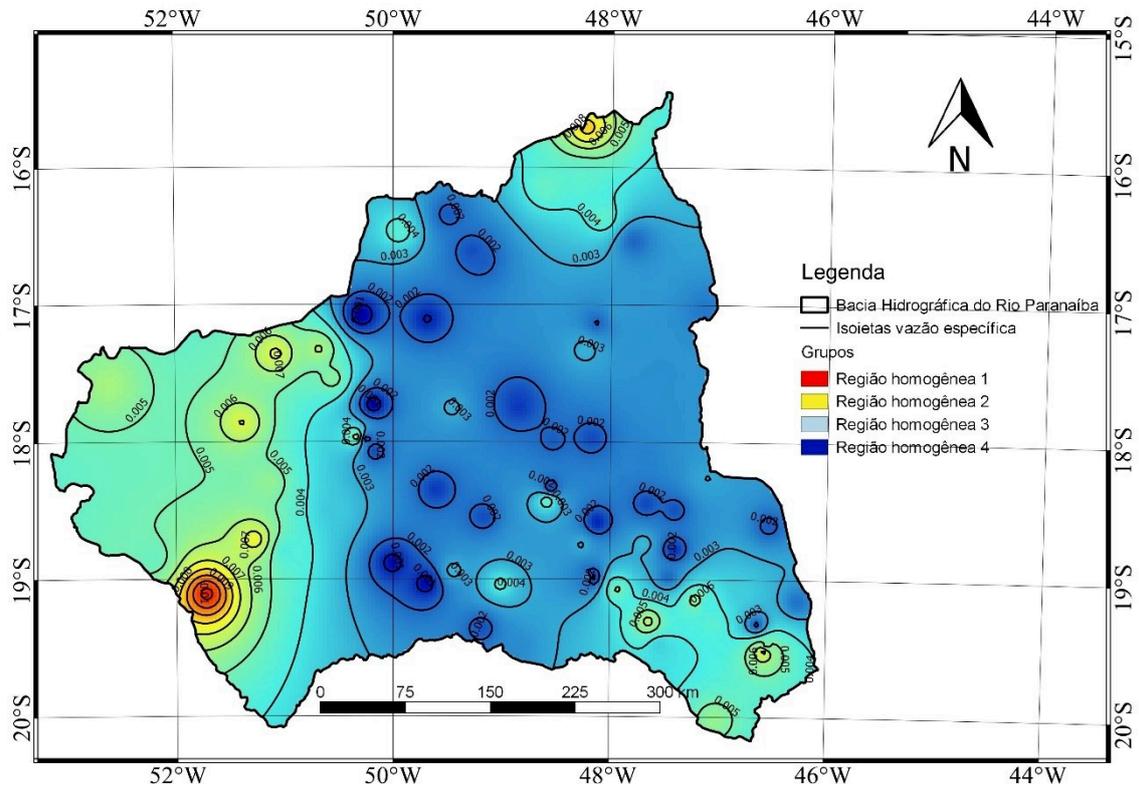
6.3.1 Interpolador IDW

A partir da série histórica de dados das 74 estações fluviométricas ao longo BHRP e pela interpolação dos dados de vazão específica, referentes a $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} , utilizando a Ponderação do Inverso das Distâncias (IDW) gerou-se o mapa com os valores de vazões específicas representados pelas isoietas para toda a bacia hidrográfica, considerando-se sua área total. As Figura 13, 14 e 15 apresentam os mapas com a formação de 4 grupos de regiões homogêneas, tanto para $Q_{7,10}$; Q_{90} e Q_{95} . Porém os grupos se diferem em algumas estações. Os resultados estimados por meio dos mapas regionalizados por IDW estão nos Apêndices A, B e C respectivamente para Q_{95} , Q_{90} e $Q_{7,10}$.

A Figura 13 representa o mapa da regionalização para a vazão específica referente a vazão mínima de 7 dias de duração anual, $Q_{7,10}$. Os resultados da $Q_{7,10}$ estimados pelo mapa (Figura 13) estão dispostos no Apêndice A. Esta regionalização apresentou o valor de vazão mais restritivo que a vazão com permanência de 90%, Q_{90} , sendo a média $Q_{7,10}$ de $20,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ contra $36,93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ da Q_{90} . O menor valor foi de $0,24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ na sub-bacia da Estação Iraí de Minas localizada na porção sudeste da BHRP no rio Bagagem em Iraí de Minas/MG a uma altitude de 951 m e uma área de drenagem de 93 km^2 , faz parte da composição da região homogênea 4. Enquanto que o maior valor de $86,04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ foi na sub-bacia de Melo Viana em Tupaciguara/MG, também localizada na porção sudeste da BHRP. Uma sub-bacia considerada mediana com $21.510,23 \text{ km}^2$ de área de drenagem no rio Araguari a 626 m de altitude, e compõe a região homogênea 3.

Conforme o mapa da regionalização de vazões para $Q_{7,10}$, Figura 13, infere-se que aproximadamente 80% das áreas são distribuídas entre as regiões homogêneas 3 e 4, apresentadas no mapa de norte a sul. Porém, em termos absolutos de sub-bacias são 87% delas. Em contrapartida, as regiões hidrologicamente homogêneas 1 e 2 já estão localizadas em Sudoeste, Sudeste e Norte, apresentadas no mapa, e em termos absolutos de sub-bacias são os 13% restantes. As estações por região hidrologicamente homogêneas são apresentadas na Tabela 8.

Figura 13 – Regiões hidrologicamente homogêneas para $Q_{7,10}$ após IDW para BHRP



Fonte: O autor.

Tabela 8 – Estações das regiões hidrologicamente homogêneas para Q_7

| Região hidrologicamente homogênea 1 | |
|--------------------------------------------|--------------------------|
| Código | Nome |
| 60968000 | Cassilândia |
| Região hidrologicamente homogênea 2 | |
| Código | Nome |
| 60435000 | Descoberto - chácara 89 |
| 60774000 | Montividiu |
| 60781000 | Ponte Rodagem |
| 60910000 | Ponte do Cedro |
| 60920000 | Itarumã |
| 60895000 | Ponte Rio Doce |
| 60235005 | Santa Juliana |
| 60250000 | Fazenda São Matheus/Ibiá |

| Região hidrologicamente homogênea 3 | |
|--------------------------------------------|---------------------------------|
| Código | Nome |
| 60700000 | Anicuns |
| 60960000 | Barra do Prata |
| 60430000 | Ponte Anápolis - Brasília |
| 60445000 | Estrada GO-56 (PCD INPE) |
| 60545000 | Pires do Rio |
| 60443000 | Santo Antônio do Descoberto |
| 60790000 | Ponte Rio Verdão |
| 60798000 | Maurilândia |
| 60900000 | Ponte_BR-364 |
| 60950000 | Cachoeira Alta |
| 60870000 | Quirinópolis |
| 60150000 | Estrela do Sul - Estrela do Sul |
| 60381000 | Faz. Letreiro Uberlândia |
| 60842000 | Br 153 Posto Tejuco |
| 60400000 | Ponte Melo Viana - Tupaciguara |
| 60285000 | Salitre - Patrocínio |
| 60265000 | Ibiá - Ibiá |
| 60320000 | P. J. Candido-Patrocínio |
| 60340000 | Porto Saracura Indianópolis |
| 60350000 | Porto Monjolinho - Indianópolis |
| 60300000 | Antinha |
| 60220000 | Fazenda Desemboque |
| 60230000 | Cachoeira Pai Joaquim |
| 60305000 | Porto da Mandioca |
| Região hidrologicamente homogênea 4 | |
| Código | Nome |
| 60715000 | Fazenda Boa Vista |
| 60805000 | Ponte Sul Goiana |

| Região hidrologicamente homogênea 4 | |
|--------------------------------------------|------------------------------------|
| Código | Nome |
| 60510010 | Engenheiro Amorim |
| 60544990 | UHE Corumbá I Montante 1 |
| 60635000 | Inhumas |
| 60640000 | Montante de Goiânia |
| 60650000 | Jusante de Goiânia |
| 60675000 | Aloândia |
| 60680000 | Ponte Meia Ponte |
| 60540000 | UHE Corumbá I Rio Piracanjuba |
| 60590000 | Fazenda Papua |
| 60591000 | UHE Itumbiara jusante ponte GO-213 |
| 60500000 | UHE batalha rio são Bartolomeu |
| 60020000 | Ponte São Marcos |
| 60030000 | Campo Alegre de Goiás |
| 60040000 | Fazenda São Domingos |
| 60750000 | Fazenda Nova do Turvo |
| 60765000 | Barra do Monjolo |
| 60772000 | Fazenda Santa Maria |
| 60300000 | Estação Veríssimo |
| 60570080 | UHE Corumbá I Barramento |
| 60011000 | Patos de Minas (INMET) |
| 60012100 | Vicente Goulart - Jusante |
| 60145000 | Iraí de Minas - Iraí de Minas |
| 60130000 | Fazenda Cachoeira |
| 60845000 | Ituiutaba - Ituiutaba |
| 60012000 | Vicente Goulart |
| 60180000 | Fazenda Ponte Preta |
| 60381005 | Sucupira |
| 60272000 | Ponte Rio São João |

| Região hidrologicamente homogênea 4 | |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|
| Código | Nome |
| 60615000 | Fazenda Cachoeira 2 |
| 60005000 | Fazenda Bom Jardim |
| 60110000 | Abadia dos Dourados |
| 60135000 | Estação Douradoquara |
| 60620000 | Ponte Rio Piedade/Monte Alegre |
| 60855000 | Ponte do Prata |
| 60856000 | Ponte BR-365 (Faz. Boa Vista) Guarinhata |
| 60210000 | Ponte Veloso |
| 60848000 | Br 153 Nossa Senhora |
| 60850000 | Fazenda Buriti do Prata |
| 60360000 | Capim Branco - Araguari |

Fonte: O autor.

Em relação à restrição hídrica no período de estiagem, as regiões homogêneas 3 e 4 apresentam média de vazão de $22,44 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ contra $25,54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ das regiões homogêneas 1 e 2. Quanto ao primeiro agrupamento, este formou-se por 1 (uma) estação, sendo que a área de drenagem é de $4.461,32 \text{ km}^2$, enquanto que a vazão média é de $49,07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o comprimento do rio principal foi de $168,25 \text{ km}$, o índice de compacidade $K_c > 1,5$.

Portanto, infere-se deste agrupamento que é sub-bacia e que não são sujeitas a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5. Já em referência ao segundo agrupamento, este formou-se por 8 (oito) estações, sendo que a área de drenagem teve um limite representado por $87,31 < A < 10.328,38 \text{ km}^2$, enquanto que as vazões variaram de $0,70 < Q_{7,10} < 72,30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o comprimento do rio principal foi de $7,62 < L < 187,38$, o índice de compacidade $K_c > 1,5$. Este grupo é formado por sub-bacias de pequeno porte e com vazões em média de $21,84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, uma maior restrição hídrica que o primeiro e terceiro grupo. Com relação a enchentes, não são sujeitas a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

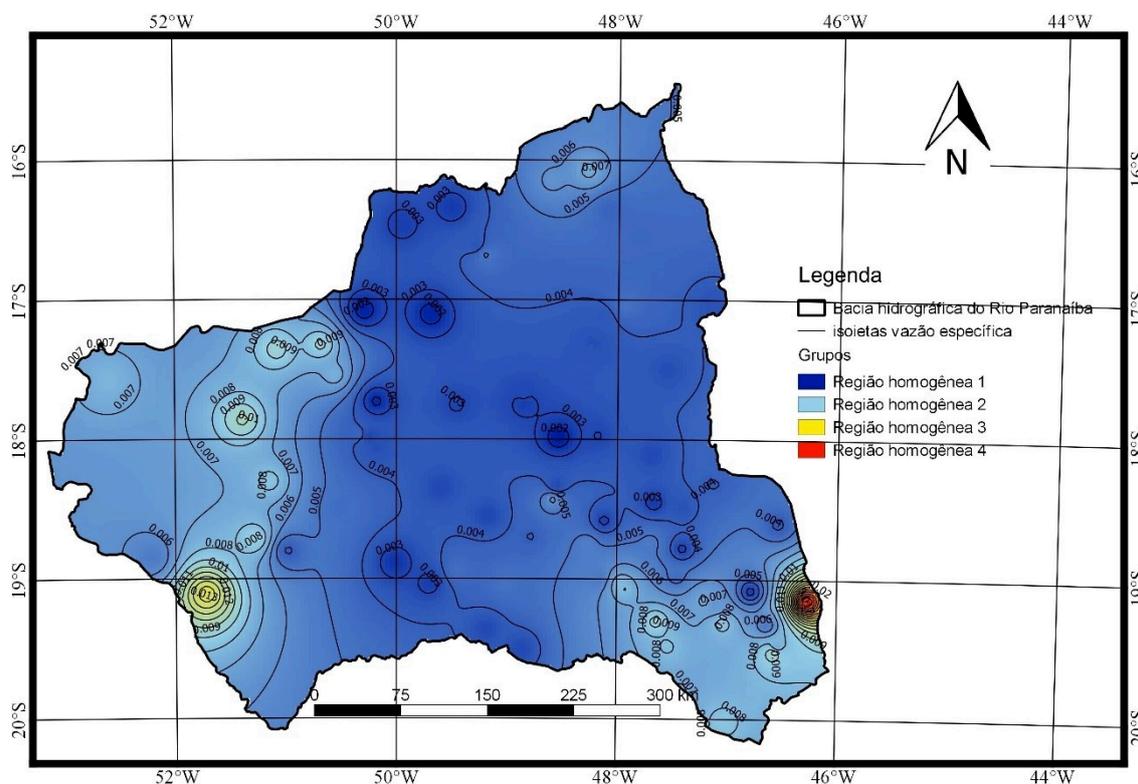
O agrupamento 3 formou-se por 20 estações, sendo que a área de drenagem teve limite representado por $277,26 < A < 35.489,98 \text{ km}^2$, enquanto que as vazões variaram de $1,00 < Q_{7,10}$

$< 86,04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o comprimento do rio principal foi de $9,82 < L < 373,39 \text{ km}$, o índice de compactidade $K_c > 1,5$. Portanto, infere-se deste agrupamento que são sub-bacias consideradas desde pequenas até uma grande bacia e com vazão média de $17,32 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ acentuadamente menor que do primeiro e segundo grupo, caracterizando uma restrição hídrica maior. Em relação a enchentes, não são sujeitas a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

O agrupamento 4 formou-se por 14 estações, sendo que a área de drenagem teve limite representado por $606,86 < A < 18.305,55 \text{ km}^2$, enquanto que as vazões variaram de $0,24 < Q_{7,10} < 70,98 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o comprimento do rio principal foi de $40,65 < L < 247,56$, o índice de compactidade $K_c > 1,5$. Portanto, infere-se deste agrupamento que são sub-bacias consideradas desde pequenas até bacia de médio porte e com vazão média de $49,49 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, maior que dos outros três grupos, caracterizando uma região de menor restrição hídrica. Em relação às enchentes nesta região, não é sujeita a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

A Figura 14 apresenta o mapa com as regiões hidrologicamente homogêneas em relação a Q_{95} . A Tabela 9 destaca as estações fluviométricas por regiões.

Figura 14 – Regiões hidrologicamente homogêneas para Q_{95} após IDW para BHRP



Fonte: O autor.

A vazão com permanência de 95%, Q_{95} , apresentou o valor mais restritivo que Q_{90} , porém menos restritivo que $Q_{7,10}$, sendo sua média $28,31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. O menor valor foi de $0,36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ na sub-bacia Fazenda Cachoeira localizada na porção sudeste da BHRP no rio Perdizes, em

Monte Carmelo/MG a uma altitude de 854 m e uma área de drenagem de 130,95 km², fazendo parte da composição da região homogênea 1. Enquanto que o maior valor foi de 135 m³ s⁻¹ na sub-bacia de Porto Saracura em Indianópolis/MG, também localizada na porção sudeste da BHRP. Uma sub-bacia considerada mediana com 16.650,92 km² de área de drenagem no rio Araguari a 711 m de altitude, e compõe a região homogênea 2.

Conforme o mapa da regionalização de vazões para Q₉₅, Figura 14, observa-se que aproximadamente 97% das áreas são distribuídas entre as regiões homogêneas 1 e 2, apresentadas no mapa de norte a sul. Em contrapartida, as regiões hidrologicamente homogêneas 3 e 4 já estão localizadas em sudoeste e sudeste, respectivamente.

Em relação à restrição hídrica no período de estiagem, as regiões homogêneas 1 e 2 apresentam média de 31,44 m³ s⁻¹, contra 65,2 m³ s⁻¹ da região homogênea 3 e 4,06 m³ s⁻¹ da região homogênea 4.

O primeiro grupo formou-se por 55 estações, sendo que a área de drenagem teve limite representado por 87,31 < A < 35.489,98 km², enquanto que as vazões variaram de 0,36 < Q₉₅ < 134 m³ s⁻¹, o comprimento do rio principal foi de 7,62 < L < 872,16 km, o índice de compactidade K_c > 1,5. Portanto, conclui-se que este grupo é compreendido por sub-bacias desde pequenas a bacias de grande porte com vazões em média de 25,19 m³ s⁻¹ e que são não sujeitas a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

O segundo grupo formou-se por 17 estações, sendo que a área de drenagem teve limite representado por 606,86 < A < 18.305,55 km², enquanto que as vazões variaram de 4,63 < Q₉₅ < 135,00 m³ s⁻¹, o comprimento do rio principal foi de 21,65 < L < 247,56 km, o índice de compactidade K_c > 1,5. Portanto, para este grupo pode-se dizer que é compreendido por sub-bacias consideradas pequenas e médias e com vazão média de 37,69 m³ s⁻¹ e que não são sujeitas a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

Tabela 9 – Estações das regiões hidrologicamente homogêneas para Q₉₅

| Região hidrologicamente homogênea 1 | |
|--------------------------------------------|------------------------------------|
| Código | Nome |
| 60435000 | Descoberto - chácara 89 |
| 60700000 | Anicuns |
| 60715000 | Fazenda Boa Vista |
| 60805000 | Ponte Sul Goiana |
| 60960000 | Barra do Prata |
| 60445000 | Estrada GO-56 (PCD INPE) |
| 60510010 | Engenheiro Amorim |
| 60544990 | UHE Corumbá I Montante 1 |
| 60545000 | Pires do Rio |
| 60443000 | Santo Antônio do Descoberto |
| 60635000 | Inhumas |
| 60640000 | Montante de Goiânia |
| 60650000 | Jusante de Goiânia |
| 60675000 | Aloândia |
| 60680000 | Ponte Meia Ponte |
| 60540000 | UHE Corumbá I Rio Piracanjuba |
| 60590000 | Fazenda Papua |
| 60591000 | UHE Itumbiara jusante ponte GO-213 |
| 60500000 | UHE batalha rio são Bartolomeu |
| 60020000 | Ponte São Marcos |
| 60030000 | Campo Alegre de Goiás |
| 60040000 | Fazenda São Domingos |
| 60750000 | Fazenda Nova do Turvo |
| 60765000 | Barra do Monjolo |

| Região hidrologicamente homogênea 1 | |
|--------------------------------------------|---------------------------------|
| Código | Nome |
| 60798000 | Maurilândia |
| 60772000 | Fazenda Santa Maria |
| 60950000 | Cachoeira Alta |
| 60870000 | Quirinópolis |
| 60300000 | Estação veríssimo |
| 60570080 | UHE Corumbá I Barramento |
| 60011000 | Patos de Minas (INMET) |
| 60012100 | Vicente Goulart - Jusante |
| 60145000 | Iraí de Minas - Iraí de Minas |
| 60150000 | Estrela do Sul - Estrela do Sul |
| 60381000 | Faz. Letreiro Uberlândia |
| 60130000 | Fazenda Cachoeira |
| 60845000 | Ituiutaba - Ituiutaba |
| 60012000 | Vicente Goulart |
| 60180000 | Fazenda Ponte Preta |
| 60381005 | Sucupira |
| 60842000 | Br 153 Posto Tejuco |
| 60272000 | Ponte Rio São João |
| 60400000 | Ponte Melo Viana - Tupaciguara |
| 60615000 | Fazenda Cachoeira 2 |
| 60110000 | Abadia dos Dourados |
| 60135000 | Estação Douradoquara |
| 60285000 | Salitre - Patrocínio |
| 60620000 | Ponte Rio Piedade/Monte Alegre |
| 60855000 | Ponte do Prata |

| Região hidrologicamente homogênea 1 | |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|
| Código | Nome |
| 60856000 | Ponte BR-365 (Faz. Boa Vista) Guarinhatã |
| 60210000 | Ponte Veloso |
| 60848000 | Br 153 Nossa Senhora |
| 60850000 | Fazenda Buriti do Prata |
| 60320000 | P. J. Candido-Patrocínio |
| 60350000 | Porto Monjolinho - Indianópolis |
| Região hidrologicamente homogênea 2 | |
| Código | Nome |
| 60430000 | Ponte Anápolis - Brasília |
| 60774000 | Montividiu |
| 60781000 | Ponte Rodagem |
| 60790000 | Ponte Rio Verdão |
| 60910000 | Ponte do Cedro |
| 60920000 | Itarumã |
| 60900000 | Ponte_BR-364 |
| 60895000 | Ponte Rio Doce |
| 60235005 | Santa Juliana |
| 60250000 | Fazenda São Matheus/Ibiá |
| 60265000 | Ibiá - Ibiá |
| 60340000 | Porto Saracura Indianópolis |
| 60360000 | Capim Branco - Araguari |
| 60300000 | Antinha |
| 60220000 | Fazenda Desemboque |
| 60230000 | Cachoeira Pai Joaquim |
| 60305000 | Porto da Mandioca |

| Região hidrologicamente homogênea 3 | |
|--------------------------------------------|--------------------|
| Código | Nome |
| 60968000 | Cassilândia |
| Região hidrologicamente homogênea 4 | |
| Código | Nome |
| 60005000 | Fazenda Bom Jardim |

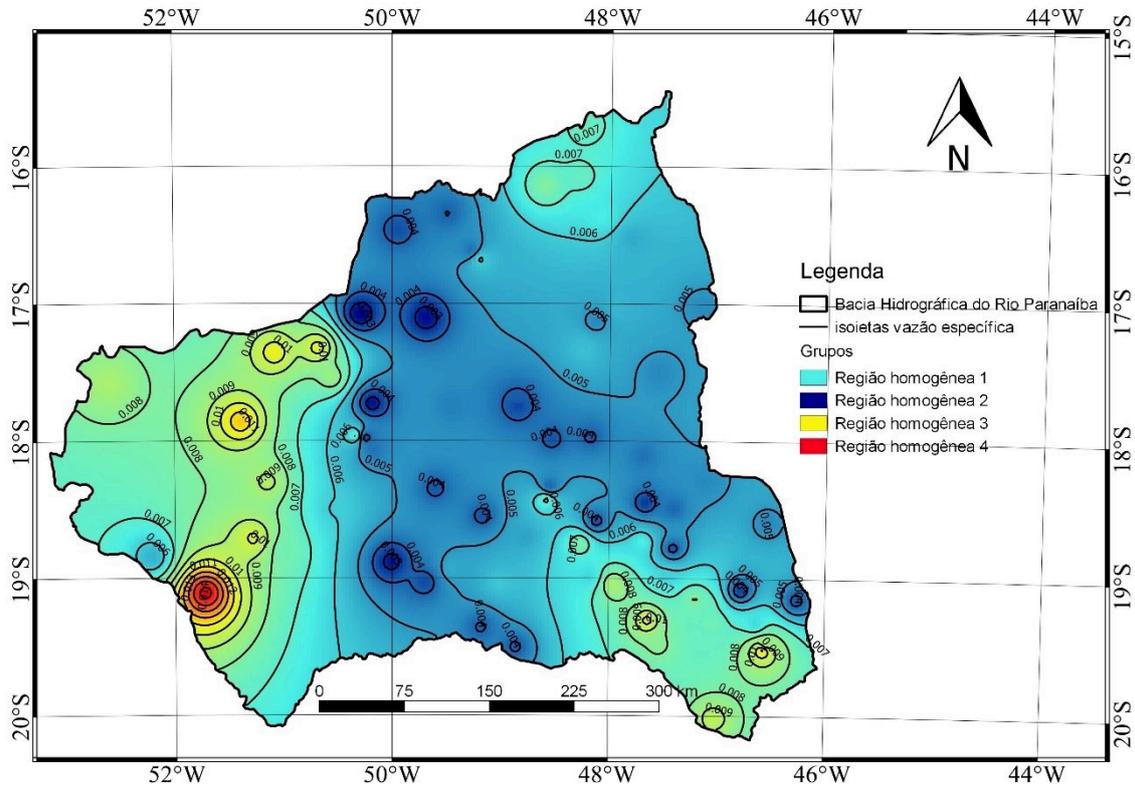
Fonte: O autor.

O grupo 3 formou-se por 1 estação, sendo que a área de drenagem é de 4.461,32 km², enquanto que a vazão é de 65,20 m³ s⁻¹, o comprimento do rio principal é de 168,25km, o índice de compacidade $K_c > 1,5$. Portanto, infere-se que este grupo que é composto por uma sub-bacia pequena e que em relação a enchentes, não está sujeita a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

O grupo 4 formou-se por 1 estação, sendo a área de drenagem de 168,01 km², enquanto que a vazão é de 4,06 m³ s⁻¹, o comprimento do rio principal é 9,82 km, o índice de compacidade $K_c > 1,5$. Portanto, infere-se deste agrupamento que é uma sub-bacia de porte pequeno e que em relação as enchentes, esta região não é sujeita a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

O mapa da região hidrologicamente homogênea para a BHRP em relação a Q_{90} está representado pela Figura 15 e na Tabela 10 estão as estações pelas regiões.

Figura 15 – Regiões hidrologicamente homogêneas para Q_{90} após IDW para BHRP



Fonte: O autor.

A vazão com permanência de 90%, Q_{90} , apresentou o valor médio de vazão de $36,94 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo, então, a vazão de referência menos restritiva, conforme já comparado em tópicos anteriores. O menor valor de vazão foi de $0,59 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para a sub-bacia Descoberto - Chácara 89, localizada na porção norte da BHRP no rio Descoberto em Brasília/DF, a uma altitude de 1.034 m e uma área de drenagem de 87 km^2 , fazendo parte da composição da região homogênea 1. Enquanto que o maior valor foi de $178,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ na sub-bacia de Capim Branco em Araguari/MG, localizada na porção sudeste da BHRP. Uma sub-bacia considerada mediana com 18.306 km^2 de área de drenagem no rio Araguari a 660 m de altitude, e compõe a região homogênea 1.

Conforme o mapa da regionalização de vazões para Q_{90} , Figura 15, observa-se que aproximadamente 90% das áreas são distribuídas entre as regiões homogêneas 1 e 2 apresentadas no mapa majoritariamente de Norte a Sul. Em contrapartida, as regiões hidrologicamente homogêneas 3 e 4 estão localizadas em Sudoeste e Sudeste.

Em relação a restrição hídrica no período de estiagem, as regiões homogêneas 1 e 2 são mais restritivas, pois apresentam uma média de vazão de $42,84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ contra $52,69 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ das regiões homogêneas 3 e 4.

O primeiro grupo formou-se por 18 estações, sendo que a área de drenagem teve limite representado por $87,31 < A < 21.510,23 \text{ km}^2$, enquanto que as vazões variaram de $0,59 < Q_{90} < 178,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o comprimento do rio principal foi de $21,95 < L < 346,93 \text{ km}$, o índice de compacidade $K_c > 1,5$. Esse grupo apresentou sub-bacias pequenas a bacias consideradas de médio porte com vazão média de $58,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e que são não sujeitas a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

O segundo grupo formou-se por 49 estações, sendo que a área de drenagem teve limite representado por $92,63 < A < 35.489,98 \text{ km}^2$, enquanto que as vazões variaram de $0,61 < Q_{90} < 142 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o comprimento do rio principal foi de $9,82 < L < 872,16 \text{ km}$ e o índice de compacidade $K_c > 1,5$. Portanto, infere-se deste grupo que é composto por sub-bacias consideradas desde pequenas, médias e também bacia de grande porte, e que são não sujeitas a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

Tabela 10 – Estações das regiões hidrologicamente homogêneas para Q_{90}

| Região hidrologicamente homogênea 1 | |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| Código | Nome |
| 60435000 | Descoberto - chácara 89 |
| 60430000 | Ponte Anápolis - Brasília |
| 60443000 | Santo Antônio do Descoberto |
| 60790000 | Ponte Rio Verdão |
| 60798000 | Maurilândia |
| 60910000 | Ponte do Cedro |
| 60900000 | Ponte_BR-364 |
| 60950000 | Cachoeira Alta |
| 60400000 | Ponte Melo Viana - Tupaciguara |
| 60265000 | Ibiá - Ibiá |

| Região hidrologicamente homogênea 1 | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Código | Nome |
| 60320000 | P. J. Candido-Patrocínio |
| 60340000 | Porto Saracura Indianópolis |
| 60360000 | Capim Branco - Araguari |
| 60350000 | Porto Monjolinho - Indianópolis |
| 60300000 | Antinha |
| 60220000 | Fazenda Desemboque |
| 60230000 | Cachoeira Pai Joaquim |
| 60305000 | Porto da Mandioca |
| Região hidrologicamente homogênea 2 | |
| Código | Nome |
| 60700000 | Anicuns |
| 60715000 | Fazenda Boa Vista |
| 60805000 | Ponte Sul Goiana |
| 60960000 | Barra do Prata |
| 60445000 | Estrada GO-56 (PCD INPE) |
| 60510010 | Engenheiro Amorim |
| 60544990 | UHE Corumbá I Montante 1 |
| 60545000 | Pires do Rio |
| 60635000 | Inhumas |
| 60640000 | Montante de Goiânia |
| 60650000 | Jusante de Goiânia |
| 60675000 | Aloândia |
| 60680000 | Ponte Meia Ponte |
| 60540000 | UHE Corumbá I Rio Piracanjuba |

| Região hidrologicamente homogênea 2 | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Código | Nome |
| 60591000 | UHE Itumbiara jusante ponte GO-213 |
| 60500000 | UHE batalha rio são Bartolomeu |
| 60020000 | Ponte São Marcos |
| 60030000 | Campo Alegre de Goiás |
| 60040000 | Fazenda São Domingos |
| 60750000 | Fazenda Nova do Turvo |
| 60765000 | Barra do Monjolo |
| 60772000 | Fazenda Santa Maria |
| 60870000 | Quirinópolis |
| 60300000 | Estação veríssimo |
| 60570080 | UHE Corumbá I Barramento |
| 60011000 | Patos de Minas (INMET) |
| 60012100 | Vicente Goulart - Jusante |
| 60145000 | Iraí de Minas - Iraí de Minas |
| 60150000 | Estrela do Sul - Estrela do Sul |
| 60381000 | Faz. Letreiro Uberlândia |
| 60130000 | Fazenda Cachoeira |
| 60845000 | Ituiutaba - Ituiutaba |
| 60012000 | Vicente Goulart |
| 60180000 | Fazenda Ponte Preta |
| 60381005 | Sucupira |
| 60842000 | Br 153 Posto Tejuco |
| 60272000 | Ponte Rio São João |
| 60615000 | Fazenda Cachoeira 2 |

| Região hidrologicamente homogênea 2 | |
|-------------------------------------|------------------------------------------|
| Código | Nome |
| 60005000 | Fazenda Bom Jardim |
| 60110000 | Abadia dos Dourados |
| 60135000 | Estação Douradoquara |
| 60285000 | Salitre - Patrocínio |
| 60620000 | Ponte Rio Piedade/Monte Alegre |
| 60855000 | Ponte do Prata |
| 60856000 | Ponte BR-365 (Faz. Boa Vista) Guarinhatã |
| 60210000 | Ponte Veloso |
| 60848000 | Br 153 Nossa Senhora |
| 60850000 | Fazenda Buriti do Prata |
| Região hidrologicamente homogênea 3 | |
| Código | Nome |
| 60774000 | Montividiu |
| 60781000 | Ponte Rodagem |
| 60920000 | Itarumã |
| 60895000 | Ponte Rio Doce |
| 60235005 | Santa Juliana |
| 60250000 | Fazenda São Matheus/Ibiá |
| Região hidrologicamente homogênea 4 | |
| Código | Nome |
| 60968000 | Cassilândia |

Fonte: O autor.

O grupo 3 formou-se por 6 estações, sendo que a área de drenagem teve limite representado por $935,33 < A < 10.328,38 \text{ km}^2$, enquanto que as vazões variaram de $9,93 < Q_{90} < 118,00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o comprimento do rio principal foi de $38,74 < L < 187,38 \text{ km}$, o índice de

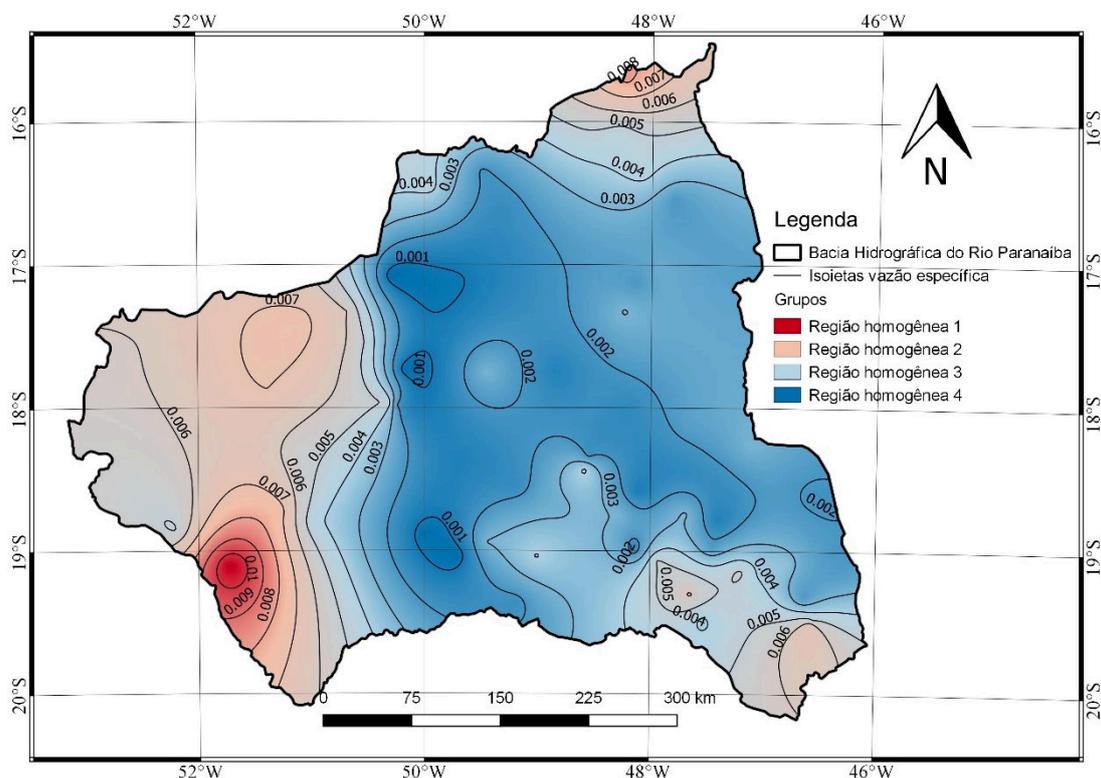
compacidade $K_c > 1,5$. Portanto, infere-se deste grupo que é composto por sub-bacias pequenas e médias e com uma vazão média de $40,08 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Em relação a enchentes, são não sujeitas a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

O agrupamento 4 formou-se por 1 estação, sendo que a área de drenagem é de $4.461,32 \text{ km}^2$, enquanto que a vazão é de $65,30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o comprimento do rio principal é de 168 km, o índice de compacidade $K_c > 1,5$. Portanto, infere-se deste grupo que é composto por uma sub-bacia considerada pequena e que em relação as enchentes, esta região não é sujeita a grandes enchentes, devido ao K_c ser maior que 1,5.

6.3.2 Interpolação utilizando krigagem ordinária

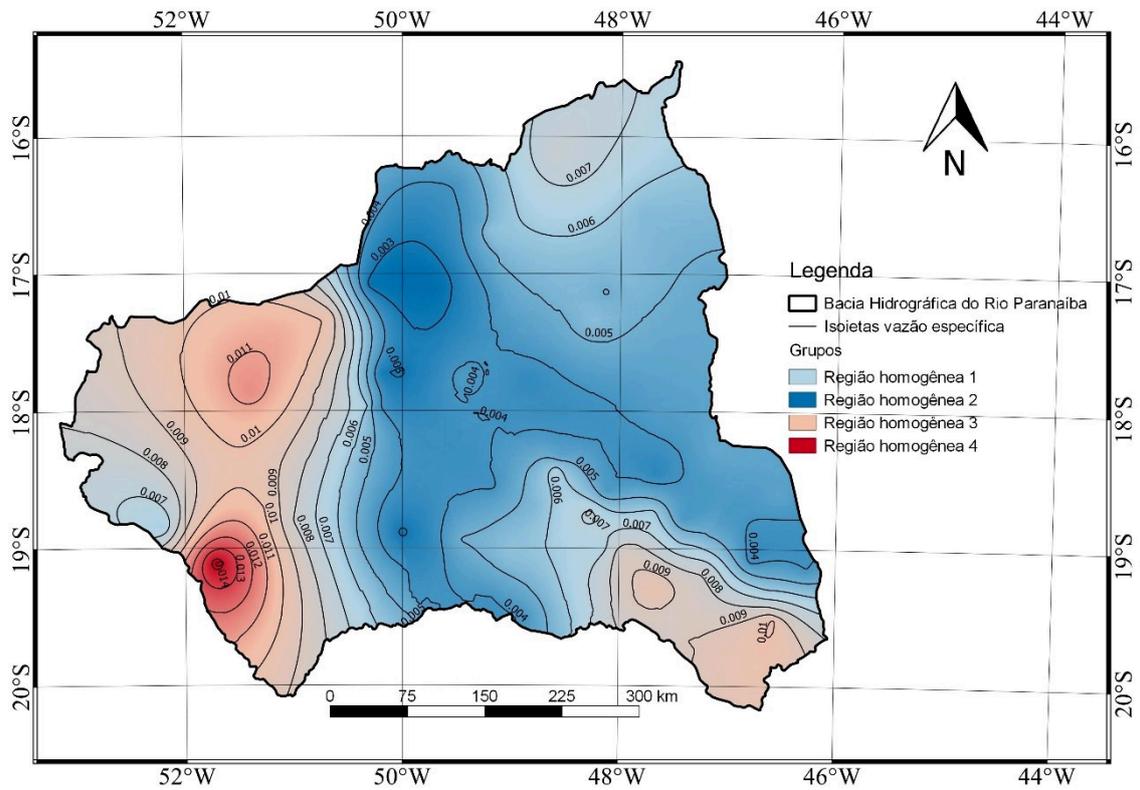
Realizou-se o estudo de interpolação pela krigagem ordinária para as vazões de permanência de $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} , com o objetivo de comparar os resultados obtidos pelo interpolador IDW. As Figuras 16, 17 e 18 representam os mapas regionalizados por krigagem ordinária para as vazões específicas referente as vazões de permanência de $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} . Os resultados estimados por meio dos mapas regionalizados por KO estão nos Apêndices A, B e C respectivamente para Q_{95} , Q_{90} e $Q_{7,10}$.

Figura 16 – Mapa regionalizado por interpolação krigagem ordinária para $Q_{7,10}$



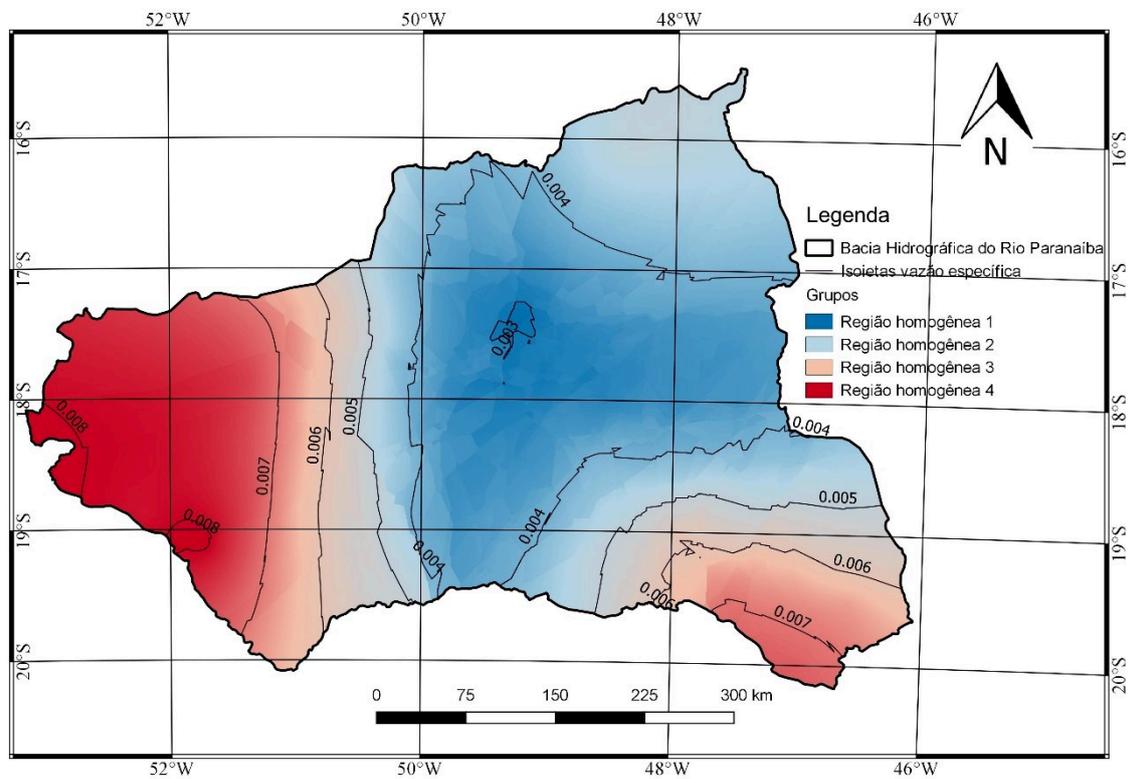
Fonte: O autor.

Figura 17 – Mapa regionalizado por interpolação krigagem ordinária para Q_{90} .



Fonte: O autor.

Figura 18 – Mapa regionalizado por interpolação krigagem ordinária para Q_{95} .



Fonte: O autor.

Ao comparar a Figura 16 com a Figura 13 e a Figura 17 com a Figura 14, observa-se grande semelhança (silhueta dos mapas) nos agrupamentos formados, e realmente são as mesmas estações em cada grupo formado. Porém, o valor das isoietas difere levando a resultados diferenciados dos valores de vazões estimados de $Q_{7,10}$ e Q_{90} para KO quando comparados com IDW. Entretanto, isto não ocorreu para as Figuras 18 e 15, estas têm uma diferença mais acentuada entre elas.

A interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas. O raciocínio que está na base da interpolação é que, em média, os valores do atributo tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados. Esse conceito também fundamenta a base das relações espaciais entre fenômenos geográficos, utilizando a correlação espacial como meio de diferença dos atributos estimados (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Apesar de o pressuposto ser basicamente o mesmo, de que existem semelhanças das características entre pontos mais próximos e, portanto, os elementos mais próximos ganham um peso maior, existe uma fundamental diferença no momento da interpolação. O método de krigagem ordinária, quando existem dois ou mais pontos próximos ao que será interpolado, dá o peso maior para apenas um deles, pois considera que este ponto já influenciou o que será interpolado. Ao contrário, nota-se uma das características do método IDW, que é a geração de muitas “ilhas” de dados, áreas pequenas envoltas por áreas maiores de valores diferentes de vazão específica (bem evidenciado nas Figuras 13, 14 e 15).

A geração de “ilhas” de dados, segundo a equação 3 (item 4.5.2), deve-se ao fato de que conforme a distância do ponto a ser interpolado, em relação a um ponto com dados, tende a zero, o peso da influência desse ponto sobre o ponto a ser interpolado tende a infinito, o que, de acordo com a equação 2 (item 4.5.2), leva ao fato de que a região ao redor de um ponto com dados será influenciada praticamente apenas por ele, podendo gerar tais “ilhas” ao redor de pontos de dados.

A Figura 15, Q_{95} (IDW) segue o mesmo formato das Figuras 14 e 16, apresentando várias ilhas, seguindo o mesmo comportamento. Contudo, na Figura 18, Q_{95} (KO) não apresenta estas ilhas e as isoietas se destacam mais afastadas e com valores diferenciados, o que implicará nos cálculos de eficiência do modelo como veremos na seção 6.7, Figura 25.

6.4 Limites de utilização da regionalização da $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} - Método IDW

Os limites das isoietas em cada mapa diferenciam as regiões homogêneas, Figuras 13 a 15, na BHRP. Os limites de utilização estão dispostos nas Tabelas 11, 12 e 13 para as vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} , respectivamente.

Tabela 11 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões $Q_{7,10}$

| Regiões homogêneas | Limites Q_s para aplicação |
|--------------------|---------------------------------|
| 1 | $Q_s^1 \leq 0,00312$ |
| 2 | $0,00312 \leq Q_s \leq 0,00584$ |
| 3 | $0,00584 \leq Q_s \leq 0,00856$ |
| 4 | $Q_s \geq 0,00856$ |

¹ Vazão específica interpolada no mapa de regionalização ($m^3 (s \text{ km}^2))^{-1}$)

Tabela 12 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões Q_{90}

| Regiões homogêneas | Limites Q_s para aplicação |
|--------------------|---------------------------------|
| 1 | $Q_s^1 \leq 0,00548$ |
| 2 | $0,00548 \leq Q_s \leq 0,00876$ |
| 3 | $0,00876 \leq Q_s \leq 0,012$ |
| 4 | $Q_s \geq 0,012$ |

¹ Vazão específica interpolada no mapa de regionalização ($m^3 (s \text{ km}^2))^{-1}$)

Tabela 13 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões Q_{95}

| Regiões homogêneas | Limites Q_s para aplicação |
|--------------------|--------------------------------|
| 1 | $Q_s^1 \leq 0,00688$ |
| 2 | $0,00688 \leq Q_s \leq 0,0126$ |
| 3 | $0,0126 \leq Q_s \leq 0,0184$ |
| 4 | $Q_s \geq 0,0184$ |

¹ Vazão específica interpolada no mapa de regionalização ($m^3 (s \text{ km}^2))^{-1}$)

Fonte: O autor.

6.5 Limites de utilização da regionalização da $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} Método KO

Os limites das isoietas em cada mapa diferenciam as regiões homogêneas (Figuras 16 a 18) na BHRP. Os limites de utilização estão dispostos nas Tabelas 14, 15 e 16 para as vazões de referências $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} respectivamente.

Tabela 14 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões $Q_{7,10}$

| Regiões homogêneas | Limites Q_s para aplicação |
|--------------------|---------------------------------|
| 1 | $Q_s^1 \leq 0,00321$ |
| 2 | $0,00321 \leq Q_s \leq 0,00581$ |
| 3 | $0,00581 \leq Q_s \leq 0,00842$ |
| 4 | $Q_s > 0,00842$ |

¹ Vazão específica interpolada no mapa de regionalização ($m^3 (s \text{ km}^2))^{-1}$)

Tabela 15 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões Q_{90}

| Regiões homogêneas | Limites Q_s para aplicação |
|--------------------|---------------------------------|
| 1 | $Q_s^1 \leq 0,00544$ |
| 2 | $0,00544 \leq Q_s \leq 0,00841$ |
| 3 | $0,00841 \leq Q_s \leq 0,0114$ |
| 4 | $Q_s > 0,0114$ |

¹ Vazão específica interpolada no mapa de regionalização ($m^3 (s \text{ km}^2))^{-1}$)

Tabela 16 - Intervalos de vazões específicas interpoladas no mapa de regionalização para vazões Q_{95}

| Regiões homogêneas | Limites Q_s para aplicação |
|--------------------|---------------------------------|
| 1 | $Q_s^1 \leq 0,00415$ |
| 2 | $0,00415 \leq Q_s \leq 0,00547$ |
| 3 | $0,00547 \leq Q_s \leq 0,00678$ |
| 4 | $Q_s \geq 0,00678$ |

¹ Vazão específica interpolada no mapa de regionalização ($m^3 (s \text{ km}^2))^{-1}$)

Fonte: O autor.

6.6 Comparação dos valores de $Q_{7,10}$ estimados pelo modelo obtido neste trabalho com aqueles estimados pelo Atlas Digital das Águas de Minas e Deflúvios Superficiais de Minas Gerais

Um dos objetivos deste trabalho é a comparação do modelo de regionalização da $Q_{7,10}$, obtido neste trabalho, e aqueles já amplamente utilizados no Estado de Minas Gerais para a estimativa dessa vazão. Entre eles, está o “Deflúvios Superficiais de Minas Gerais” e o “Atlas Digital das Águas de Minas”. O primeiro, para ser utilizado, necessita, como dados de entrada, somente a localização do ponto da captação da água por parte do usuário e da área da bacia hidrográfica delimitada a partir desse ponto.

Neste trabalho, foram obtidas as $Q_{7,10}$ por meio do Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, na seção de controle de cada estação fluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Uma vez estipulado o local da captação e conhecendo-se a área de drenagem da sub-bacia hidrográfica, de acordo com o item 5.6, deste estudo, obtiveram-se os valores calculados para $Q_{7,10}$ em cada ponto (Apêndice C). Ressalta-se que a determinação do rendimento específico médio mensal foi realizada, na maioria dos casos, por meio de interpolação linear entre as duas isoietas mais próximas do ponto de interesse.

Em relação ao Atlas Digital das Águas de Minas, a regionalização proposta nessa publicação se ancora em uma única equação potencial (seção 5.7 deste trabalho) para a estimativa da $Q_{7,10}$ em toda a BHRP (MG). Para o seu uso, essa equação exige como variável independente somente a área da bacia hidrográfica, delimitada a partir do ponto de interesse. O desempenho dos modelos propostos (IDW e KO) neste trabalho para o cálculo da $Q_{7,10}$ para MG (margem esquerda da BHRP), em comparação com as metodologias propostas no Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e no Atlas Digital das Águas de Minas, pode ser visualizado na Figura 19. Já a Figura 20 mostra a comparação dos métodos propostos (IDW e KO) para os estados GO, MS e DF na BHRP em sua margem direita.

Nas duas Figuras, os dados da $Q_{7,10}$ estimados pelos quatro modelos estão sendo confrontados com os valores dessa vazão, calculados por meio do modelo estimado. Nessas figuras, a reta 1:1 se refere ao ajuste perfeito.

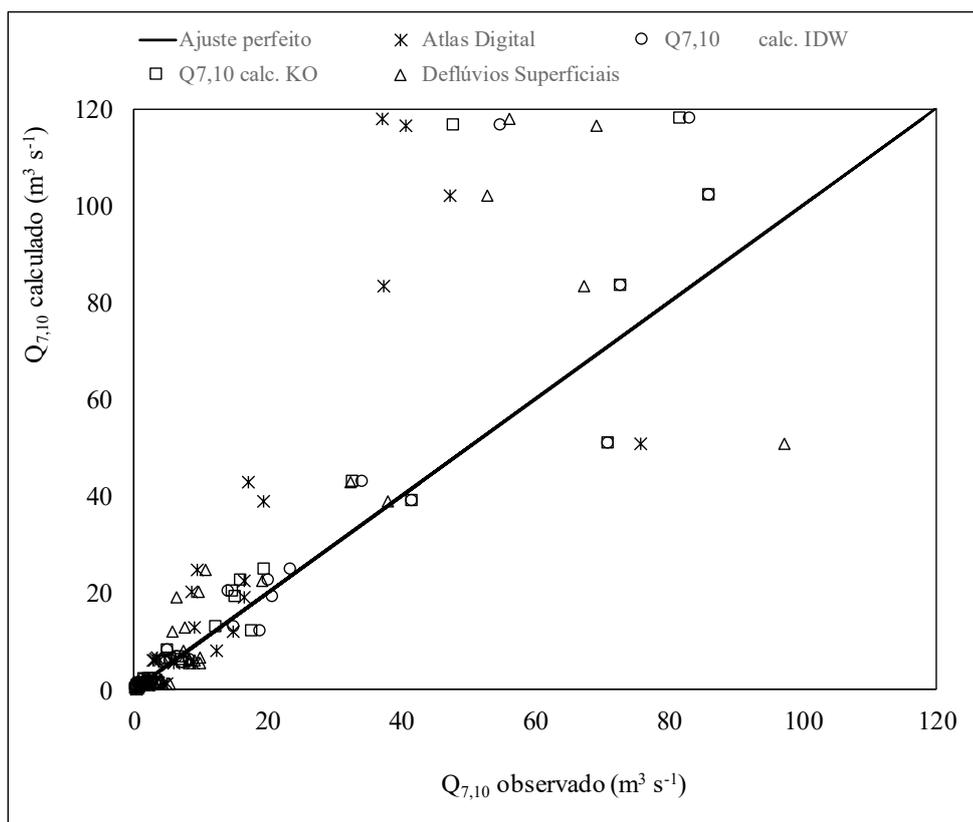
Ao se analisar a Figura 19, a qual reúne os resultados da $Q_{7,10}$ para a região de MG (margem esquerda da BHRP), nota-se que o modelo proposto neste trabalho (seções 6.3.1 e 6.3.2) alcançou um resultado superior ao do Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e muito superior ao do Atlas Digital das Águas de Minas. Esse melhor desempenho é aferido tanto pela

reta 1:1 como também pelo resultado do teste de Nash-Sutcliffe (COE). Em relação a esse teste, valores próximos da unidade e positivos indicam melhor eficiência do modelo hidrológico.

Não obstante, quando se analisa os resultados na região referente à margem direita, contidos na Figura 20, nota-se que o método IDW foi de uma acurácia maior que para o KO. Observando que para os estados de GO, MS e DF, não existem trabalhos do Atlas Digital e Deflúvios Superficiais e, por isso, os modelos foram comparados entre si e o modelo (modelagem).

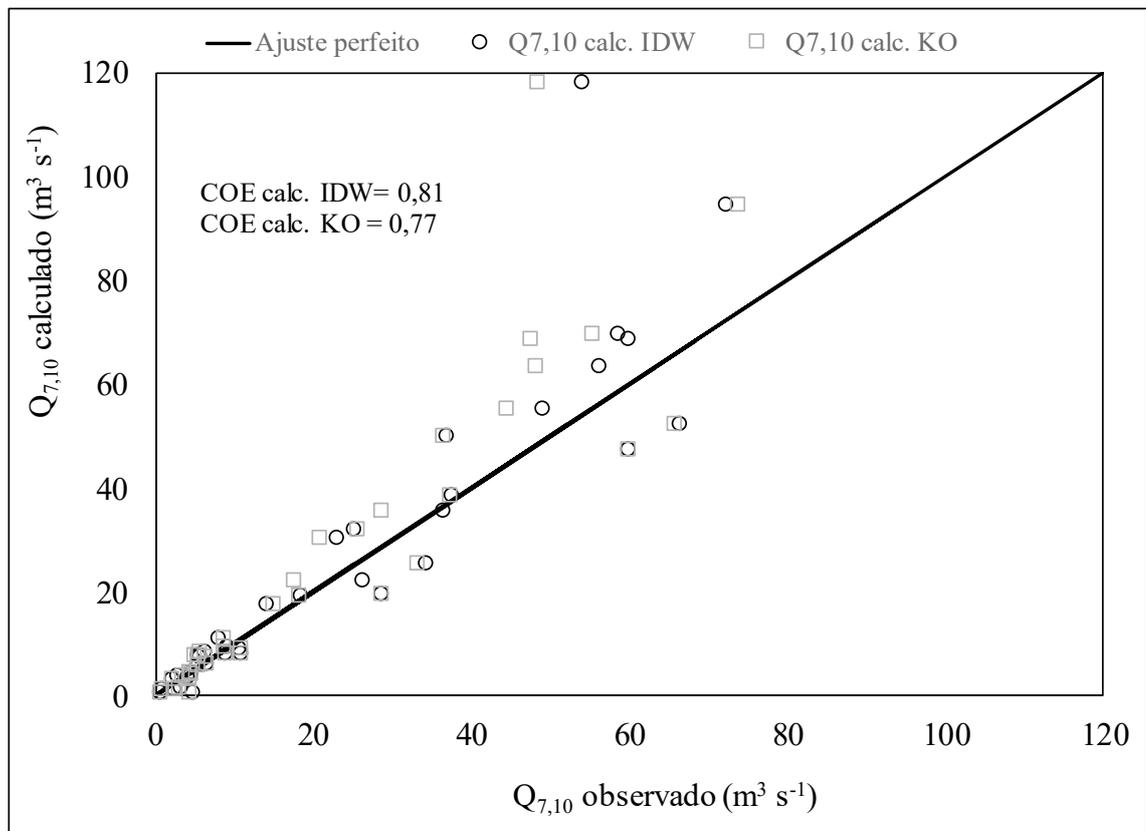
O “Atlas Digital das Águas de Minas” apresentou o pior desempenho entre os três modelos, independentemente da região homogênea. Isso se deve ao fato de ele utilizar uma única equação para a estimativa da $Q_{7,10}$ em toda a BHRP, com procedimentos de regionalização muito incipientes.

Figura 19 - Comparação dos resultados da $Q_{7,10}$ para a região Minas Gerais, obtidos diretamente do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado), pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (Deflúvios) e por meio do Atlas Digital das Águas de Minas (Atlas). COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe.



Fonte: O autor.

Figura 20 - Comparação dos resultados da Q_{7,10} para a região GO, MS e DF, obtidos diretamente do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado). COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe.



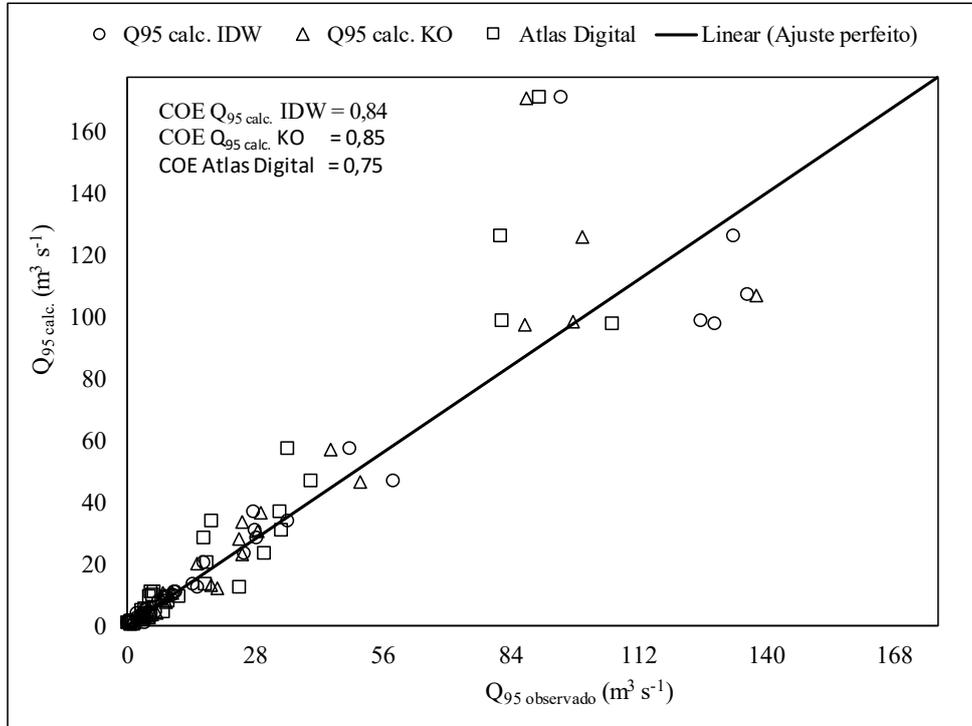
Fonte: O autor.

6.7 Comparação dos valores de Q₉₅ calculados pelo modelo obtido neste trabalho com aqueles estimados pelo Atlas Digital das Águas

A Figura 21 representa a comparação dos resultados da Q₉₅ para a região Minas Gerais, obtidos diretamente por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado) pelos métodos de IDW e KO, pelo e por meio do Atlas Digital das Águas de Minas (Atlas). COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe.

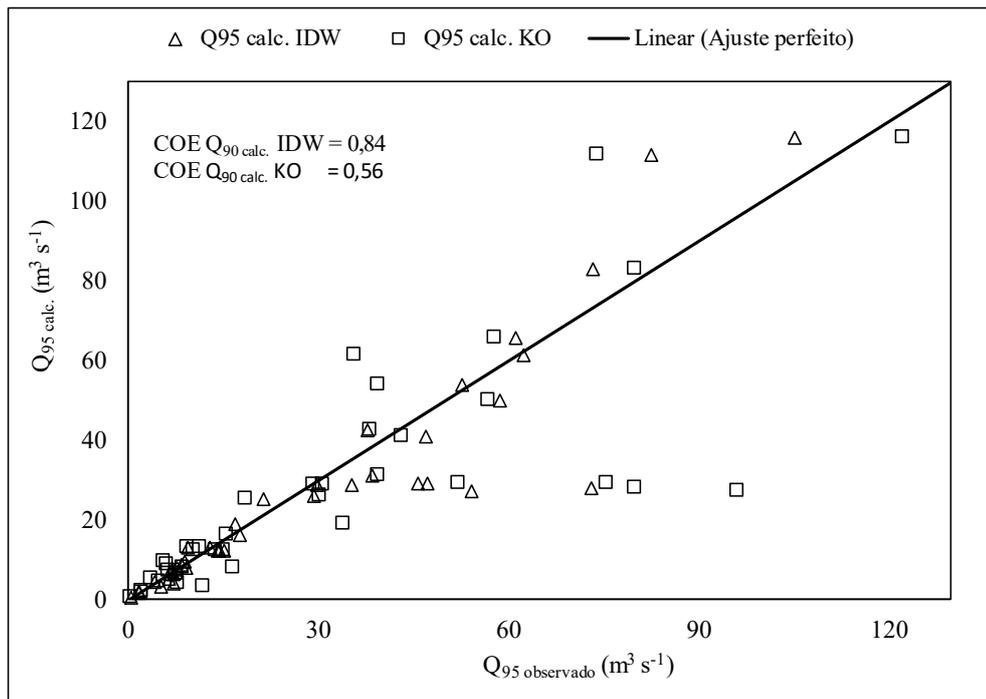
A Figura 22 representa a comparação dos resultados da Q₉₅ para as regiões de GO, MS e DF, obtidos diretamente por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado) pelos métodos de IDW e KO.

Figura 21 - Comparação dos resultados da Q₉₅ para a região Minas Gerais, obtidos diretamente por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado), pelos métodos IDW e KO e por meio do Atlas Digital das Águas de Minas (Atlas). COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe.



Fonte: O autor.

Figura 22 - Comparação dos resultados da Q₉₅ para as regiões de GO, MS e DF, obtidos diretamente por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado) IDW e KO. COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe.



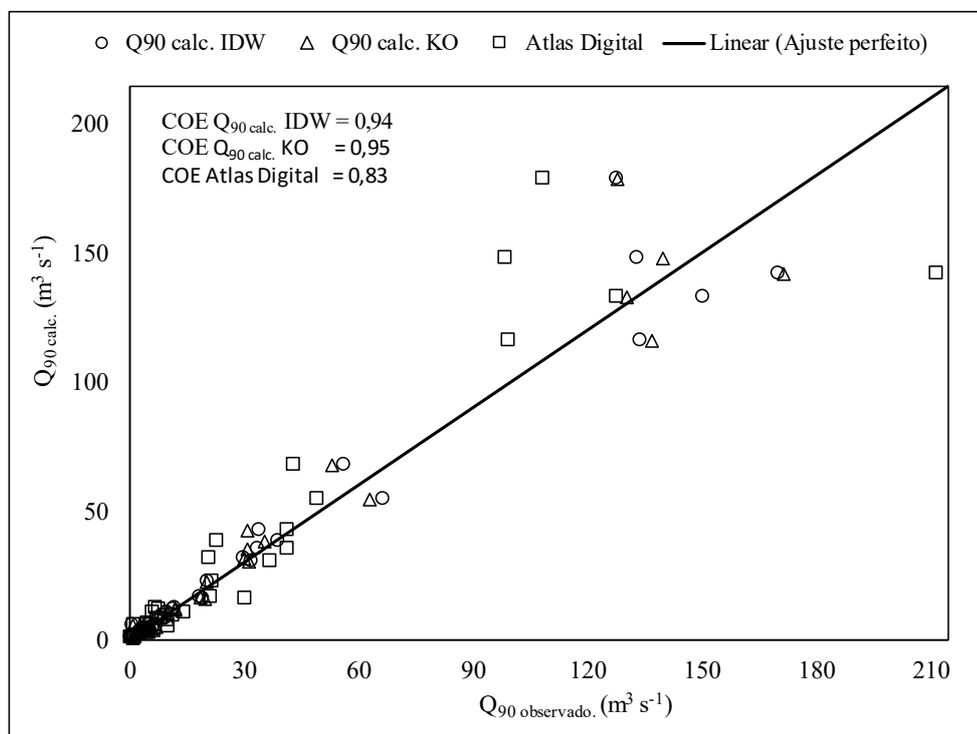
Fonte: O autor.

6.8 Comparação dos valores de Q_{90} estimados pelo modelo obtido neste trabalho com aqueles estimados pelo Atlas Digital das Águas

A Figura 23 representa a comparação dos resultados da Q_{90} para a região Minas Gerais, obtidos diretamente por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado) pelos métodos de IDW e KO, pelo e por meio do Atlas Digital das Águas de Minas (Atlas). COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe.

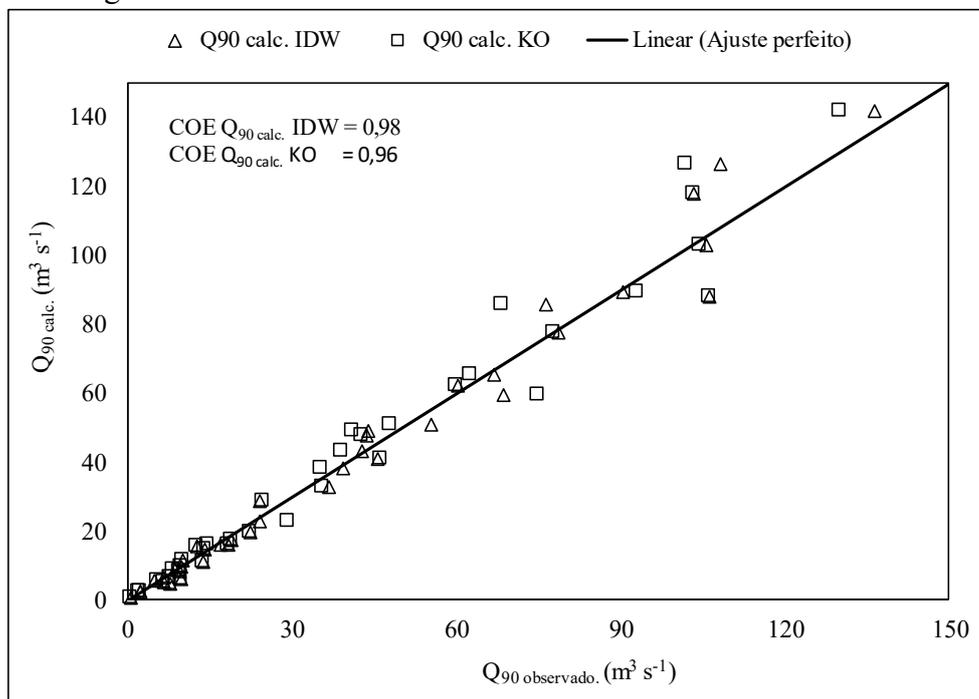
A Figura 24 representa a comparação dos resultados da Q_{90} para as regiões de GO, MS e DF, obtidos diretamente por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado) pelos métodos de IDW e KO.

Figura 23 - Resultados de Q_{90} para a região MG, obtidos por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho, calculado IDW e KO, e por meio do Atlas Digital das Águas de Minas (Atlas). COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe.



Fonte: O autor.

Figura 24 - Comparação dos resultados da Q_{90} para as regiões de GO, MS e DF, obtidos diretamente por meio do modelo de regionalização proposto neste trabalho (calculado) IDW e KO. COE significa coeficiente de Nash-Sutcliffe.



Fonte: O autor.

Por meio das Figuras 19, 21 e 23, é possível comparar a eficiência, dada pelo teste de Nash-Sutcliffe e da reta 1:1, dos modelos hidrológicos propostos neste trabalho e aqueles preconizados na publicação “Atlas Digital das Águas de Minas” e pelo “Deflúvios Superficiais de Minas Gerais”. Nas Figuras 20, 22 e 24 são efetuadas as comparações dos métodos aqui propostos e os resultados observados, haja vista que são valores obtidos para a margem direita, onde não há nenhum trabalho específico para comparação.

A reta 1:1 representa os dados de $Q_{7,10}$, Q_{90} ou Q_{95} observados, ou seja, obtidos diretamente na série histórica de vazão da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Portanto, quanto mais próximo dessa reta a vazão estimada pelo modelo hidrológico se situar, mais preciso ele será. Ademais, nas referidas figuras, estão expostos os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (COE), por meio do qual é possível avaliar a eficiência do modelo. Quanto mais próximo da unidade e positivo for o coeficiente COE, mais eficiente é o modelo hidrológico na estimativa da vazão.

Os modelos propostos apresentaram as eficiências: para $Q_{7,10}$ em MG COE Atlas (0,49) < Deflúvios (0,70) < KO (0,82) < IDW (0,84). $Q_{7,10}$ para GO, MS, DF COE resultou em KO (0,77) < IDW (0,81). Para modelagem Q_{95} em MG resultou em COE Atlas (0,75) < IDW (0,84)

< KO (0,85). Q₉₅ em MS, GO, DF resultou em COE KO (0,56) < IDW (0,84). Já a vazão de referência Q₉₀ resultou para MG COE Atlas (0,83) < IDW (0,94) KO (0,95). Enquanto que para MS, GO e DF, COE KO (0,96) < IDW (0,98).

Em comparação destes interpoladores, Lucas et. al (2013) estudaram a interpolação de precipitação em Belo Horizonte/MG e obtiveram melhores resultados utilizando KO quando comparado os índices de confiança (c). Entretanto, Pena et. al (2015), em pesquisa sobre interpoladores espaciais para determinação de precipitação total no estado de Goiás e DF, obtiveram melhores resultados pelo método determinístico (IDW) em detrimento ao método geoestatísticos (KO).

Martins (2016) realizou um estudo de espacialização de dados pluviométricos para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, pelo método determinístico e por geoestatísticas. Em seu trabalho encontrou um erro médio final menor para o método determinístico (IDW), porém Martins afirma que o método geoestatísticos em uma análise mais detalhada apresenta resultados mais exatos.

Neste estudo, utilizando COE como método de avaliação, observou-se que os métodos se apresentaram com resultados muito equivalentes, de uma forma geral com eficiência muito boa.

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas, pôde-se concluir que foi possível fazer a regionalização de quatro regiões homogêneas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba mediante o algoritmo IDW e krigagem ordinária.

O método determinístico de interpolação IDW apresentou melhor desempenho do que o método geoestatístico da krigagem ordinária.

A característica fisiográfica que mais se destacou foi a área da bacia hidrográfica, sendo usada como variável combinada com as vazões de referência (vazão específica) de entrada nos modelos estatísticos hidrológicos gerados.

Conclui-se que os modelos IDW e KO se mostraram com eficiência muito boa, exceto para Q_{95} em GO, MS e DF, que se apresentou para o modelo KO apenas como satisfatória.

Os modelos IDW e KO, em todas as circunstâncias, apresentaram maior eficiência na estimativa das vazões de referência, quando comparados com os modelos propostos nas publicações Deflúvios Superficiais de Minas Gerais ($Q_{7,10}$) e Atlas Digital de Minas ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}).

Os modelos IDW e KO, em todas as circunstâncias, apresentaram menor erro relativo na estimativa das vazões de referência, quando comparados com os modelos propostos nas publicações Deflúvios Superficiais de Minas Gerais ($Q_{7,10}$) e Atlas Digital de Minas ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}).

O diferencial apresentado neste trabalho, além da abrangência e atualização de base de dados empregadas, foi a sistemática empregada na espacialização das informações em ambiente SIG. O resultado obtido permite chegar ao resultado dos valores de vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} facilmente localizando o ponto requerido, por meio de sua latitude e longitude diretamente no mapa, por meio do produto da vazão específica pela área de drenagem.

Espera-se que, com a continuidade deste trabalho, e com a inclusão de sugestões e correções que venham a ser apresentadas possa-se disponibilizar este produto como ferramenta aos órgãos gestores de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/parana>. Acesso em: 20 jul. 2018.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. **Resolução/ ADASA nº 350 de 23 de junho de 2006**. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga do direito de uso dos recursos hídricos em corpos de água de domínio do Distrito Federal e em corpos de água delegados pela União e Estados. Brasília, DF: ADASA, 2006. Disponível em: http://agenciapeixevivo.org.br/wp-content/uploads/2011/12/images_arquivos_legislacaoambiental_DistritoFed_Resolucao350_2006.pdf. Acesso em: 19 jul. 2018.

ARAUJO, F. C. *et al.* Streamflow Regionalization in Piquiri River Basin. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n.1, p. 22-31. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n1p22-31/2018>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v38n1/1809-4430-eagri-38-01-0022.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2018.

ASSUNÇÃO, W. L.; BRITO, J. L. S.; SOARES, D. Z. **Distribuição espacial das chuvas na Bacia do Rio Araguari (MG)**. 2006. Trabalho apresentado no VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Rondonópolis, 2006. Disponível em: <http://admin.cbharaguari.org.br/arquivos/downloads/33e75ff09dd601bbe69f351039152189.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2018.

BERRY, P. A. M.; GARLICK, J. D.; SMITH, R. G. Near-global validation of the SRTM DEM using satellite radar altimetry. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.106, n.1, p. 17-27, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.011>. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S003442570600277X?token=48470C57B06BBFDD14910222F4386CC32185344E337CCE9B1DDE158183ED7AD565546A0E03044BDAE0B7497D15206D9E>. Acesso em: 19 jul. 2018.

BERRY, P. A. M.; GARLICK, J. D.; SMITH, R. G. Near-global validation of the SRTM DEM using satellite radar altimetry. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 106, n.1, p. 17-27, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570600277X?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jul. 2018.

BESKOW, S. *et al.* Artificial Intelligence Techniques Coupled with Seasonality Measures for Hydrological Regionalization of Q 90 under Brazilian Conditions. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 541, p. 1406-1419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.046>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169416305352?via%3Dihub>. Acesso em: 16 fev. 2018.

BRUNNER, M. I. *et al.* Synthetic Design Hydrographs for Ungauged Catchments: A Comparison of Regionalization Methods. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, Suíça, v. 32, n. 7, p. 1993-2023, July 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1523-3>.

Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00477-018-1523-3>. Acesso em: 19 jul. 2018.

CASTRO, L. N. **Introdução à mineração de dados**: conceitos básicos, algoritmos e aplicações. São Paulo: Saraiva. 2016.

CHOUAIB, W.; ALILA, Y.; CALDWELL, P. V. Parameter Transferability within Homogeneous Regions and Comparisons with Predictions from a Priori Parameters in the Eastern United States. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 560, p. 24-38, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.018>. Disponível em:

[Nhttps://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169418301847](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169418301847). Acesso em: 19 jul. 2018.

CUNHA, A. C. *et al.* 2014. Evento extremo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Araguari, Amapá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. especial, p. 95-110, dez. 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1590/0102-778620130051>. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862014000500010&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 19 jul. 2018.

CUPAK, A.; WALEGA, A.; MICHALEC, B. Cluster analysis in determination of hydrologically homogeneous regions with low flow. **Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus**, Szczecin, v. 16, n. 1, p. 53-63, 2017. DOI:

<https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2017.16.1.53>

Disponível em: http://www.formatiocircumiectus.actapol.net/pub/16_1_53.pdf. Acesso em: 5 jul. 2018.

DIAS, L. S. O. *et al.* Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 4, n.2, p.265-271, 2004.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/309729820_Utilizacao_do_radar_interferometrico_para_delimitacao_automatica_de_bacias_hidrograficas. Acesso em: 19 jul. 2018.

DING, J.; HABERLANDT, U. Estimation of Instantaneous Peak Flow from Maximum Mean Daily Flow by Regionalization of Catchment Model Parameters: Estimation of Instantaneous Peak Flow from Maximum Mean Daily Flow. **Hydrological Processes**, New Jersey, v. 3, n.1, p. 612-626. 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.11053>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hyp.11053>. Acesso em: 17 fev. 2018.

DUARTE, P. A. **Fundamentos de cartografia**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2002.

2017b. Estimation of Instantaneous Peak Flow from Maximum Mean Daily Flow by Regionalization of Catchment Model Parameters: Estimation of Instantaneous Peak Flow from Maximum Mean Daily Flow. **Hydrological Processes**, New Jersey, v. 31, n. 3, p. 612-626, 2017b. DOI: <http://doi.wiley.com/10.1002/hyp.11053>. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/hyp.11053>. Acesso em: 17 fev. 2018.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

ELESBON, A. A. A. *et al.* Multivariate statistical analysis to support the minimum streamflow regionalization. **Engenharia Agrícola**, Jabotical, v. 35, n. 5, p. 838-851, set./out. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p838-851/2015>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162015000500838&lng=en&tlng=en. Acesso em: 17 fev. 2018.

FIOREZE, Ana Paula, Luiz Fernando Coutinho de Oliveira, and Alexandre Puglisi Barbosa Franco. 2008 Avaliação do Desempenho de Equações de Regionalização de Vazões na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 3, n. 2, p. 62-76, 2008. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.53>. Disponível em: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/132/206>. Acesso em: 17 fev. 2018.

FREDRICK, K.C. *et al.* Development of a numerical groundwater flow model using SRTM elevations. **Hydrogeology Journal**, Heidelberg, v.15, n.1, p.171-181, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10040-006-0115-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10040-006-0115-3>. Acesso em: 17 fev. 2018.

GOIÁS. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Manual técnico de outorga**. Goiânia: SMARH, 2012.

GONZÁLEZ, C. G.; MAIA, E. C. Aplicações de álgebras de Boole produto em reconhecimento de padrões. **Revista de Estudos Universitários**, Sorocaba, v. 27, n. 1, p. , 75-88, jun. 2001a. Disponível em: <http://periodicos.uniso.br/ojs/index.php/reu/article/view/2707/2317>. Acesso em: 17 fev. 2018.

GONZÁLEZ, C. G.; MAIA, E. C. Applications of product Boolean algebras in cluster analysis. *In*: ABE, J. M.; SILVA FILHO, J. I. (ed.). **Logic, artificial intelligence and robotics**. Amsterdam: IOS Press, 2001b. v. 71, p. 101-109.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: IGAM, 2011. Disponível em: http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2018/OUTORGA/Manual_de_Outorga_IGAM.pdf. Acesso em: 17 fev. 2018.

LAURA, A. L.; ARAGÓN, J. P. Q.; LAURA, E. L. Regionalización de caudales mensuales en la región hidrográfica del Titicaca Puno Perú. **Revista de Investigaciones Altoandinas**, Puno, v. 19, n. 2, p. 219-230. DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2017.281>. Disponível em: <http://huajsapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/article/view/281>. Acesso em: 19 jul. 2018.

LATT, Z. Z.; WITTENBERG, H.; URBAN, B. Clustering hydrological homogeneous regions and neural network based index flood estimation for ungauged catchments: an example of the Chindwin River in Myanmar. **Water Resources Management**, Berlin, v. 29, n. 3, p. 913-928, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0851-4>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11269-014-0851-4>. Acesso em: 17 fev. 2018.

LUCAS, T. P. B. *et al.* Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, ano 9, v. 13, p. 7-21, jul./dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v13i0.31259>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/31259/22575>
Acesso em: 17 fev. 2018.

LUEDELING, E.; SIEBERT, S.; BUERKERT, A. Filling the voids in the SRTM elevation model - A TIN-based delta surface approach. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, New York, v. 62, n. 4, p. 283-294, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.05.004>. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0924271607000433?token=38DF900BDA8BEF33AD77657226E1910006568EAFEDA5BF980FC7E6FFC2A2756423D00493EA802810F3772140D965B135>. Acesso em: 17 fev. 2018.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 727-733, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400017>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000400017&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 18 jul. 2018.

MARCUZZO, F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 4, p. 93-804, 2011. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i4.232714>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232714/26721>. Acesso em: 17 fev. 2018.

MARTINS, A. P. Espacialização de dados pluviométricos: comparação entre métodos determinísticos e métodos geoestatísticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, VARIABILIDADE E SUSCETIBILIDADE CLIMÁTICA, 12., Goiânia, 2016. **Anais [...]**. Goiânia: ABClima, 2016. Disponível em: https://geoinfo.jatai.ufg.br/up/928/o/artigo_espacializacao_de_dados_pluviometricos.pdf?1496771618. Acesso em: 18 jul. 2018.

MONTERO, J.; FERNANDEZ-AVILES, G.; MATEU, J. **Spatial and spatio-temporal geostatistical modeling and kriging**. West Sussex: Wiley, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118762387>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118762387>. Acesso em: 17 jul. 2018.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. 2013. Análise de métodos para estimativa das vazões da Bacia do Rio Paraopeba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 313-324, 2013. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n2.p313-324>.

MOURA, A. C. M. **A escolha de interpoladores e recursos de visualização na estruturação de bases de dados para produção de informações espaciais apoiadas por geoprocessamento**. Belo Horizonte: UFMG, 2012. Disponível em: <http://www.arq.ufmg.br/SiteLabGeo>. Acesso em: 17 jul. 2018.

MOURA, D. M. B. *et al.* O uso de geotecnologias na análise morfométrica da alta bacia hidrográfica do ribeirão Santo Antônio, no município de Iporá-GO, Brasil. **GeoFocus: revista**

internacional de ciencia y tecnología de la información geográfica, Cerdanyola del Vallès, n. 21, p. 19-37, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21138/GF.493>. Disponível em: <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/493/452>. Acesso em: 20 ago. 2018.

NOSRATI, Kazem, Gregor Laaha, Seyed Ali Sharifnia, and Mojtaba Rahimi. 2015. Regional Low Flow Analysis in Sefidrood Drainage Basin, Iran Using Principal Component Regression. **Hydrology Research**, London, v. 46, n. 1, p. 121. DOI: <https://doi.org/10.2166/nh.2014.087>. Disponível em: <http://hr.iwaponline.com/cgi/doi/10.2166/nh.2014.087>. Acesso em: 5 jul. 2018.

NOVAIS, M. P. S. Análise espacial de bacias hidrográficas a partir de SIG: um estudo da Bacia Hidrográfica do Itapicuru - Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: INPE, 2015. p. 2719-2726. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0541.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2018.

NYEKO-OGIRAMOI, P. *et al.* An elusive search for regional flood frequency estimates in the River Nile Basin. **Hydrology and Earth System Sciences**, Munich, v. 16, n. 9, p. 3149-3163, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-16-3149-2012>. Disponível em: <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/3149/2012/>. Acesso em: 19 jul. 2018.

PARAJKA, J. *et al.* The role of station density for predicting daily runoff by top-kriging interpolation in Austria. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, Viena, v. 63, n. 3, p. 228-234, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1515/johh-2015-0024>. Disponível em: <https://content.sciendo.com/view/journals/johh/63/3/article-p228.xml>. Acesso em: 17 fev. 2018.

PENA, D. S.; MOREIRA, A. N. H.; SILVA, V. C. Interpoladores espaciais para determinação de precipitação total no estado de Goiás e Distrito Federal. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ÁGUAS, SOLOS E GEOTECNOLOGIAS, 1., Uberaba, 2015. [Trabalhos apresentados]. Uberaba: UFTM, 2015.

PUMO, D.; VIOLA, F.; NOTO, L. Generation of natural runoff monthly series at ungauged sites using a regional regressive model. **Water**, Basel, v. 8, n. 12, p. 209, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/w8050209>. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2073-4441/8/5/209>. Acesso em: 17 fev. 2018.

RAMÍREZ-GRANADOS, P.; ALFARO-JIMÉNEZ, K. Morfometría de la subcuenca del río Toyogres, Cartago, Costa Rica. **Revista Geográfica de América Central**, Heredia, v. 1, n. 60, p. 255, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15359/rgac.60-1.9>. Disponível em: <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/10462>. Acesso em: 20 ago. 2018.

RENNÓ, C. D. *et al.* Hand, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570800120X?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jul. 2018.

ROCHA, J. C. S., KHOURY, L. E. C.; Damasceno, A. P. D. 2018. Direito das águas - trajetória legal, conflitos e participação social. **Revista de Direito Sanitário**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 143, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v18i3p143-166> Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdisan/article/view/144653>. Acesso em: 20 ago. 2018.

SANTOS, C. A. G. *et al.* Drought Assessment using a TRMM-derived standardized precipitation index for the Upper São Francisco River Basin, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Washington, v. 189, n. 6, p. 250. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5948-9>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10661-017-5948-9>. Acesso em: 17 fev. 2018.

SANTOS, D. C.; FERREIRA, V. O. Pluviometria da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: variabilidade e tendências. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 63, p. 1-29, set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG186301>. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/35892>. Acesso em: 18 jul. 2018.

SANTOS, P. R. A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L. C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 58, n.1, p. 101-107, 2006. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44933/23943>. Acesso em: 16 jul. 2018.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002.

YUAN, S.; QUIRING, S. M. Comparison of three methods of interpolating soil moisture in Oklahoma. **International Journal of Climatology**, Chischester, v. 37, p. 987-997, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4754>. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.4754>. Acesso em: 17 jul. 2018

TEODORO, V. L. I., *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, Araraquara, v. 11, n. 1, p. 136-156. DOI: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236>. Disponível em: <http://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/236>. Acesso em: 20 ago. 2018.

TUCCI, C. *et al.* 1995. Flow regionalization in the upper Paraguay basin, Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, Oxfordshire, v. 40, n. 4, p. 485-497. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626669509491434>. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626669509491434>. Acesso em: 16 fev. 2018.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

VALERIANO, M.M. Dados topográficos. *In*: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 72-104.

VERMA, R. K. *et al.* design flow duration curves for environmental flows estimation in damodar River Basin, India. **Applied Water Science**, Berlin, v. 7, n. 3, p. 1283-1293. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0486-0>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13201-016-0486-0>. Acesso em: 17 fev. 2018.

VEZZA, P. *et al.* Low flows regionalization in North-Western Italy. **Water Resources Management**, Berlin, v. 24, n. 14, p. 4049-4074, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9647-3>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11269-010-9647-3>. Acesso em: 16 fev. 2018.

Vicini, L.; SOUZA, A. M. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFSM, 2005.

WITTEN, I. H.; EIBE, F. E. Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations. **ACM SIGMOD Record**, New York, v. 31, n. 1, p. 76-77, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1145/507338.507355>. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=507338.507355>. Acesso em: 5 jul. 2018.

YIN, Y. *et al.* 2016. Spatio-temporal characteristics of the extreme precipitation by l-moment-based index-flood method in the Yangtze River Delta Region, China. **Theoretical and Applied Climatology**, Berlin, v. 124, n. 3-4, p. 1005-1022 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1478-y>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-015-1478-y> Acesso em: 17 fev. 2018.

ZAIFOGLU, H.; AKINTUG, B.; YANMAZ, A. M. Regional Frequency Analysis of Precipitation Using Time Series Clustering Approaches. **Journal of Hydrologic Engineering**, Reston, v. 23, n. 6, 05018007, June 2018. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001659](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001659). Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0001659>. Acesso em: 19 jul. 2018.

ZELENAKOVA, M. *et al.* Trends in Minimal Stream Flows at Eastern Slovakia. In: . INTERNATIONAL CONFERENCE ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 9th, 2014, Vilnius. **Selected Papers** [...]. Vilnius: Gediminas Technical University Press, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3846/enviro.2014.103>. Disponível em: http://leidykla.vgtu.lt/conferences/ENVIRO_2014/Abstracts/2/103.html. Acesso em: 16 fev. 2018.

ZHANG, F.; YUSHANJIANG, A.; WANG, D. Ecological risk assessment due to land use/cover changes (LUCC) in Jinghe County, Xinjiang, China from 1990 to 2014 Based on Landscape Patterns and Spatial Statistics. **Environmental Earth Sciences**, Berlin, v. 77, n. 13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7676-z>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s12665-018-7676-z>. Acesso em: 19 jul. 2018.

**APÊNDICE A - RESULTADO DOS VALORES ESTIMADOS DOS MODELOS IDW
E KO DE Q₉₅ E DO ATLAS DIGITAL**

Tabela 17 – Resultados de Q₉₅ calc. e do Atlas Digital comparado com Q₉₅validado

| ID | Código | Nome | Q ₉₅ valid (m ³ s ⁻¹) | Q ₉₅ calc. (m ³ s ⁻¹) IDW | Q ₉₅ calc. (m ³ s ⁻¹) KO | Atlas Digital (m ³ s ⁻¹) | Long. | Lat. |
|----|----------|----------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|-----------|
| 1 | 60435000 | Descoberto - chácara 89 | 0,36 | 0,46 | 0,35 | NA | -048:14:05 | -15:42:27 |
| 2 | 60700000 | Anicuns | 1,69 | 1,66 | 2,21 | NA | -048:36:06 | -16:08:45 |
| 3 | 60715000 | Fazenda Boa Vista | 7,82 | 9,25 | 16,58 | NA | -048:16:38 | -16:04:40 |
| 4 | 60805000 | Ponte Sul Goiana | 116,00 | 105,18 | 122,44 | NA | -050:33:23 | -17:32:28 |
| 5 | 60960000 | Barra do Prata | 6,37 | 6,60 | 7,70 | NA | -050:19:57 | -17:58:04 |
| 6 | 60445000 | Estrada GO-56 (PCD INPE) | 28,75 | 35,19 | 29,31 | NA | -052:36:05 | -17:34:46 |
| 7 | 60510010 | Engenheiro Amorim | 65,80 | 61,29 | 57,84 | NA | -051:08:49 | -18:18:03 |
| 8 | 60544990 | UHE Corumbá I Montante 1 | 82,89 | 73,37 | 80,02 | NA | -050:58:43 | -18:47:59 |
| 9 | 60545000 | Pires do Rio | 28,00 | 73,04 | 80,04 | NA | -048:35:00 | -18:26:00 |
| 10 | 60443000 | Santo Antônio do Descoberto | 5,14 | 6,53 | 3,73 | NA | -046:32:31 | -19:28:30 |
| 11 | 60635000 | Inhumas | 1,86 | 1,60 | 2,14 | NA | -047:12:00 | -19:09:00 |
| 12 | 60640000 | Montante de Goiânia | 6,97 | 6,68 | 6,37 | NA | -047:56:03 | -19:04:07 |
| 13 | 60650000 | Jusante de Goiânia | 12,30 | 14,06 | 10,51 | NA | -048:16:00 | -18:45:00 |
| 14 | 60675000 | Aloândia | 28,80 | 29,86 | 30,87 | NA | -047:58:00 | -19:02:00 |
| 15 | 60680000 | Ponte Meia Ponte | 41,08 | 46,89 | 43,35 | NA | -047:02:00 | -19:19:00 |
| 16 | 60540000 | UHE Corumbá I Rio Piracanjuba | 12,40 | 14,36 | 13,95 | NA | -047:01:02 | -20:00:50 |
| 17 | 60590000 | Fazenda Papua | 6,36 | 7,10 | 7,63 | NA | -047:32:00 | -19:29:00 |
| 18 | 60591000 | UHE Itumbiara jusante pte GO-213 | 3,94 | 7,23 | 7,86 | NA | -047:06:00 | -19:11:00 |
| 19 | 60500000 | UHE batalha rio são Bartolomeu | 16,10 | 17,75 | 15,52 | NA | -049:56:34 | -16:27:55 |
| 20 | 60020000 | Ponte São Marcos | 12,40 | 15,13 | 15,13 | NA | -049:41:18 | -17:06:25 |
| 21 | 60030000 | Campo Alegre de Goiás | 26,00 | 29,34 | 30,40 | NA | -050:10:18 | -18:04:14 |
| 22 | 60040000 | Fazenda São Domingos | 31,00 | 38,48 | 39,50 | NA | -052:12:47 | -18:50:42 |
| 23 | 60750000 | Fazenda Nova do Turvo | 3,18 | 5,15 | 11,80 | NA | -048:05:22 | -16:21:48 |

| ID | Código | Nome | Q ₉₅ valid (m ³ s ⁻¹) | Q ₉₅ calc. (m ³ s ⁻¹) IDW | Q ₉₅ calc. (m ³ s ⁻¹) KO | Atlas Digital (m ³ s ⁻¹) | Long. | Lat. |
|----|----------|---------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|-----------|
| 24 | 60765000 | Barra do Monjolo | 18,90 | 16,76 | 34,01 | NA | -047:56:27 | -17:02:10 |
| 25 | 60798000 | Maurilândia | 29,00 | 45,77 | 52,15 | NA | -048:14:21 | -17:19:42 |
| 26 | 60772000 | Fazenda Santa Maria | 49,90 | 58,63 | 56,87 | NA | -048:14:19 | -17:19:38 |
| 27 | 60950000 | Cachoeira Alta | 29,00 | 47,12 | 75,67 | NA | -049:29:39 | -16:20:47 |
| 28 | 60870000 | Quirinópolis | 8,00 | 7,69 | 8,72 | NA | -049:16:47 | -16:36:49 |
| 29 | 60300000 | Estação veríssimo | 12,90 | 9,52 | 11,29 | NA | -049:11:47 | -16:40:52 |
| 30 | 60570080 | UHE Corumbá I Barramento | 27,00 | 54,15 | 96,40 | NA | -049:27:27 | -17:45:11 |
| 31 | 60011000 | Patos de Minas (INMET) | 12,93 | 14,64 | 18,30 | 17,40 | -049:36:06 | -18:20:56 |
| 32 | 60012100 | Vicente Goulart - Jusante | 30,20 | 28,12 | 28,68 | 33,94 | -048:08:14 | -17:07:53 |
| 33 | 60145000 | Iraí de Minas - Iraí de Minas | 0,45 | 0,44 | 0,52 | 0,40 | -048:51:00 | -17:42:00 |
| 34 | 60150000 | Estrela do Sul - Estrela do Sul | 5,01 | 4,53 | 4,42 | 4,00 | -048:50:39 | -17:44:52 |
| 35 | 60381000 | Faz. Letreiro Uberlândia | 4,34 | 4,43 | 4,11 | 3,51 | -047:48:02 | -16:32:15 |
| 36 | 60130000 | Fazenda Cachoeira | 0,45 | 0,39 | 0,65 | 0,57 | -047:09:31 | -17:01:44 |
| 37 | 60845000 | Ituiutaba - Ituiutaba | 22,80 | 25,95 | 25,24 | 30,38 | -047:33:24 | -17:30:15 |
| 38 | 60012000 | Vicente Goulart | 36,60 | 28,03 | 29,37 | 33,83 | -047:41:30 | -18:06:40 |
| 39 | 60180000 | Fazenda Ponte Preta | 3,37 | 2,28 | 3,35 | 3,48 | -050:17:22 | -17:04:45 |
| 40 | 60381005 | Sucupira | 2,42 | 4,19 | 3,86 | 3,30 | -050:10:51 | -17:43:56 |
| 41 | 60842000 | Br 153 Posto Tejuco | 19,74 | 16,91 | 15,25 | 17,77 | -050:14:49 | -17:58:51 |
| 42 | 60272000 | Ponte Rio São João | 3,43 | 5,47 | 5,57 | 4,19 | -050:31:43 | -18:29:54 |
| 43 | 60400000 | Ponte Melo Viana | 97,60 | 129,06 | 87,29 | 106,69 | -048:10:38 | -17:58:23 |
| 44 | 60615000 | Fazenda Cachoeira 2 | 0,86 | 0,76 | 0,80 | 0,84 | -048:31:58 | -17:59:16 |
| 45 | 60110000 | Abadia dos Dourados | 7,29 | 6,98 | 8,43 | 9,14 | -046:32:22 | -18:36:06 |
| 46 | 60135000 | Estação Douradoquara | 2,28 | 3,36 | 4,70 | 5,18 | -047:06:23 | -18:16:03 |
| 47 | 60285000 | Salitre - Patrocínio | 0,77 | 0,85 | 1,59 | 1,24 | -047:27:23 | -18:58:41 |
| 49 | 60855000 | Ponte do Prata | 11,80 | 15,50 | 19,68 | 24,75 | -048:11:25 | -18:59:18 |

| ID | Código | Nome | Q95 valid (m ³ s ⁻¹) | Q95 calc. (m ³ s ⁻¹) IDW | Q95 calc. (m ³ s ⁻¹) KO | Atlas Digital (m ³ s ⁻¹) | Long. | Lat. |
|----|----------|---------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|-----------|
| 50 | 60856000 | Ponte BR-365 (Faz. Boa Vista) | 2,04 | 2,48 | 3,25 | 3,78 | -047:24:32 | -18:46:51 |
| 51 | 60210000 | Ponte Veloso | 107,00 | 136,20 | 137,97 | 178,17 | -049:26:59 | -18:56:27 |
| 52 | 60848000 | Br 153 Nossa Senhora | 2,97 | 3,24 | 3,03 | 3,88 | -047:07:19 | -18:17:54 |
| 53 | 60850000 | Fazenda Buriti do Prata | 8,81 | 8,55 | 7,54 | 11,38 | -048:07:00 | -18:35:00 |
| 54 | 60320000 | P. J. Candido-Patrocínio | 46,36 | 58,46 | 50,92 | 40,49 | -048:09:53 | -18:59:11 |
| 55 | 60350000 | Porto Monjolinho - Indianópolis | 98,50 | 126,10 | 97,80 | 82,55 | -049:00:33 | -19:02:22 |
| 56 | 60430000 | Ponte Anápolis - Brasília | 9,68 | 8,89 | 5,68 | NA | -046:38:14 | -19:19:24 |
| 57 | 60774000 | Montividiu | 8,58 | 8,42 | 6,23 | NA | -048:46:50 | -18:41:54 |
| 58 | 60781000 | Ponte Rodagem | 42,37 | 37,71 | 38,17 | NA | -046:15:57 | -19:09:08 |
| 59 | 60790000 | Ponte Rio Verdão | 53,80 | 52,65 | 39,46 | NA | -047:24:23 | -18:29:28 |
| 60 | 60910000 | Ponte do Cedro | 4,48 | 4,25 | 4,85 | NA | -047:40:00 | -18:27:00 |
| 61 | 60920000 | Itarumã | 111,60 | 82,63 | 74,15 | NA | -046:47:00 | -19:05:00 |
| 62 | 60900000 | Ponte BR-364 | 25,40 | 21,39 | 18,71 | NA | -049:10:00 | -18:33:00 |
| 63 | 60895000 | Ponte Rio Doce | 13,10 | 12,84 | 9,39 | NA | -049:41:50 | -19:02:08 |
| 64 | 60235005 | Santa Juliana | 33,60 | 35,24 | 25,10 | 18,64 | -050:00:18 | -18:53:05 |
| 65 | 60250000 | Fazenda São Matheus/Ibiá | 10,32 | 10,76 | 7,68 | 5,53 | -048:33:00 | -18:20:00 |
| 66 | 60265000 | Ibiá | 10,46 | 10,50 | 9,73 | 6,16 | -048:51:31 | -19:30:07 |
| 67 | 60340000 | Porto Saracura Indianópolis | 126,00 | 133,21 | 99,91 | 82,08 | -049:10:49 | -19:21:35 |
| 68 | 60360000 | Capim Branco - Araguari | 170,80 | 95,21 | 87,59 | 90,44 | -051:04:31 | -17:21:33 |
| 69 | 60300000 | Antinha | 9,35 | 10,17 | 8,08 | 5,89 | -050:40:55 | -17:19:33 |
| 70 | 60220000 | Fazenda Desemboque | 9,08 | 8,65 | 7,57 | 4,99 | -051:16:48 | -18:42:43 |
| 71 | 60230000 | Cachoeira Pai Joaquim | 28,10 | 28,55 | 24,37 | 16,95 | -051:23:24 | -17:51:39 |
| 72 | 60305000 | Porto da Mandioca | 56,90 | 49,11 | 44,54 | 35,31 | -047:38:29 | -19:18:19 |
| 73 | 60968000 | Cassilândia | 61,40 | 62,46 | 35,69 | NA | -046:34:12 | -19:31:03 |
| 74 | 60005000 | Fazenda Bom Jardim | 0,41 | 3,86 | 1,34 | 0,74 | -051:43:15 | -19:06:27 |

NA – Não se aplica; Fonte : O autor

**APÊNDICE B - RESULTADO DOS VALORES ESTIMADOS DOS MODELOS IDW E
KO DE Q₉₀ E DO ATLAS DIGITAL**

Tabela 18 – Resultados de $Q_{90 \text{ calc.}}$ e do Atlas Digital comparado com $Q_{90 \text{ validado}}$

| ID | Código | Nome | $Q_{90 \text{ valid}}$ | $Q_{90 \text{ calc.}} (\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$ | $Q_{90 \text{ calc.}} (\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$ | Atlas Digital ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) | Long. | Lat. |
|----|----------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------|-----------|
| | | | ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) | IDW | KO | | | |
| 1 | 60435000 | Descoberto - chácara 89 | 0,59 | 0,61 | 0,61 | NA | -048:14:05 | -15:42:27 |
| 2 | 60430000 | Ponte Anápolis - Brasília | 11,60 | 9,95 | 9,95 | NA | -048:36:06 | -16:08:45 |
| 3 | 60443000 | Santo Antônio do Descoberto | 5,14 | 6,53 | 6,53 | NA | -048:16:38 | -16:04:40 |
| 4 | 60790000 | Ponte Rio Verdão | 62,20 | 60,23 | 59,92 | NA | -050:33:23 | -17:32:28 |
| 5 | 60798000 | Maurilândia | 85,80 | 76,44 | 68,42 | NA | -050:19:57 | -17:58:04 |
| 6 | 60910000 | Ponte do Cedro | 5,50 | 4,85 | 5,46 | NA | -052:36:05 | -17:34:46 |
| 7 | 60900000 | Ponte_BR-364 | 28,60 | 24,06 | 24,70 | NA | -051:08:49 | -18:18:03 |
| 8 | 60950000 | Cachoeira Alta | 89,40 | 90,27 | 93,02 | NA | -050:58:43 | -18:47:59 |
| 9 | 60400000 | Ponte Melo Viana | 133,00 | 150,57 | 130,47 | 127,88 | -048:35:00 | -18:26:00 |
| 10 | 60265000 | Ibiá | 11,60 | 11,65 | 11,74 | 7,73 | -046:32:31 | -19:28:30 |
| 11 | 60320000 | P. J. Candido-Patrocínio | 54,50 | 66,82 | 62,88 | 49,29 | -047:12:00 | -19:09:00 |
| 12 | 60340000 | Porto Saracura | 148,00 | 133,21 | 139,80 | 98,79 | -047:56:03 | -19:04:07 |
| 13 | 60360000 | Capim Branco - Araguari | 178,42 | 128,14 | 128,14 | 108,69 | -048:16:00 | -18:45:00 |
| 14 | 60350000 | Porto Monjolinho | 116,00 | 133,94 | 136,86 | 99,34 | -047:58:00 | -19:02:00 |
| 15 | 60300000 | Antinha | 8,06 | 9,22 | 9,62 | 7,39 | -047:02:00 | -19:19:00 |
| 16 | 60220000 | Fazenda desemboque | 10,18 | 9,73 | 9,73 | 6,28 | -047:01:02 | -20:00:50 |
| 17 | 60230000 | Cachoeira Pai Joaquim | 31,40 | 30,17 | 30,17 | 20,92 | -047:32:00 | -19:29:00 |
| 18 | 60305000 | Porto da Mandioca | 67,70 | 56,14 | 53,01 | 43,08 | -047:06:00 | -19:11:00 |
| 19 | 60700000 | Anicuns | 2,32 | 2,21 | 2,06 | NA | -049:56:34 | -16:27:55 |
| 20 | 60715000 | Fazenda Boa Vista | 11,00 | 13,87 | 13,87 | NA | -049:41:18 | -17:06:25 |
| 21 | 60805000 | Ponte Sul Goiana | 142,00 | 136,43 | 129,95 | NA | -050:10:18 | -18:04:14 |
| 22 | 60960000 | Barra do Prata | 6,59 | 6,60 | 7,70 | NA | -052:12:47 | -18:50:42 |

| ID | Código | Nome | Q ₉₀ valid (m ³ s ⁻¹) | Q ₉₀ calc. (m ³ s ⁻¹) IDW | Q ₉₀ calc. (m ³ s ⁻¹) KO | Atlas Digital (m ³ s ⁻¹) | Long. | Lat. |
|----|----------|------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|-----------|
| 23 | 60445000 | Estrada GO-56 (PCD INPE) | 40,80 | 45,66 | 46,20 | NA | -048:05:22 | -16:21:48 |
| 24 | 60510010 | Engenheiro Amorim | 77,40 | 78,72 | 77,84 | NA | -047:56:27 | -17:02:10 |
| 25 | 60544990 | UHE Corumbá I Montante 1 | 103,00 | 105,63 | 104,35 | NA | -048:14:21 | -17:19:42 |
| 26 | 60545000 | Pires do Rio | 88,20 | 106,10 | 106,10 | NA | -048:14:19 | -17:19:38 |
| 27 | 60635000 | Inhumas | 2,23 | 2,14 | 2,27 | NA | -049:29:39 | -16:20:47 |
| 28 | 60640000 | Montante de Goiânia | 8,78 | 8,44 | 8,26 | NA | -049:16:47 | -16:36:49 |
| 29 | 60650000 | Jusante de Goiânia | 16,00 | 16,87 | 14,52 | NA | -049:11:47 | -16:40:52 |
| 30 | 60675000 | Aloândia | 43,00 | 42,61 | 39,03 | NA | -049:27:27 | -17:45:11 |
| 31 | 60680000 | Ponte Meia Ponte | 51,00 | 55,34 | 47,92 | NA | -049:36:06 | -18:20:56 |
| 32 | 60540000 | UHE Corumbá I Rio Piracanjuba | 16,10 | 18,40 | 18,40 | NA | -048:08:14 | -17:07:53 |
| 33 | 60590000 | Fazenda Papua | 8,12 | 9,46 | 9,46 | NA | -048:51:00 | -17:42:00 |
| 34 | 60591000 | UHE Itumbiara jusante ponte GO-213 | 6,16 | 9,65 | 9,65 | NA | -048:50:39 | -17:44:52 |
| 35 | 60500000 | UHE batalha rio são Bartolomeu | 19,50 | 22,43 | 22,44 | NA | -047:48:02 | -16:32:15 |
| 36 | 60020000 | Ponte São Marcos | 17,50 | 18,91 | 18,91 | NA | -047:09:31 | -17:01:44 |
| 37 | 60030000 | Campo Alegre de Goiás | 32,60 | 36,82 | 35,69 | NA | -047:33:24 | -17:30:15 |
| 38 | 60040000 | Fazenda São Domingos | 48,90 | 43,87 | 41,06 | NA | -047:41:30 | -18:06:40 |
| 39 | 60750000 | Fazenda Nova do Turvo | 4,59 | 7,72 | 7,72 | NA | -050:17:22 | -17:04:45 |
| 40 | 60765000 | Barra do Monjolo | 22,60 | 24,09 | 29,21 | NA | -050:10:51 | -17:43:56 |
| 41 | 60772000 | Fazenda Santa Maria | 59,50 | 68,69 | 74,94 | NA | -050:14:49 | -17:58:51 |
| 42 | 60870000 | Quirinópolis | 9,79 | 9,66 | 9,61 | NA | -050:31:43 | -18:29:54 |
| 43 | 60300000 | Estação Verissimo | 15,50 | 12,70 | 12,70 | NA | -048:10:38 | -17:58:23 |
| 44 | 60570080 | UHE Corumbá I Barramento | 126,30 | 108,30 | 101,90 | NA | -048:31:58 | -17:59:16 |
| 45 | 60011000 | Patos de Minas (INMET) | 16,40 | 18,30 | 18,30 | 21,46 | -046:32:22 | -18:36:06 |
| 46 | 60012100 | Vicente Goulart - Jusante | 35,02 | 33,79 | 30,85 | 41,43 | -047:06:23 | -18:16:03 |
| 47 | 60145000 | Iraí de Minas - Iraí de Minas | 0,61 | 0,58 | 0,59 | 0,53 | -047:27:23 | -18:58:41 |
| 48 | 60150000 | Estrela do Sul - Estrela do Sul | 5,95 | 5,44 | 5,31 | 5,05 | -047:41:24 | -18:44:17 |

| ID | Código | Nome | Q ₉₀ valid (m ³ s ⁻¹) | Q ₉₀ calc. (m ³ s ⁻¹) IDW | Q ₉₀ calc. (m ³ s ⁻¹) KO | Atlas Digital (m ³ s ⁻¹) | Long. | Lat. |
|----|----------|-------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|-----------|
| 49 | 60381000 | Faz. Letreiro Uberlândia | 5,22 | 5,22 | 5,29 | 4,45 | -048:11:25 | -18:59:18 |
| 50 | 60130000 | Fazenda Cachoeira | 0,61 | 0,52 | 0,62 | 0,75 | -047:24:32 | -18:46:51 |
| 51 | 60845000 | Ituiutaba - Ituiutaba | 29,90 | 32,08 | 31,19 | 37,15 | -049:26:59 | -18:56:27 |
| 52 | 60012000 | Vicente Goulart | 42,25 | 33,91 | 30,72 | 41,30 | -047:07:19 | -18:17:54 |
| 53 | 60180000 | Fazenda Ponte Preta | 3,57 | 3,04 | 3,59 | 4,40 | -048:07:00 | -18:35:00 |
| 54 | 60381005 | Sucupira | 3,06 | 4,93 | 5,00 | 4,19 | -048:09:53 | -18:59:11 |
| 55 | 60842000 | Br 153 Posto Tejuco | 22,18 | 20,50 | 20,25 | 21,91 | -049:00:33 | -19:02:22 |
| 56 | 60272000 | Ponte Rio São João | 4,39 | 6,08 | 5,90 | 5,29 | -046:38:14 | -19:19:24 |
| 57 | 60615000 | Fazenda Cachoeira 2 | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,09 | -048:46:50 | -18:41:54 |
| 58 | 60005000 | Fazenda Bom Jardim | 5,22 | 0,67 | 0,70 | 0,96 | -046:15:57 | -19:09:08 |
| 59 | 60110000 | Abadia dos Dourados | 9,01 | 8,57 | 8,01 | 11,39 | -047:24:23 | -18:29:28 |
| 60 | 60135000 | Estação Douradoquara | 2,80 | 4,48 | 4,48 | 6,51 | -047:40:00 | -18:27:00 |
| 61 | 60285000 | Salitre - Patrocínio | 0,96 | 1,11 | 1,11 | 1,59 | -046:47:00 | -19:05:00 |
| 62 | 60620000 | Ponte Rio Piedade | 4,91 | 6,88 | 6,96 | 10,03 | -049:10:00 | -18:33:00 |
| 63 | 60855000 | Ponte do Prata | 15,48 | 19,44 | 19,55 | 30,37 | -049:41:50 | -19:02:08 |
| 64 | 60856000 | Ponte BR-365 (Faz. Boa Vista) | 2,42 | 2,48 | 2,48 | 4,78 | -050:00:18 | -18:53:05 |
| 65 | 60210000 | Ponte Veloso | 142,00 | 170,42 | 171,47 | 211,82 | -048:33:00 | -18:20:00 |
| 66 | 60848000 | Br 153 Nossa Senhora | 3,62 | 3,38 | 3,65 | 4,90 | -048:51:31 | -19:30:07 |
| 67 | 60850000 | Fazenda Buriti do Prata | 10,46 | 9,68 | 9,68 | 14,14 | -049:10:49 | -19:21:35 |
| 68 | 60774000 | Montividiu | 9,93 | 9,35 | 9,64 | NA | -051:04:31 | -17:21:33 |
| 69 | 60781000 | Ponte Rodagem | 47,80 | 43,74 | 42,86 | NA | -050:40:55 | -17:19:33 |
| 70 | 60920000 | Itarumã | 118,00 | 103,28 | 103,28 | NA | -051:16:48 | -18:42:43 |
| 71 | 60895000 | Ponte Rio Doce | 14,60 | 14,13 | 14,13 | NA | -051:23:24 | -17:51:39 |
| 72 | 60235005 | Santa Juliana | 38,10 | 39,15 | 35,24 | 22,97 | -047:38:29 | -19:18:19 |
| 73 | 60250000 | Fazenda São Matheus/Ibiá | 12,06 | 11,96 | 11,96 | 6,95 | -046:34:12 | -19:31:03 |
| 74 | 60968000 | Cassilândia | 65,30 | 66,92 | 62,46 | NA | -051:43:15 | -19:06:27 |

NA – não se aplica. Fonte: O autor

**APÊNDICE C - RESULTADO DOS VALORES ESTIMADOS DE $Q_{7,10}$ E ATLAS
DIGITAL E DEFLÚVIOS SUPERFICIAIS DE MINAS**

Tabela 19 – Resultados dos valores estimados para Q_{7,10} IDW, Q_{7,10} KO, Atlas Digital e Deflúvios Superficiais na BHRP

| ID | Código | Nome | Q _{7,10} valid (m ³ s ⁻¹) | Q _{7,10} calc. (m ³ s ⁻¹) IDW | Q _{7,10} calc. (m ³ s ⁻¹) KO | Atlas Digital (m ³ s ⁻¹) | Deflúvios Superficiais (m ³ s ⁻¹) | Long. | Lat. |
|----|----------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| 1 | 60968000 | Cassilândia | 55,16 | 49,07 | 44,61 | NA | NA | -051:43:15 | -19:06:27 |
| 2 | 60435000 | Descoberto - chácara 89 | 0,45 | 0,70 | 0,70 | NA | NA | -048:14:05 | -15:42:27 |
| 3 | 60774000 | Montividiu | 5,91 | 6,55 | 6,55 | NA | NA | -051:04:31 | -17:21:33 |
| 4 | 60781000 | Ponte Rodagem | 31,91 | 25,39 | 25,79 | NA | NA | -050:40:55 | -17:19:33 |
| 5 | 60910000 | Ponte do Cedro | 3,52 | 3,03 | 3,64 | NA | NA | -052:36:05 | -17:34:46 |
| 6 | 60920000 | Itarumã | 94,40 | 72,30 | 73,91 | NA | NA | -051:16:48 | -18:42:43 |
| 7 | 60895000 | Ponte Rio Doce | 8,00 | 8,99 | 8,99 | NA | NA | -051:23:24 | -17:51:39 |
| 8 | 60235005 | Santa Juliana | 24,65 | 23,49 | 19,58 | 9,44 | 10,75 | -047:38:29 | -19:18:19 |
| 9 | 60250000 | Fazenda São Matheus/Ibiá | 5,86 | 8,37 | 7,18 | 3,08 | 8,93 | -046:34:12 | -19:31:03 |
| 10 | 60700000 | Anicuns | 3,04 | 2,21 | 2,21 | NA | NA | -049:56:34 | -16:27:55 |
| 11 | 60960000 | Barra do Prata | 5,66 | 5,50 | 5,50 | NA | NA | -052:12:47 | -18:50:42 |
| 12 | 60430000 | Ponte Anápolis - Brasília | 7,15 | 5,68 | 6,48 | NA | NA | -048:36:06 | -16:08:45 |
| 13 | 60445000 | Estrada GO-56 (PCD INPE) | 35,51 | 36,63 | 28,82 | NA | NA | -048:05:22 | -16:21:48 |
| 14 | 60545000 | Pires do Rio | 68,45 | 60,03 | 47,60 | NA | NA | -048:14:19 | -17:19:38 |
| 15 | 60443000 | Santo Antônio do Descoberto | 3,15 | 4,31 | 4,53 | NA | NA | -048:16:38 | -16:04:40 |
| 16 | 60790000 | Ponte Rio Verdão | 38,32 | 37,69 | 37,44 | NA | NA | -050:33:23 | -17:32:28 |
| 17 | 60798000 | Maurilândia | 63,17 | 56,41 | 48,39 | NA | NA | -050:19:57 | -17:58:04 |
| 18 | 60900000 | Ponte_BR-364 | 17,27 | 14,22 | 15,12 | NA | NA | -051:08:49 | -18:18:03 |
| 19 | 60950000 | Cachoeira Alta | 52,13 | 66,48 | 65,92 | NA | NA | -050:58:43 | -18:47:59 |
| 20 | 60870000 | Quirinópolis | 7,49 | 5,73 | 5,46 | NA | NA | -050:31:43 | -18:29:54 |
| 21 | 60150000 | Estrela do Sul | 2,12 | 2,75 | 2,64 | 2,28 | 3,87 | -047:41:24 | -18:44:17 |
| 22 | 60381000 | Faz. Letreiro Uberlândia | 2,04 | 1,49 | 1,54 | 2,02 | 2,84 | -048:11:25 | -18:59:18 |
| 23 | 60842000 | Br 153 Posto Tejuco | 12,82 | 14,95 | 12,40 | 9,03 | 7,51 | -049:00:33 | -19:02:22 |

| ID | Código | Nome | Q _{7,10} valid (m ³ s ⁻¹) | Q _{7,10} calc. (m ³ s ⁻¹) IDW | Q _{7,10} calc. (m ³ s ⁻¹) KO | Atlas Digital (m ³ s ⁻¹) | Deflúvios Superficiais (m ³ s ⁻¹) | Long. | Lat. |
|----|----------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| 24 | 60400000 | Ponte Melo Viana | 102,17 | 86,04 | 86,04 | 47,22 | 52,91 | -048:35:00 | -18:26:00 |
| 25 | 60285000 | Salitre - Patrocínio | 1,05 | 1,00 | 0,89 | 0,77 | 1,07 | -046:47:00 | -19:05:00 |
| 26 | 60265000 | Ibiá | 6,70 | 6,59 | 6,69 | 3,40 | 9,93 | -046:32:31 | -19:28:30 |
| 27 | 60320000 | P. J. Candido-Patrocínio | 38,97 | 41,76 | 41,76 | 19,31 | 37,98 | -047:12:00 | -19:09:00 |
| 28 | 60340000 | Porto Saracura Indianópolis | 118,06 | 83,25 | 81,77 | 37,07 | 56,22 | -047:56:03 | -19:04:07 |
| 29 | 60350000 | Porto Monjolinho | 83,36 | 73,09 | 72,84 | 37,27 | 67,41 | -047:58:00 | -19:02:00 |
| 30 | 60300000 | Antinha | 6,19 | 5,37 | 5,43 | 3,26 | 8,09 | -047:02:00 | -19:19:00 |
| 31 | 60220000 | Fazenda desemboque | 5,95 | 5,41 | 4,86 | 2,80 | 8,09 | -047:01:02 | -20:00:50 |
| 32 | 60230000 | Cachoeira Pai Joaquin | 20,04 | 14,27 | 14,88 | 8,65 | 9,67 | -047:32:00 | -19:29:00 |
| 33 | 60305000 | Porto da Mandioca | 42,74 | 34,23 | 32,75 | 17,02 | 32,42 | -047:06:00 | -19:11:00 |
| 34 | 60715000 | Fazenda Boa Vista | 3,85 | 4,62 | 4,62 | NA | NA | -049:41:18 | -17:06:25 |
| 35 | 60805000 | Ponte Sul Goiana | 69,33 | 58,72 | 55,43 | NA | NA | -050:10:18 | -18:04:14 |
| 36 | 60510010 | Engenheiro Amorim | 49,68 | 37,07 | 36,57 | NA | NA | -047:56:27 | -17:02:10 |
| 37 | 60544990 | UHE Corumbá I Montante 1 | 47,23 | 60,02 | 60,02 | NA | NA | -048:14:21 | -17:19:42 |
| 38 | 60635000 | Inhumas | 0,85 | 1,07 | 1,07 | NA | NA | -049:29:39 | -16:20:47 |
| 39 | 60640000 | Montante de Goiânia | 1,47 | 3,44 | 3,14 | NA | NA | -049:16:47 | -16:36:49 |
| 40 | 60650000 | Jusante de Goiânia | 7,48 | 5,62 | 5,17 | NA | NA | -049:11:47 | -16:40:52 |
| 41 | 60675000 | Aloândia | 19,36 | 28,81 | 28,77 | NA | NA | -049:27:27 | -17:45:11 |
| 42 | 60680000 | Ponte Meia Ponte | 21,80 | 26,29 | 17,73 | NA | NA | -049:36:06 | -18:20:56 |
| 43 | 60540000 | UHE Corumbá I Rio Piracanjuba | 9,19 | 9,19 | 8,79 | NA | NA | -048:08:14 | -17:07:53 |
| 44 | 60590000 | Fazenda Papua | 4,23 | 4,73 | 4,34 | NA | NA | -048:51:00 | -17:42:00 |

| ID | Código | Nome | Q _{7,10} valid (m ³ s ⁻¹) | Q _{7,10} calc. (m ³ s ⁻¹) IDW | Q _{7,10} calc. (m ³ s ⁻¹) KO | Atlas Digital (m ³ s ⁻¹) | Deflúvios Superficiais (m ³ s ⁻¹) | Long. | Lat. |
|----|----------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| 45 | 60591000 | UHE Itumbiara jusante ponte GO-213 | 0,36 | 4,82 | 4,38 | NA | NA | -048:50:39 | -17:44:52 |
| 46 | 60500000 | UHE batalha rio são Bartolomeu | 8,82 | 10,71 | 10,95 | NA | NA | -047:48:02 | -16:32:15 |
| 47 | 60020000 | Ponte São Marcos | 7,72 | 10,88 | 10,88 | NA | NA | -047:09:31 | -17:01:44 |
| 48 | 60030000 | Campo Alegre de Goiás | 19,06 | 18,57 | 18,39 | NA | NA | -047:33:24 | -17:30:15 |
| 49 | 60040000 | Fazenda São Domingos | 30,29 | 23,07 | 20,90 | NA | NA | -047:41:30 | -18:06:40 |
| 50 | 60750000 | Fazenda Nova do Turvo | 1,05 | 2,57 | 2,57 | NA | NA | -050:17:22 | -17:04:45 |
| 51 | 60765000 | Barra do Monjolo | 10,84 | 8,03 | 8,73 | NA | NA | -050:10:51 | -17:43:56 |
| 52 | 60772000 | Fazenda Santa Maria | 25,23 | 34,35 | 33,28 | NA | NA | -050:14:49 | -17:58:51 |
| 53 | 60300000 | Estação Verissimo | 8,34 | 6,35 | 5,85 | NA | NA | -048:10:38 | -17:58:23 |
| 54 | 60570080 | UHE Corumbá I Barramento | 118,08 | 54,15 | 48,43 | NA | NA | -048:31:58 | -17:59:16 |
| 55 | 60011000 | Patos de Minas (INMET) | 5,47 | 7,32 | 7,32 | 8,86 | 9,76 | -046:32:22 | -18:36:06 |
| 56 | 60012100 | Vicente Goulart - Jusante | 19,17 | 20,88 | 15,22 | 16,41 | 6,25 | -047:06:23 | -18:16:03 |
| 57 | 60145000 | Iraí de Minas | 0,17 | 0,24 | 0,24 | 0,27 | 0,39 | -047:27:23 | -18:58:41 |
| 58 | 60130000 | Fazenda Cachoeira | - 0,05 | 0,26 | 0,26 | 0,38 | 0,19 | -047:24:32 | -18:46:51 |
| 59 | 60845000 | Ituiutaba - Ituiutaba | 12,08 | 18,93 | 17,77 | 14,82 | 5,61 | -049:26:59 | -18:56:27 |
| 60 | 60012000 | Vicente Goulart | 22,29 | 21,00 | 15,95 | 16,36 | 19,12 | -047:07:19 | -18:17:54 |
| 61 | 60180000 | Fazenda Ponte Preta | 0,78 | 1,52 | 1,52 | 2,01 | 2,10 | -048:07:00 | -18:35:00 |
| 62 | 60381005 | Sucupira | 1,26 | 1,16 | 1,45 | 1,91 | 1,45 | -048:09:53 | -18:59:11 |
| 63 | 60272000 | Ponte Rio São João | 1,90 | 1,82 | 2,67 | 2,38 | 4,05 | -046:38:14 | -19:19:24 |

| ID | Código | Nome | Q _{7,10} valid (m ³ s ⁻¹) | Q _{7,10} calc. (m ³ s ⁻¹) IDW | Q _{7,10} calc. (m ³ s ⁻¹) KO | Atlas Digital (m ³ s ⁻¹) | Deflúvios Superficiais (m ³ s ⁻¹) | Long. | Lat. |
|----|----------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| 64 | 60615000 | Fazenda Cachoeira 2 | 0,50 | 0,44 | 0,54 | 0,54 | 0,70 | -048:46:50 | -18:41:54 |
| 65 | 60005000 | Fazenda Bom Jardim | 0,19 | 0,47 | 0,46 | 0,48 | 0,45 | -046:15:57 | -19:09:08 |
| 66 | 60110000 | Abadia dos Dourados | 1,25 | 3,90 | 3,90 | 4,89 | 5,20 | -047:24:23 | -18:29:28 |
| 67 | 60135000 | Estação Douradoquara | 1,17 | 2,24 | 2,24 | 2,89 | 2,99 | -047:40:00 | -18:27:00 |
| 68 | 60620000 | Ponte Rio Piedade/Monte Alegre | 1,09 | 3,44 | 3,17 | 4,34 | 4,31 | -049:10:00 | -18:33:00 |
| 69 | 60855000 | Ponte do Prata | 7,85 | 5,17 | 5,17 | 12,26 | 7,27 | -049:41:50 | -19:02:08 |
| 70 | 60856000 | Ponte BR-365 (Faz. Boa Vista) | 0,99 | 0,94 | 0,83 | 2,17 | 0,66 | -050:00:18 | -18:53:05 |
| 71 | 60210000 | Ponte Veloso | 50,91 | 70,98 | 70,98 | 75,79 | 97,30 | -048:33:00 | -18:20:00 |
| 72 | 60848000 | Br 153 Nossa Senhora | 1,50 | 2,02 | 2,16 | 2,22 | 1,63 | -048:51:31 | -19:30:07 |
| 73 | 60850000 | Fazenda Buriti do Prata | 5,54 | 4,84 | 4,58 | 5,99 | 8,11 | -049:10:49 | -19:21:35 |
| 74 | 60360000 | Capim Branco - Araguari | 116,55 | 54,92 | 47,80 | 40,54 | 69,17 | -048:16:00 | -18:45:00 |

Fonte: O autor.

**APÊNDICE D - RESULTADO DOS TESTES DE ADERÊNCIA PARA
DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DE PROBABILIDADE**

Tabela 20- Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de vazão mínima (Q₇) estações MG

| Código | Estação | N ³ | ΔF tabelado ⁴ ($\alpha = 0,05$) | Distribuição de probabilidade ⁵ | $\Delta F_{\text{máximo}}$ ⁶ | Conclusão ⁷ |
|----------|---------------------------|----------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| 60130000 | Faz Cachoeira | 58 | 0,18 | Gumbel | 0,14 | Aceita |
| 60145000 | Iraí de Minas | 64 | 0,17 | Gumbel | 0,15 | Aceita |
| 60150000 | Estrela do Sul | 75 | 0,16 | Gumbel | 0,09 | Aceita |
| 60250000 | Faz São Matheus | 38 | 0,22 | Gumbel | 0,09 | Aceita |
| 60265000 | Ibiá | 67 | 0,17 | Gumbel | 0,14 | Aceita |
| 60272000 | Ponte Rio São João | 17 | 0,34 | Gumbel | 0,28 | Aceita |
| 60285000 | Salitre | 17 | 0,34 | Gumbel | 0,23 | Aceita |
| 60615000 | Faz Cachoeira 2 | 64 | 0,17 | Gumbel | 0,15 | Aceita |
| 60845000 | Ituiutaba | 71 | 0,16 | Gumbel | 0,11 | Aceita |
| 60855000 | Ponte da Prata | 74 | 0,16 | Gumbel | 0,11 | Aceita |
| 60856000 | Ponte BR 365 | 20 | 0,29 | Gumbel | 0,14 | aceita |
| 60110000 | Abadia dos Dourados | 70 | 0,16 | Gumbel | 0,15 | Aceita |
| 60135000 | Douradoquara | 28 | 0,24 | Gumbel | 0,21 | Aceita |
| 60300000 | Antinha | 39 | 0,21 | Gumbel | 0,15 | Aceita |
| 60005000 | Faz Bom Jardim | 23 | 0,27 | Gumbel | 0,14 | Aceita |
| 60381000 | Faz Letreiro – Uberlândia | 42 | 0,21 | Gumbel | 0,21 | Aceita |
| 60011000 | Patos de Minas INMET | 43 | 0,21 | Gumbel | 0,14 | Aceita |
| 60012000 | Vicente Goulart | 33 | 0,23 | Gumbel | 0,14 | Aceita |

³tamanho da amostra.

⁴valor crítico para a estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov (tabelado).

⁵distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos.

⁶módulo da maior diferença entre as frequências empíricas e teóricas.

⁷resultado qualitativo da amostra de dados a uma distribuição de probabilidade teórica.

| Código | Estação | N | ΔF tabelado ($\alpha = 0,05$) | Distribuição de probabilidade | $\Delta F_{\text{máximo}}$ | Conclusão |
|----------|-------------------------|----|-----------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------|
| 60012100 | Vicente Goulart Jusante | 16 | 0,34 | Gumbel | 0,21 | Aceita |
| 60180000 | Faz Ponte Preta | 9 | 0,41 | Gumbel | 0,27 | Aceita |
| 60210000 | Ponte Veloso | 32 | 0,23 | Gumbel | 0,12 | Aceita |
| 60220000 | Desemboque | 63 | 0,17 | Gumbel | 0,15 | Aceita |
| 60230000 | Cachoeira Pai Joaquin | 15 | 0,34 | Gumbel | 0,17 | Aceita |
| 60235005 | Santa Juliana | 13 | 0,34 | Gumbel | 0,11 | Aceita |
| 60305000 | Porto da Mandioca | 16 | 0,34 | Gumbel | 0,12 | Aceita |
| 60320000 | Ponte João Cândido | 14 | 0,34 | Gumbel | 0,13 | Aceita |
| 60320000 | Porto Saracura | 19 | 0,29 | Gumbel | 0,25 | Aceita |
| 60350000 | Faz Monjolinho | 27 | 0,27 | Gumbel | 0,18 | Aceita |
| 60360000 | Faz Capim Branco | 14 | 0,34 | Gumbel | 0,16 | Aceita |
| 60381005 | Sucupira | 16 | 0,34 | Gumbel | 0,30 | Aceita |
| 60400000 | Faz Melo Viana | 11 | 0,4 | Gumbel | 0,07 | Aceita |
| 60620000 | Faz Piedade | 23 | 0,27 | Gumbel | 0,14 | Aceita |
| 60842000 | Br 153 Posto Tejuco | 20 | 0,29 | Gumbel | 0,16 | Aceita |
| 60848000 | Br 153 Nossa Senhora | 21 | 0,29 | Gumbel | 0,10 | Aceita |
| 60850000 | Faz Buriti do Prata | 74 | 0,16 | Gumbel | 0,11 | Aceita |

Fonte: O autor.

**APÊNDICE E – FUNÇÃO EM *VISUAL BASIC* PARA MONTAGEM DAS SÉRIES
HISTÓRICAS PARA VALIDAÇÃO CRUZADA**

```

Sub q90_q95()
'
' q90_q95 Macro
'
' Atalho do teclado: Ctrl+k
'
    Range("C10:N102").Select
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=99
    Selection.Copy
    Range("C10:N102,C196:N288").Select
    Range("C196").Activate
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=102
    Range ("C10:N102,C196:N288,C382:N474") .Select
    Range ("C382") .Activate
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=90
End Sub

```

```

Sub Q90Q95()
'
' Q90Q95 Macro
'
' Atalho do teclado: Ctrl+j
'
    Range("C10:N102").Select
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=0
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 65535
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With
    Selection.Copy
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=186
    Range("C10:N102,C196:N288").Select
    Range("C196").Activate
    Application.CutCopyMode = False
    With Selection.Interior
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 65535
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

```

```

Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=186
Range("C10:N102,C196:N288,C382:N474").Select
Range("C382").Activate
Application.CutCopyMode = False
With Selection.Interior
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=195
Range("C10:N102,C196:N288,C382:N474,C568:N660").Select
Range("C568").Activate
Application.CutCopyMode = False
With Selection.Interior
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=186
Range("C10:N102,C196:N288,C382:N474,C568:N660,C755:N847").Select
Range("C755").Activate
Application.CutCopyMode = False
With Selection.Interior
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=192
Range("C10:N102,C196:N288,C382:N474,C568:N660,C755:N847,C941:N1033").Select
Range("C941").Activate
Application.CutCopyMode = False
With Selection.Interior
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=192

```

```

Range("C10:N102,C196:N288,C382:N474,C568:N660,C755:N847,C941:N1033,C1127:N1219" _
).Select
Range("C1127").Activate
Application.CutCopyMode = False
With Selection.Interior
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=189
Range( _
"C10:N102,C196:N288,C382:N474,C568:N660,C755:N847,C941:N1033,C1127:N1219,C1313:N1404" _
).Select
Range("C1313").Activate
Application.CutCopyMode = False
With Selection.Interior
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=192
Range( _
"C10:N102,C196:N288,C382:N474,C568:N660,C755:N847,C941:N1033,C1127:N1219,C1313:N1404,C1498:N1590" _
).Select
Range("C1498").Activate
Application.CutCopyMode = False
With Selection.Interior
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=189
Range(
"C10:N102,C196:N288,C382:N474,C568:N660,C755:N847,C941:N1033,C1127:N1219,C1313:N1404,C1498:N1590,C1684:N1776"
) .Select
Range("C1684").Activate
Application.CutCopyMode = False
With Selection.Interior
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535

```

```

.TintAndShade = 0
.PatternTintAndShade = 0
End With
Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=105
ActiveWindow.ScrollRow = 1777
ActiveWindow.ScrollRow = 1781
ActiveWindow.ScrollRow = 1773
ActiveWindow.ScrollRow = 1756
ActiveWindow.ScrollRow = 1677
ActiveWindow.ScrollRow = 1635
ActiveWindow.ScrollRow = 1572
ActiveWindow.ScrollRow = 1522
ActiveWindow.ScrollRow = 1455
ActiveWindow.ScrollRow = 1443
ActiveWindow.ScrollRow = 1397
ActiveWindow.ScrollRow = 1380
ActiveWindow.ScrollRow = 1292
ActiveWindow.ScrollRow = 1276
ActiveWindow.ScrollRow = 1234
ActiveWindow.ScrollRow = 1204
ActiveWindow.ScrollRow = 1087
ActiveWindow.ScrollRow = 1012
ActiveWindow.ScrollRow = 778
ActiveWindow.ScrollRow = 644
ActiveWindow.ScrollRow = 619
ActiveWindow.ScrollRow = 573
ActiveWindow.ScrollRow = 556
ActiveWindow.ScrollRow = 494
ActiveWindow.ScrollRow = 473
ActiveWindow.ScrollRow = 398
ActiveWindow.ScrollRow = 364
ActiveWindow.ScrollRow = 289
ActiveWindow.ScrollRow = 264
ActiveWindow.ScrollRow = 193
ActiveWindow.ScrollRow = 172
ActiveWindow.ScrollRow = 113
ActiveWindow.ScrollRow = 92
ActiveWindow.ScrollRow = 55
ActiveWindow.ScrollRow = 42
ActiveWindow.ScrollRow = 1
Range("Q9").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks
:=False, Transpose:=False
ActiveWindow.ScrollColumn = 2
ActiveWindow.ScrollColumn = 3

```

ActiveWindow.ScrollColumn = 4
 ActiveWindow.ScrollColumn = 5
 ActiveWindow.ScrollColumn = 6
 ActiveWindow.ScrollColumn = 7
 ActiveWindow.ScrollColumn = 8
 ActiveWindow.ScrollColumn = 9
 ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=5
 Range("AD9").Select
 Application.CutCopyMode = False
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=PERCENTILE.INC(RC[-13]:R[928]C[-2],0.1)"
 Range("AD10").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=PERCENTILE.INC(R[-1]C[-13]:R[927]C[-2],0.05)"
 Range("AD11").Select
 ActiveWindow.ScrollColumn = 13
 ActiveWindow.ScrollColumn = 12
 ActiveWindow.ScrollColumn = 9
 ActiveWindow.ScrollColumn = 7
 ActiveWindow.ScrollColumn = 6
 ActiveWindow.ScrollColumn = 5
 ActiveWindow.ScrollColumn = 4
 ActiveWindow.ScrollColumn = 3
 ActiveWindow.ScrollColumn = 2
 ActiveWindow.ScrollColumn = 1
 ActiveWindow.SmallScroll Down:=78
 Range("C103:N195").Select
 ActiveWindow.SmallScroll Down:=99
 Range("C103:N195,C289:N381").Select
 Range("C289").Activate
 ActiveWindow.SmallScroll Down:=102
 Range("C103:N195,C289:N381,C475:N567").Select
 Range("C475").Activate
 ActiveWindow.SmallScroll Down:=84
 Range("C103:N195,C289:N381,C475:N567,C661:N754").Select
 Range("C661").Activate
 ActiveWindow.SmallScroll Down:=102
 Range("C103:N195,C289:N381,C475:N567,C661:N754,C848:N940").Select
 Range("C848").Activate
 ActiveWindow.SmallScroll Down:=99
 Range("C103:N195,C289:N381,C475:N567,C661:N754,C848:N940,C1034:N1126").Select
 Range("C1034").Activate
 ActiveWindow.SmallScroll Down:=96
 Range(
 "C103:N195,C289:N381,C475:N567,C661:N754,C848:N940,C1034:N1126,C1220:N1312").
 Select
 Range("C1220").Activate
 ActiveWindow.SmallScroll Down:=96

```

Range( _
    "C103:N195,C289:N381,C475:N567,C661:N754,C848:N940,C1034:N1126,C1220:N1312,C1405:N1497" _
).Select
Range("C1405").Activate
ActiveWindow.SmallScroll Down:=102
Range( _
    "C103:N195,C289:N381,C475:N567,C661:N754,C848:N940,C1034:N1126,C1220:N1312,C1405:N1497,C1591:N1683" _
).Select
Range("C1591").Activate
ActiveWindow.SmallScroll Down:=102
Range( _
    "C103:N195,C289:N381,C475:N567,C661:N754,C848:N940,C1034:N1126,C1220:N1312,C1405:N1497,C1591:N1683,C1777:N1807" _
).Select
Range("C1777").Activate
Selection.Copy
ActiveWindow.ScrollRow = 1795
ActiveWindow.ScrollRow = 1766
ActiveWindow.ScrollRow = 1559
ActiveWindow.ScrollRow = 1479
ActiveWindow.ScrollRow = 1264
ActiveWindow.ScrollRow = 1155
ActiveWindow.ScrollRow = 1024
ActiveWindow.ScrollRow = 974
ActiveWindow.ScrollRow = 868
ActiveWindow.ScrollRow = 704
ActiveWindow.ScrollRow = 620
ActiveWindow.ScrollRow = 464
ActiveWindow.ScrollRow = 460
ActiveWindow.ScrollRow = 451
ActiveWindow.ScrollRow = 426
ActiveWindow.ScrollRow = 409
ActiveWindow.ScrollRow = 359
ActiveWindow.ScrollRow = 304
ActiveWindow.ScrollRow = 165
ActiveWindow.ScrollRow = 144
ActiveWindow.ScrollRow = 1
ActiveWindow.ScrollColumn = 2
ActiveWindow.ScrollColumn = 3
ActiveWindow.ScrollColumn = 4
ActiveWindow.ScrollColumn = 6
ActiveWindow.ScrollColumn = 7
ActiveWindow.ScrollColumn = 8
ActiveWindow.ScrollColumn = 9
ActiveWindow.ScrollColumn = 10
ActiveWindow.ScrollColumn = 11
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=8

```

```
Range("AF10").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
ActiveWindow.ScrollColumn = 23
ActiveWindow.ScrollColumn = 24
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=5
Range("AS9").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=PERCENTILE.INC(R[1]C[-13]:R[869]C[-2],0.1)"
Range("AS10").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-6
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=PERCENTILE.INC(RC[-13]:R[868]C[-2],0.05)"
Range("AS11").Select
End Sub
```