

CLÍVIA DIAS COELHO

**IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS E GERAÇÃO DE RELAÇÕES
GEOMORFOLÓGICAS DE CANAIS: IMPACTOS NA MODELAGEM
HIDRODINÂMICA EM GRANDES BACIAS HIDROGRÁFICAS**

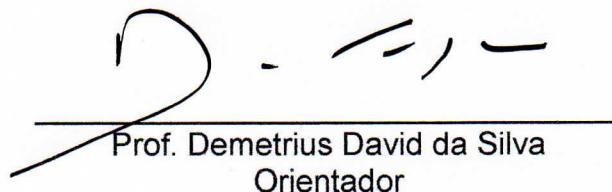
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2020

Assentimento:



Clívia Dias Coelho
Autora



Prof. Demetrius David da Silva
Orientador

Ao meu pai Danilo (*in memoriam*) e à
minha mãe Irlene, minhas maiores
inspirações,
dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter segurado a minha mão em todos os momentos difíceis e por ter aliviado a minha cruz pelo longo caminho até aqui.

À minha mãe Irlene, pelo incentivo e amor incondicionais, e por ser meu maior exemplo de luta, determinação e caráter. Você é a pessoa mais iluminada que eu conheço, mãe, e sem você eu não teria conseguido. Obrigada por estar sempre ao meu lado.

Ao meu pai, Danilo (*in memoriam*), por todo o amor, incentivo e inspiração, e por ter sido meu melhor amigo durante essa caminhada. Obrigada por ter me ensinado a nunca desistir dos meus sonhos e a sempre acreditar no meu potencial. Chegar sem você até aqui foi a coisa mais difícil que já fiz.

Ao meu irmão, Breno, pelo amor e companheirismo em todos os momentos, mesmo nos mais difíceis, mostrando que a família é a maior benção que temos nessa vida.

À minha avó Aparecida pelo incentivo, carinho e orações, e por sempre torcer pelo meu sucesso e pela minha felicidade.

À toda minha família, tios e tias, primos e primas, que me apoiaram e torceram por mim durante essa jornada.

Ao meu noivo Cristiano, pelo amor, carinho e apoio em todos os momentos, fazendo dessa jornada um caminho mais leve e feliz.

À minha amiga Agnes, por sempre estender a mão para mim em todos os momentos de dificuldade e por estar sempre ao meu lado me incentivando e apoiando.

Aos amigos da Cordão de Ouro Viçosa, que compartilharam comigo tantos momentos de alegria, por serem grandes incentivadores e apoiadores nessa minha caminhada.

Aos amigos da EAB e aos amigos viçosenses, que, mesmo longe, estiveram comigo em cada passo dessa caminhada, torcendo pelo meu sucesso.

Ao professor Demetrius David da Silva, pela paciência, confiança e amizade ao longo destes anos e pela valiosa orientação na condução deste trabalho. Obrigada por ter sido sempre meu maior exemplo dentro dessa profissão e, além disso, por ser sempre um grande apoiador para mim e toda minha família.

Ao professor Silvio Bueno Pereira (*in memoriam*), por ter me aberto as portas do mundo acadêmico e por ter sido um grande amigo e orientador nesta pesquisa e em outros trabalhos.

Aos professores e coorientadores Michel Castro Moreira e Naziano Pantoja Filizola Junior, pelas ideias, críticas e sugestões, tão relevantes no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores e pós-graduandos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em especial ao Ayan Fleischmann, pelas orientações e sugestões para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca, professores Celso Bandeira de Melo Ribeiro, Eduardo Antônio Gomes Marques, Marília Carvalho de Melo e Ricardo Santos Silva Amorim, pelas contribuições fundamentais à tese.

Aos professores e colegas dos projetos “Renova” e “Juntos pelo Araguaia”, que me proporcionaram inúmeros momentos de aprendizado, companheirismo e amizade.

Aos amigos de pós-graduação do Centro de Referência em Recursos Hídricos, por dividirem todas as dificuldades e conquistas comigo.

Aos professores e aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela dedicação e auxílio durante a realização deste curso.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

E a todos que de alguma formam contribuíram para que eu chegasse até aqui, o meu muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

(Madre Teresa de Calcutá)

BIOGRAFIA

Clívia Dias Coelho, filha de Danilo José da Silva Coelho e Irlene Maria Dias Coelho, nasceu em Teófilo Otoni, MG, em 15 de fevereiro de 1990.

Em março de 2008, ingressou no curso de Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, concluindo-o em setembro de 2013. Durante a graduação, foi bolsista de Iniciação Científica por um ano pelo programa PIBIC/CNPq, bolsista de monitoria em Química Analítica por dois anos e bolsista do programa de graduação sanduíche CAPES/FIPSE, cursando um período letivo na University of Georgia (UGA), em Athens, Georgia (EUA).

Em fevereiro de 2016, obteve o título de *Magister Scientiae* no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), na área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais.

Em março de 2016, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), na área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2020.

RESUMO

COELHO, Clivia Dias, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **Identificação de Regiões Homogêneas e Geração de Relações Geomorfológicas de Canais: Impactos na Modelagem Hidrodinâmica em Grandes Bacias Hidrográficas.** Orientador: Demetrius David da Silva. Coorientadores: Michel Castro Moreira, Naziano Pantoja Filizola Junior e Silvio Bueno Pereira.

A modelagem hidrológica em grande escala é fundamental para a gestão de recursos hídricos, especialmente em países da América do Sul, onde existe baixa densidade de estações fluviométricas. Geralmente, as dimensões transversais dos canais para aplicação na modelagem hidrológica têm sido estimadas por equações geomorfológicas (EGs) que representam características médias de uma região. Levando-se em conta que a modelagem hidrológica em diversos estudos demonstrou sensibilidade às dimensões dos canais, acredita-se que o aperfeiçoamento da sua representação pode ser feito através do refinamento das EGs, discretizadas para regiões hidrologicamente homogêneas (RHHs). Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi investigar o impacto do aperfeiçoamento da representação das dimensões dos canais, através do refinamento de EGs, na modelagem hidrológica-hidrodinâmica utilizando o software MGB SA nas bacias dos rios Purus, Doce, Parnaíba, Paraguai e Uruguai. Para a obtenção das dimensões dos canais, foram utilizados dados de perfil transversal de estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas. O agrupamento das estações em RHHs com base na geomorfologia dos canais foi feito utilizando duas metodologias: Análise de Cluster K-means e Conveniência Geográfica. Em seguida, foram desenvolvidas EGs para cada bacia e para as RHHs. Quando não foi possível gerar RHHs, analisou-se o uso de uma equação individualizada para o rio principal. Os valores de largura e profundidade estimados pelas EGs foram então comparados com os dados observados e os obtidos nos bancos globais GRWD (Andreadis et al., 2013) e GRWL (Allen e Pavelsky, 2018). Foram realizadas duas simulações utilizando o modelo MGB SA, sendo a primeira com as EGs com melhor desempenho na bacia; e a segunda com os dados globais GRWD. Os valores estimados foram então comparados com os dados observados das estações fluviométricas. Os resultados permitiram constatar que a análise de cluster K-means foi eficiente na definição de RHHs apenas para a bacia do rio Purus, enquanto a Conveniência Geográfica permitiu a definição de RHHs para as bacias dos rios Purus, Parnaíba e Uruguai. As EGs para toda bacia melhoraram as estimativas de largura e profundidade em comparação aos

dados globais em todas as bacias, enquanto as EGs para as RHHs proporcionaram melhores estimativas para as bacias dos rios Purus, Uruguai e Parnaíba. Já o uso de equações para o rio principal nas bacias dos rios Doce e Paraguai não proporcionou melhoria nas estimativas das dimensões dos canais destas bacias. O uso de EGs mais refinadas proporcionou melhora no desempenho da modelagem de vazão e nível com o modelo MGB SA apenas na bacia do rio Purus, devido ao fato de que o aprimoramento da representação dos canais apresenta efeitos maiores em regiões com grandes planícies de inundação. A diferença de desempenho na modelagem com o uso das EGs não apresentou relação direta com a área de drenagem, estando mais relacionada à presença de planícies de inundação. Por fim, os dados globais GRWD podem ser utilizados com relativa confiança para modelagem de vazão e nível com o modelo MGB SA em bacias com rios mais declivosos, enquanto as EGs mais refinadas devem ser utilizadas para aplicações em bacias com grandes planícies de inundação e hidrodinâmica simples.

Palavras-chave: Geometria de canais. Regiões hidrologicamente homogêneas. Modelagem hidrológica.

ABSTRACT

COELHO, Clívia Dias, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2020. **Identification of Homogeneous Regions and Generation of Hydraulic Geometries Relationships: Impacts on Hydrodynamic Modeling in Large Watersheds.** Adviser: Demetrius David da Silva. Co-advisers: Michel Castro Moreira, Naziano Pantoja Filizola Junior and Silvio Bueno Pereira.

Large-scale hydrological modeling is essential for water resources management, especially in countries in South America, where there is a low density of fluvimetric stations. Generally, the cross-section dimensions of river channels for application in hydrological modeling have been estimated by hydraulic geometries (HG) relationships that represent average characteristics of a region. Taking into account that the hydrological modeling in several studies demonstrated sensitivity to the dimensions of river channels, it is assumed that the improvement of its representation can be done through the refinement of the HG relationships, discretized for hydrologically homogeneous regions (HHRs). Thus, the objective of this study was to investigate the impact of the improvement of river channels dimensions representation, through the refinement of HG relationships, in the hydrological-hydrodynamic modeling using the MGB SA software in the Purus, Doce, Parnaíba, Paraguay and Uruguay basins. To obtain the dimensions of the river channels, cross-sectional data from fluvimetric stations of the Brazilian National Water Agency were used. The grouping of stations in HHRs based on channels geomorphology was done using two methodologies: K-means Cluster Analysis and Geographic Convenience. Then, HG relationships were developed for each basin and HHRs. When it was not possible to generate HHRs, the use of an individualized relationships for the main river was analyzed. The width and depth values estimated by the HG relationships were then compared with observed data and data from the global banks GRWD (Andreadis et al., 2013) and GRWL (Allen and Pavelsky, 2018). Two simulations were performed using the MGB SA model with different geomorphological databases: a) HG relationships with better performance in the basin and b) global GRWD data. The simulated values were then compared with the observed data from the fluvimetric stations. The results showed that that the K-means cluster analysis was efficient in defining HHRs only for the Purus river basin, while the Geographical Convenience allowed the definition of HHRs for the Purus, Parnaíba and Uruguay basins. The HG relationships for the entire basin improved the width and depth estimates compared to global data banks in all basins, while the HG

relationships for the HHRs provided better estimates for the Purus, Uruguay and Parnaiba river basins. The use of equations for the main river in the Doce and Paraguay river basins did not improve the estimates of channel dimensions in these basins. The use of more refined HG relationships provided an improvement in the performance of the streamflow and level modeling with the MGB SA model only in the Purus river basin, due to the fact that the improvement of the representation of the channel geomorphology has greater effects in regions with large floodplains. The difference in modeling performance with the use of HG relationships was not directly related to the drainage area of the studied basins, being more related to the presence of floodplains and backwater effects. Finally, the global GRWD data can be used with relative confidence for streamflow and water level modeling with the MGB SA model in basins with more steep rivers, while the more refined HG relationships should be used for applications in basins with large floodplains and simple hydrodynamics.

Keywords: Channel geometry. Hydrological homogeneous regions. Hydrological modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da estrutura geral do modelo MGB.....	27
Figura 2 - Seção transversal natural representada por uma seção retangular.....	31
Figura 3 - Bacias hidrográficas utilizadas no estudo.	38
Figura 4 - Bacia hidrográfica do rio Purus.	40
Figura 5 - Bacia hidrográfica do rio Doce.	42
Figura 6 - Bacia hidrográfica do rio Parnaíba.	44
Figura 7 - Porção da bacia hidrográfica do rio Paraguai correspondente à área de drenagem das estações fluviométricas localizadas no território brasileiro.	46
Figura 8 - Porção da bacia hidrográfica do rio Uruguai correspondente à área de drenagem das estações fluviométricas localizadas no território brasileiro.	48
Figura 9 - Regiões Hidrologicamente Homogêneas encontradas para a bacia do rio Purus pelo método de análise de cluster K-means.	64
Figura 10 - Regiões Hidrologicamente Homogêneas encontradas para a bacia do rio Purus pelo método da Conveniência Geográfica.	66
Figura 11 - Regiões Hidrologicamente Homogêneas encontradas para a bacia do rio Parnaíba pelo método da Conveniência Geográfica.	83
Figura 12 - Regiões Hidrologicamente Homogêneas encontradas para a bacia do rio Uruguai pelo método da Conveniência Geográfica.	99
Figura 13 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e utilizando as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Purus.	103
Figura 14 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e utilizando as EGs para toda bacia do rio Doce.....	105
Figura 15 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e utilizando as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Parnaíba.	107
Figura 16 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e utilizando as EGs para toda bacia do rio Paraguai...	109
Figura 17 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e utilizando as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Uruguai.	110
Figura 18 - Comparação entre as vazões simuladas utilizando dados GRWD, as	

simuladas utilizando EGs para as RHHs da bacia do rio Purus e as observadas nas estações fluviométricas localizadas na bacia.	112
Figura 19 - Diferença do desempenho do MGB SA na modelagem da vazão utilizando os dados GRWD e as EGs para toda a bacia (d_KGE) em função da área de drenagem.	113
Figura 20 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Purus.	114
Figura 21 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para toda a bacia do rio do rio Doce.	115
Figura 22 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Parnaíba.	116
Figura 23 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para toda a bacia do rio do rio Paraguai.	117
Figura 24 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Uruguai.	118
Figura 25 - Comparação entre anomalias simuladas utilizando dados geomorfológicos de GRWD, e oriundos das EGs com as anomalias observadas do nível da água de estações da bacia do rio Purus.	119
Figura 26 - Comparação entre níveis simulados utilizando os dados geomorfológicos GRWD e os oriundos das EGs com os níveis observados das estações fluviométricas das bacias analisadas.	121
Figura 27 - Diferença do desempenho do MGB SA na modelagem de nível utilizando os dados GRWD e as EGs para toda bacia (d_NSE) em função da área de drenagem.	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos hidrológicos e métodos de propagação de vazão utilizados.....	26
Tabela 2 - Principais características das bacias hidrográficas estudadas.....	48
Tabela 3 - Combinações de características de aglomeração utilizadas no método de análise de cluster K-means	52
Tabela 4 - Resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Purus.....	61
Tabela 5 - Equações geomorfológicas obtidas para a bacia do rio Purus.....	65
Tabela 6 - Índices estatísticos da comparação entre os dados de largura e profundidade obtidos por diferentes conjuntos de equações geomorfológicas e os dados observados em estações fluviométricas da bacia do rio Purus	68
Tabela 7 - Resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Doce.....	70
Tabela 8 - Equações geomorfológicas para a bacia do rio Doce	74
Tabela 9 - Índices estatísticos da comparação entre os dados de largura e profundidade obtidos por diferentes conjuntos de equações geomorfológicas e os dados observados em estações fluviométricas da bacia do rio Doce	75
Tabela 10 - Resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Parnaíba.....	77
Tabela 11 - Equações geomorfológicas para a bacia do rio Parnaíba	81
Tabela 12 - Índices estatísticos da comparação entre os dados de largura e profundidade obtidos por diferentes conjuntos de equações geomorfológicas e os dados observados em estações fluviométricas da bacia do rio Parnaíba	84
Tabela 13 - Resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Paraguai.....	86
Tabela 14 - Equações geomorfológicas para a bacia do rio Paraguai	90
Tabela 15 - Índices estatísticos da comparação entre os dados de largura e profundidade obtidos por diferentes conjuntos de equações geomorfológicas e os dados observados nas estações fluviométricas da bacia do rio Paraguai	91
Tabela 16 - Resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Uruguai.....	93
Tabela 17 - Equações geomorfológicas obtidas para a bacia do rio Uruguai	97
Tabela 18 - Índices estatísticos da comparação entre os dados de largura e	

profundidade obtidos por diferentes conjuntos de equações geomorfológicas e os dados observados nas estações fluviométricas da bacia do rio Uruguai 100

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	21
2.1. Objetivo Geral	21
2.2. Objetivos Específicos	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1. Modelagem Hidrológica	22
3.1.1. Modelos Hidrológicos	23
3.1.2. O Modelo MGB SA	26
3.2. Equações Geomorfológicas	30
3.3. Regiões Hidrologicamente Homogêneas	33
3.3.1. Método da Conveniência Geográfica	33
3.3.2. Método de Análise de Cluster	34
4. MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1. Caracterização da área de estudo	37
4.1.1. Geomorfologia dos canais	49
4.1.2. Caracterização das estações fluviométricas	49
4.2. Regiões Hidrologicamente Homogêneas	50
4.2.1. Análise de Cluster - Método K-means	51
4.2.2. Conveniência Geográfica	53
4.3. Equações geomorfológicas	54
4.3.1. Comparação entre as Equações Geomorfológicas e os dados observados	54
4.3.2. Comparação entre as Equações Geomorfológicas e os bancos de dados globais de largura e profundidade	55
4.4. Modelagem Hidrodinâmica com o MGB SA	56
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1. Regiões Hidrologicamente Homogêneas e Equações	

Geomorfológicas	59
5.2. Modelagem Hidrodinâmica com o MGB SA.....	102
5.2.1. Modelagem dos dados de vazão.....	102
5.2.2. Modelagem dos dados de nível de água	113
6. CONCLUSÕES.....	124
REFERÊNCIAS	126
APÊNDICES	139
APÊNDICE A - Gráficos dos perfis transversais das estações fluviométricas analisadas neste estudo	140
APÊNDICE B - Largura (B) e profundidade média (Hm) dos canais de todas as estações fluviométricas analisadas neste estudo	197
APÊNDICE C - Resultados do método de análise de cluster K-means com nove combinações de características aglomerativas e número de clusters variando de dois a cinco	205

1. INTRODUÇÃO

Simulações hidrológicas das vazões e de seus processos relacionados são vitais para apoiar a gestão de recursos hídricos em relação à segurança hídrica, riscos naturais, navegação, agricultura e produção de energia, de modo que simulações confiáveis auxiliam os formuladores de políticas e os tomadores de decisão, promovendo ações para reduzir os riscos e os impactos sobre os recursos hídricos nas condições atuais e futuras (Siqueira et al., 2018a).

A fim de se gerar as simulações hidrológicas, os modelos hidrológicos são ferramentas que permitem simular a fase terrestre do ciclo hidrológico. Apesar das limitações relacionadas à escassez de dados observados, especialmente em países em desenvolvimento, os avanços em recursos computacionais e Sensoriamento Remoto estão permitindo a utilização desses modelos para escalas continentais e globais (Bierkens, 2015; 2015; Wood et al., 2011).

Dentre os vários modelos hidrológicos disponíveis, o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB), desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tem obtido resultados adequados quando aplicado em diversas bacias do Brasil e da América Latina. Em sua última versão, com a inserção de um módulo inercial proposto por Pontes et al. (2013), o modelo MGB foi calibrado e validado por Siqueira et al. (2018a) para toda a América do Sul (MGB SA), tendo os resultados mostrado concordância satisfatória entre as vazões e os níveis simulados com os observados, atestando a aplicabilidade desse modelo em escalas regional e continental.

Uma característica dos modelos hidrológicos distribuídos, aplicados em escalas regionais ou maiores, é a necessidade de se ter as dimensões transversais de todos os canais que constituem a rede fluvial no domínio do estudo, as quais podem ser obtidas a partir de medições *in situ*, que são confiáveis, mas limitadas a um pequeno número de locais. Em decorrência disso, as dimensões das seções transversais dos canais têm sido geralmente estimadas por equações empíricas, baseadas nas características da bacia, como a área de drenagem e estatísticas de vazão (Luo et al., 2017).

Além da necessidade do conhecimento da área de drenagem e estatísticas de vazão, a simulação hidrológica tem se mostrado muito sensível à geometria do rio (Getirana et al., 2012; Paiva et al., 2013; Yamazaki et al., 2011), o que torna

necessária a adequada definição dos parâmetros dos canais, como largura e profundidade de inundação.

Alguns estudos de modelagem empregam relações entre a geometria do canal e a área de drenagem a montante para bacias de escalas regional e continental (Coe et al., 2007; Paiva et al., 2011; Paiva et al., 2013, Pontes et al, 2017). Por simplicidade, esses trabalhos consideram que as seções transversais dos rios são retangulares e utilizam dados medidos de largura e profundidade do rio em diversos locais, associados a diferentes valores de área de drenagem.

Entre os exemplos de equações geomorfológicas (EGs) desenvolvidas por meio da utilização de perfis transversais oriundos de estações de medição de vazão para bacias de escalas regionais/continentais estão as desenvolvidas por Bieger et al. (2015) para as divisões fisiográficas dos Estados Unidos; por Paiva et al. (2013), para seis das maiores sub-bacias amazônicas; por Pontes et al. (2017), para a bacia do rio da Prata; e por Fagundes et al. (2017), para a bacia do rio Doce.

Já em escala global, tem-se como exemplo o trabalho de Andreadis et al. (2013), que desenvolveram um banco de dados mundial de larguras e profundidades de canal, denominado *Simple Global River Bankfull Width and Depth Database* (GRWD), com base no conjunto de dados de hidrografia HydroSHEDS e nos dados de vazão do GRDC (The Global Runoff Data Center).

Recentemente, Allen e Pavelsky (2018) construíram também um banco global de dados de largura de rios através de imagens Landsat, denominado *Global River Widths from Landsat* (GRWL). Essa base de dados, apesar de ser mais precisa do que as bases de dados globais obtidas anteriormente, não contempla os dados de profundidade dos rios, que são indispensáveis na modelagem hidrológica-hidrodinâmica, e também considera apenas rios com larguras maiores que 30 m, o que equivale a um pixel da imagem Landsat.

Na maioria dos estudos citados, as dimensões transversais dos canais foram estimadas usando um conjunto de fórmulas de geometria do canal e parâmetros correspondentes que representam as características médias de uma bacia, de uma região ou, até mesmo, de um continente. Assim, para diferentes sub-bacias, as dimensões transversais dos canais derivadas das mesmas equações e parâmetros contêm vieses de várias magnitudes (Luo et al., 2017).

Quando o interesse, portanto, é realizar análises dos processos hidrológicos em escala regional, pode-se dividir a região de interesse em sub-regiões, a fim de

agrupar aquelas que apresentam comportamento hidrológico semelhante (Beskow et al., 2014). Essas regiões são denominadas Regiões Hidrologicamente Homogêneas (RHHs) e consistem de regiões que subdividem uma área maior, agrupadas com base na similaridade de suas características hidrológicas, considerando, por exemplo, o comportamento das vazões ou os aspectos físicos e climáticos.

Existem diversas metodologias para identificação de RHHs, porém, ainda não existe consenso sobre qual delas deve ser aplicada em cada situação. Essas metodologias podem ser divididas em quatro tipologias gerais: (i) Conveniência Geográfica; (ii) Análise de Agrupamentos; (iii) Análise da Distribuição de Frequência; e (iv) Híbridas (Euclides et al., 2001; Naghettini e Pinto, 2007).

Considerando que os resultados da modelagem hidrológica em diversos estudos (Getirana et al., 2012; Neal et al., 2012; Paiva et al., 2013; Yamazaki et al., 2011) demonstraram sensibilidade às dimensões transversais do canal, tem-se como hipótese que o aperfeiçoamento da representação do canal na modelagem hidrodinâmica pode ser feito através do refinamento das relações geomorfológicas, discretizadas para regiões que são semelhantes em relação às características físicas dos canais, denominadas Regiões Hidrologicamente Homogêneas, com base nas características geomorfológicas dos canais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o impacto do aperfeiçoamento da representação das larguras e profundidades de canais através do refinamento de equações geomorfológicas na modelagem hidrológica-hidrodinâmica utilizando o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB) calibrado para toda América Latina (MGB SA).

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar Regiões Hidrologicamente Homogêneas para cinco bacias hidrográficas no território brasileiro com base na largura e na profundidade dos canais;
- Estabelecer equações geomorfológicas para as seções transversais dos cursos d'água utilizando dados de largura e de profundidade dos canais obtidos em campo;
- Comparar os dados de largura e de profundidade dos canais das bacias estudadas obtidos por equações geomorfológicas com os dados de bancos mundiais de larguras e profundidades de canal; e
- Analisar as estimativas de vazão e nível obtidas pelo modelo MGB SA para as bacias estudadas utilizando os dados de largura e profundidade de canais obtidos por equações geomorfológicas e os dados obtidos de bancos mundiais de larguras e profundidades de canal.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Modelagem Hidrológica

O modelo hidrológico é uma das ferramentas desenvolvidas pela ciência para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. A simulação hidrológica é limitada pela heterogeneidade física da bacia e dos processos envolvidos, o que tem propiciado o desenvolvimento de um grande número de modelos que se diferenciam em função dos dados utilizados, da discretização, das prioridades da representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados (Tucci, 1998).

De acordo com Tucci (2010), os modelos hidrológicos surgiram com a necessidade de se obter séries hidrológicas mais longas e representativas de vazões para diferentes projetos de recursos hídricos, uma vez que as séries de precipitação normalmente são mais longas que as de vazão. Além disso, com as modificações das bacias pela construção de obras hidráulicas e alterações no uso e ocupação da terra, as séries de vazões deixaram de ser homogêneas ou estacionárias. Partindo da precipitação, então, é possível determinar ou estimar as vazões desconhecidas para os novos cenários existentes ou previstos para as bacias.

A modelagem hidrológica surgiu, há mais de um século, a partir do equacionamento de alguns processos hidrológicos, como, por exemplo, o Método Racional, proposto por Mulvany por volta de 1850, destinado a prever a vazão máxima decorrente de um evento de chuva (Todini, 2007). Mas os grandes avanços começaram, de fato, a partir de 1930, quando agências governamentais de países desenvolvidos começaram a criar seus próprios programas de pesquisas hidrológicas. Os modelos desenvolvidos nessas pesquisas tratavam de descrever os processos de cada componente do ciclo hidrológico, como o Hidrograma Unitário, proposto por Sherman em 1932, e a Teoria da Infiltração, proposta por Horton em 1933 (Fayal, 2008).

Com o aumento da disponibilidade de computadores, a partir do final da década de 1950, criaram-se condições que propiciaram acelerado processo de desenvolvimento de modelos hidrológicos baseados em conceitos físicos, sendo esta uma alternativa em relação aos modelos até então existentes e que utilizavam somente métodos estocásticos (Tucci, 1998). Com a disseminação do uso de

computadores nas décadas de 1960 e 1970 e a maior disponibilidade de dados hidrometeorológicos, a abordagem espacial distribuída começou a ser aplicada na modelagem hidrológica (Beven, 1979; Freeze e Harlan, 1969). Desde então, a modelagem hidrológica tem sido aperfeiçoada e tem originado modelos diversos, variando de acordo com os objetivos e a escala de aplicação.

3.1.1. Modelos Hidrológicos

Quanto à representação da variabilidade espacial, os modelos hidrológicos podem ser do tipo concentrado ou distribuído. Os modelos concentrados representam a bacia de forma homogênea, como um único elemento. Já os modelos distribuídos procuram representar a variabilidade espacial das características hidrológicas através da subdivisão da bacia hidrográfica em diversas unidades menores, que podem ser células regulares ou pequenas sub-bacias (Paz et al., 2011).

Os modelos distribuídos, geralmente, possuem dois módulos: o vertical e o horizontal. No módulo vertical são simulados os processos de balanço hídrico no solo, interceptação e evapotranspiração. No módulo horizontal são simulados os processos de escoamento superficial, subsuperficial, subterrâneo e propagação da vazão nos rios, na planície de inundação e em reservatórios (Pontes, 2016).

O processo de propagação de vazão em rios do módulo horizontal pode ser simulado utilizando uma, duas ou três dimensões. Normalmente em rios utilizam-se modelos unidimensionais, pois o escoamento acontece predominantemente na direção longitudinal. Dessa forma, uma das maneiras de simular o processo de propagação de vazão é utilizando as equações da continuidade e dinâmica. Esse conjunto de equações é conhecido como equações de Saint-Venant (Chanson, 2004; Miller e Cunge, 1975).

Desconsiderando-se alguns termos das equações de continuidade e dinâmica, podem-se obter equações simplificadas, como as equações Inercial, Difusão, Onda Cinemática e, ainda, modelos de propagação como o Muskingum-Cunge (Tucci, 1998). Estas equações simplificadas produzem resultados aceitáveis na maior parte das aplicações, apesar de exigirem relativamente poucos dados de entrada (Paiva et al., 2011).

Há certos tipos de rios e bacias hidrográficas, no entanto, em que as abordagens simplificadas adotadas nos módulos de propagação de vazão dos

modelos hidrológicos não são adequadas. Este é o caso de rios de baixa declividade, rios com longos trechos submetidos ao remanso de barragens, rios com planícies de inundação e rios das regiões litorâneas que sofrem os efeitos das marés (Paiva et al., 2011).

Para resolver esses problemas, existem modelos hidrológicos que utilizam, no seu módulo de propagação de vazões, as equações completas do escoamento unidimensional em rios (Equações de Saint-Venant). Exemplos deste tipo de abordagem são os modelos MGB com propagação hidrodinâmica (Paiva et al., 2011) e o modelo MIKE SHE (Thompson et al., 2004).

O uso das equações de Saint-Venant apresenta alguns inconvenientes, uma vez que a sua solução é mais complexa, resultando em códigos computacionais mais extensos e de mais difícil implementação. Os modelos hidrodinâmicos baseados nas equações de Saint-Venant também exigem maior quantidade de dados de entrada e, quando aplicados em bacias de grande escala, requerem cuidadoso pré-processamento dos dados topográficos (Paiva, 2009).

Existem, atualmente, diversos modelos hidrológicos e hidrodinâmicos que podem ser aplicados a bacias de escalas regional e continental. Dentre os modelos hidrológicos que representam os processos verticais do ciclo hidrológico e são mais focados no balanço hídrico no solo e vegetação, podem ser citados os modelos VIC (Liang, et al., 1995), ISBA (Decharme e Douville, 2007), JULES (Essery et al., 2003), LAD (Milly e Shmakin, 2002), Macro-PDM (Gosling e Arnell, 2011), NOAH-MP (Yang et al., 2011), TOPLATS (modelos TOPMODEL e SVAT) (Bormann, 2006) e WASMOD-M (Widén-Nilsson et al., 2009). A desvantagem desses modelos está associada principalmente ao fato de não representarem a propagação de vazão em rios e planícies, o que é um processo hidrológico de extrema importância em bacias como, por exemplo, a amazônica (Pontes, 2016).

Com relação aos modelos focados apenas na propagação de vazão em rios e planícies, podem ser citados o modelo HEC-RAS (USACE, 2016), LISFLOOD-FP (Bates et al., 2010), TRIP (Oki e Sud, 1998) e CaMa-Flood (Yamazaki et al., 2013). O modelo LISFLOOD-FP, por exemplo, representa a propagação de vazão por equações mais simples, como a equação da onda cinemática, até equações mais complexas, como o conjunto de equações de Saint-Venant, porém é mais utilizado em pequenas escalas. Em escala global, o modelo CaMa-Flood representa a propagação de vazão utilizando o modelo hidrodinâmico não-inercial ou o modelo

inercial. Já o modelo TRIP utiliza uma formulação mais simplificada (baseada na continuidade) para propagação de vazão (Pontes, 2016).

A desvantagem dos modelos que utilizam apenas o módulo de propagação de vazão é que eles não representam os processos verticais do ciclo hidrológico, tendo que ser acoplados a modelos hidrológicos ou utilizarem os resultados desses como dados de entrada. Nesse sentido, existem algumas pesquisas que utilizam dois modelos (um hidrológico e um hidráulico) para simulação de grandes bacias, como é o caso dos modelos H08 (Hanasaki et al., 2008a,b), H-TESEL (Balsamo et al., 2009), MATSIRO (Koirala et al., 2014) e ISBA (Decharme et al., 2012), que foram utilizados em conjunto com o modelo TRIP. Além desses modelos, o modelo VIC também utiliza um modelo de propagação descrito por Lohmann et al. (1996; 1998).

Finalmente, existem os modelos distribuídos de grande escala que simulam tanto o balanço vertical como a propagação de vazão em rios de forma integrada, como o modelo CLM - Community Land Model (Oleson et al., 2013), E-HYPE - European Hydrological Predictions for the Environmental (Donnelly et al., 2016), G2G - Grid to Grid (Bell et al., 2007), GWAVA - Global Water Availability Assessment method (Haddeland et al., 2011), LISFLOOD - Distributed Water Balance and Flood Simulation Model (Burek et al., 2013), LPJml (Sitch et al., 2003), mHM - Mesoscale Hydrologic Model (Samaniego et al., 2014), MPI-HM - Max Planck Institute Hydrology Model (Stacke e Hagemann, 2012), ORCHIDEE - Organizing Carbon and Hydrology in Dynamic Ecosystems (Ngo-Duc et al., 2007), PCR-GLOBWB (van Beek e Bierkens, 2008), SWAT - Soil & Water Assessment Tool (Neitsch et al., 2011), SWIM - Soil and Water Integrated Model (Krysanova et al., 2000), WaterGAP - Global Freshwater Model (Alcamo et al., 2003), WBMplus - Water Balance Model (Wisser et al., 2010), a versão tradicional do MGB - Modelo de Grandes Bacias (Collischonn et al., 2007), a versão do MGB com propagação hidrodinâmica (Paiva et al., 2011) e a versão com propagação inercial (Pontes et al., 2017).

A Tabela 1, adaptada de Kauffeldt et al. (2016), apresenta um resumo dos modelos acoplados e integrados citados e os métodos de propagação de vazão neles utilizados. Além disso, a tabela também apresenta os modelos que possuem apenas o balanço hídrico vertical (marcados por um “x”).

Tabela 1 - Modelos hidrológicos e métodos de propagação de vazão utilizados

Modelos Hidrológicos	Propagação de vazão*
CLM	Reservatório Linear
E-HYPE	Reservatório Linear
G2G	Reservatório Linear
GWAVA	Muskingum
H08	x (TRIP)
H-TESEL	x (TRIP/CaMa-Flood)
JULES	X
LaD	X
LISFLOOD	Onda Cinemática / Difusão
LPJml	Reservatório Linear
Mac-PDM	X
MATSIRO	x (TRIP)
mHM	Muskingum
MPI-HM	Reservatório Linear
NOAH-MP	X
ORCHIDEE	Reservatório Linear
PCR-GLOBWB	Onda Cinemática com Planície
SWAT	Muskingum-Cunge
SWIM	Muskingum
TOPLATS	X
VIC	Relação entre vazão e velocidade
WASMOD-M	X
WaterGAP	Reservatório Linear
WBMplus	Muskingum-Cunge / Reservatório Linear
SIRIPLAN	Saint-Vernant e Inercial
MGB	Muskingum-Cunge / Saint-Vernant / Inercial

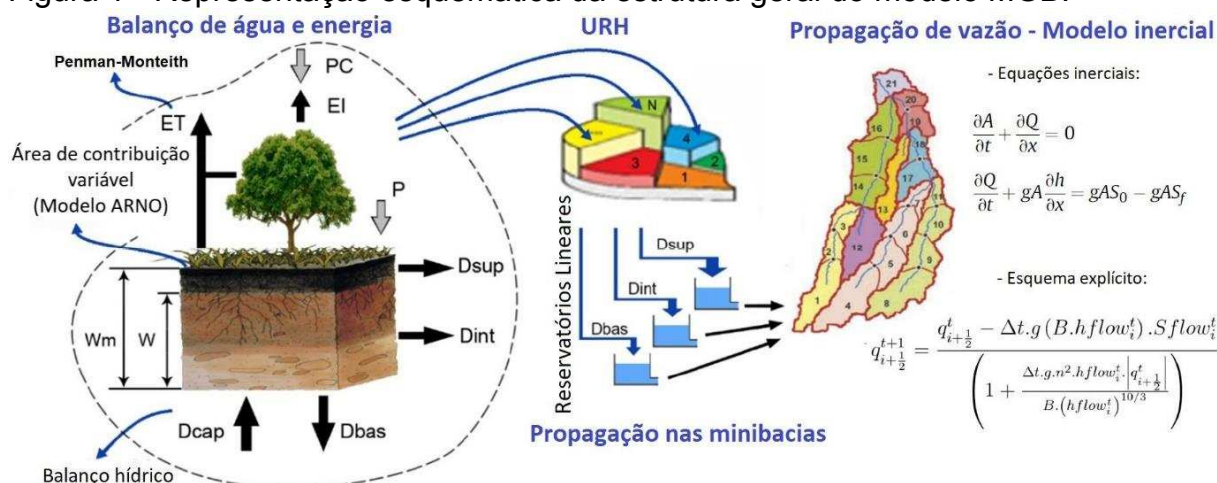
*A letra "x" indica que o modelo não possui módulo de propagação de vazão próprio.

Fonte: adaptado de Kauffeldt et al. (2016).

3.1.2. O Modelo MGB SA

O Modelo de Grandes Bacias (MGB) é um modelo hidrológico distribuído de grande escala baseado em processos que utilizam equações físicas e conceituais para simular, com passo de tempo diário ou horário, os processos hidrológicos na superfície terrestre, divididos em quatro módulos: balanço hídrico no solo; balanço de energia e evapotranspiração; interceptação, geração e propagação de escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo nos elementos de discretização da bacia hidrográfica; e propagação de vazão na rede de drenagem (Figura 1).

Figura 1 - Representação esquemática da estrutura geral do modelo MGB.



Fonte: Adaptado de Siqueira et al. (2018b).

O MGB foi apresentado por Collischonn et al. (2007) e, posteriormente, aperfeiçoado por Paiva et al. (2013), Pontes et al. (2017) e Fleischmann et al. (2018). Segundo Paiva et al. (2011), o diferencial do modelo MGB é permitir a aplicação de um método que represente os processos hidrológicos em grandes bacias hidrográficas de forma satisfatória em condições de baixa disponibilidade de dados hidrológicos, como é o caso de muitas bacias brasileiras.

A modelagem de uma bacia hidrográfica com o MGB demanda como dados de entrada: dados diários de precipitação, dados climatológicos, o mapa de uso e cobertura da terra, o mapa de solos e o modelo digital de elevação hidrograficamente condicionado (MDEHC), de onde são extraídas as características físicas das sub-bacias como área de drenagem, comprimento do talvegue, largura dos canais e declividade do terreno e dos cursos d'água. Além desses dados, é importante a disponibilidade de dados batimétricos de algumas seções transversais, de forma a calibrar a relação entre a área de drenagem e os parâmetros de simulação das características morfométricas. São necessários, ainda, os dados de vazão e do nível d'água, para fins de calibração e validação do modelo.

O modelo MGB trabalha com uma discretização da área de estudo em minibacias, as quais são ainda subdivididas em Unidades de Respostas Hidrológicas (URHs), que são geralmente produzidas pela combinação de mapas de solo e cobertura da terra. Os balanços verticais de água e energia são calculados independentemente para cada URH de cada minibacia, considerando-se uma única camada de solo, de acordo com a equação:

$$W_{i,j}^t = W_{i,j}^{t-1} + (P_{i,j} - ET_{i,j} - D_{sup_{i,j}} - D_{int_{i,j}} - D_{bas_{i,j}} + D_{inf_{i,j}}) \Delta t \quad (1)$$

em que:

- $W_{i,j}$ = armazenamento de água na camada superficial do solo na URH j da minibacia i (mm);
- $P_{i,j}$ = parcela da precipitação que atinge a superfície do solo ($\text{mm } \Delta t^{-1}$);
- $ET_{i,j}$ = evapotranspiração da água no solo (mm);
- $D_{sup_{i,j}}$ = escoamento superficial ($\text{mm } \Delta t^{-1}$);
- $D_{int_{i,j}}$ = escoamento sub-superficial ou interno ($\text{mm } \Delta t^{-1}$);
- $D_{bas_{i,j}}$ = escoamento para o reservatório de água subterrânea ($\text{mm } \Delta t^{-1}$);
- $D_{inf_{i,j}}$ = infiltração de áreas alagadas para o solo ($\text{mm } \Delta t^{-1}$); e
- Δt^{-1} = intervalo de tempo para o balanço hídrico, usualmente igual a 1 dia (adm).

Na Equação 1, a evapotranspiração da água no solo é calculada utilizando a equação de Penman-Monteith (Wigmosta et al., 1994), o escoamento superficial é produzido utilizando o conceito de área de contribuição variável presente no modelo de ARNO (Todini, 1996) e os fluxos subterrâneos e subsuperficiais são computados, respectivamente, como funções lineares e não lineares de acordo com a disponibilidade de água na camada do solo. O escoamento gerado em cada URH é conduzido à rede de drenagem através de três reservatórios lineares (fluxo superficial, fluxo subsuperficial e fluxo subterrâneo), conforme ilustrado na Figura 1.

A propagação da vazão na rede de drenagem pode ser calculada usando o método Muskingum - Cunge (Collischonn et al., 2007), um método hidrodinâmico completo unidimensional (Paiva et al., 2013) ou o método inercial local (Pontes et al., 2017). Na estrutura de propagação da vazão do MGB, o volume de água armazenado em uma determinada minibacia é a única variável prognóstica, enquanto outras variáveis, como profundidade do escoamento e área inundada, são calculadas a partir do volume armazenado usando perfis de planícies de inundação derivados do modelo digital de elevação.

A planície de inundação é tratada como um compartimento de armazenamento simples, ou seja, ela atua somente no armazenamento dos volumes d'água

extravasados do canal principal do rio. Assim, a velocidade de escoamento na planície é nula e o nível d'água é igual ao da calha do rio principal. Além disso, o modelo calcula também a evaporação nas planícies aluviais e a infiltração das áreas alagadas para o solo não-saturado (Fleischmann et al., 2018).

O modelo MGB com o método de propagação inercial local foi calibrado e validado para toda a América do Sul por Siqueira et al. (2018a), sendo, então, denominado de MGB SA (MGB *South America*). Pela primeira vez, um modelo hidrológico-hidrodinâmico de escala regional, totalmente acoplado, foi aplicado a um domínio continental.

O MGB SA utiliza como dados de entrada de precipitação para o módulo chuva-vazão os dados do MSWEP v1.1 (*Multi-Source Weighted Ensemble Precipitation*) (Beck et al., 2017a). Esse conjunto de dados, com resolução temporal de 3 horas e resolução espacial de 0,25°, combina de forma otimizada dados de satélite, reanálise e calibração diária, e foi avaliado com resultados satisfatórios em uma comparação de vários conjuntos de dados de precipitação (Beck et al., 2017b).

Com relação às variáveis climáticas usadas para calcular a evapotranspiração, o MGB SA utiliza os dados climatológicos médios mensais do período 1961-1990, obtidos do *Climate Research Unit Global Climate v.2* (CRU) (New et al., 2002), que fornece médias de longo período de dados de temperatura, pressão, radiação e velocidade do vento para todas as áreas terrestres a uma resolução de 10'.

Para a definição das URHs, o MGB SA utiliza o “Mapa de Unidades de Resposta Hidrológica para a América do Sul”, com resolução de 400 m, proposto por Fan et al., (2015). Na definição da geometria dos canais o MGB SA utiliza, em sua maioria, dados extraídos do banco de dados mundial de larguras e profundidades criado por Andreadis et al. (2013), sendo incluídas equações geomorfológicas regionais (Beighley e Gumaldi, 2011; Paiva et al., 2011, 2013; Pontes, 2016) e estimativas de largura baseadas em imagens de satélite de Pontes (2016) para melhorar as geometrias de canais para as bacias Amazônica e do Prata.

Os resultados do modelo MGB SA foram avaliados por Siqueira et al. (2018a) usando dados observados de vazão e nível provenientes de medições *in situ* e de altimetria de satélite, em uma rede de extensões sem precedentes em todo o continente sul americano, juntamente com estimativas de armazenamento de água terrestre e evapotranspiração obtidas por sensoriamento remoto e outras fontes de dados.

As principais incertezas do modelo MGB SA foram atribuídas às deficiências na representação do processo e simplificações na parametrização, bem como às limitações dos conjuntos de dados utilizados como entrada e validação do modelo. Siqueira et al. (2018a) ressaltam, também, que o benefício esperado do acoplamento de modelos hidrodinâmicos e hidrológicos ocorre somente quando as geometrias do rio (largura e profundidade) são razoavelmente bem representadas.

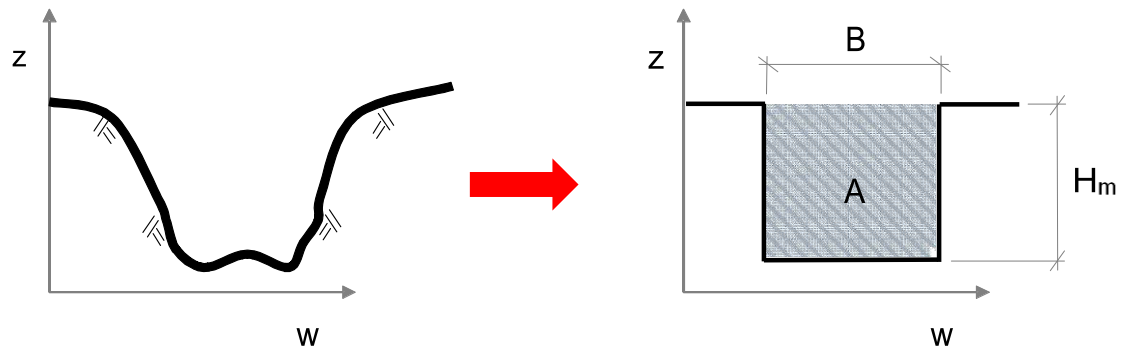
3.2. Equações Geomorfológicas

A propagação de vazões nos rios é um componente importante dos modelos de superfície terrestre, representando a transferência horizontal da água. A geometria da seção transversal do canal afeta a sua capacidade de transporte na modelagem da dinâmica da água superficial e, independentemente da complexidade do modelo, a precisa simulação das vazões requer uma representação realista da rede fluvial e das características do canal, como a largura e a profundidade (Renssen e Knoop, 2000).

Ocorre que os dados das características do canal não estão disponíveis para muitas regiões do mundo. Como consequência, modelos mais simples que não exigem esses parâmetros são usados para simular a propagação das vazões sobre áreas maiores, ou a largura e a profundidade são utilizadas como parâmetros de calibração dos modelos, tornando a simulação mais difícil. Ambas as abordagens simplificadas resultam em menor precisão dos modelos e no aumento das incertezas (Andreadis et al., 2013).

Visando simplificar a representação das características do canal, principalmente na modelagem em escalas regionais ou maiores, a forma da seção transversal do canal é geralmente considerada como sendo um retângulo, uma vez que a largura superior do canal é muito maior que a profundidade (Luo e t al., 2017). A seção transversal passa, então, a ser definida por sua largura e sua profundidade média, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Seção transversal natural representada por uma seção retangular.



Fonte: Paiva (2009).

Usando medições *in situ*, diversos pesquisadores mostraram que as geometrias hidráulicas podem ser expressas em função das características da drenagem, como vazão ou área de contribuição, em que variações espaciais ou temporais são contempladas variando-se os coeficientes generalizados de equações de regressão (Frasson et al., 2019; Latrubesse, 2008; Singh, 2003). Sendo assim, o uso de equações de regressão permite estimar as características do canal a partir do conhecimento de variáveis independentes, como a área de drenagem.

O conceito de equações geomorfológicas foi introduzido pela primeira vez por Leopold e Maddock (1953) para descrever a dependência das dimensões do canal em relação à vazão em bacia hidrográficas específicas. Com base em um estudo dos registros de estações fluviométricas dos Estados Unidos, eles expressaram a relação entre a vazão média anual e a largura e profundidade do canal para diversas regiões do país. No entanto, como o uso da vazão como variável independente limita a aplicabilidade das equações geomorfológicas aos locais com postos fluviométricos, Dunne e Leopold (1978) introduziram o uso da área de drenagem como substituto da vazão.

Como os rios apresentam relações estatísticas fortes e bem descritas entre muitas de suas características, o conjunto de dados de largura e de profundidade dos rios pode ser derivado de relações geomorfológicas simples e bem estabelecidas. A grande maioria dos trabalhos oferece uma solução propondo que a largura e a profundidade de um rio possuem relações exponenciais com a área de drenagem a montante, conforme as equações:

$$H_m = a A_d^b \quad (2)$$

$$B = a' A_d^{b'} \quad (3)$$

em que:

- B = largura da seção (m);
- H_m = profundidade média da seção (m);
- A_d = área de drenagem a montante da seção (km²); e
- a, b, a', b' = parâmetros da regressão (adm).

A sensibilidade da hidrologia de superfície modelada em relação à geometria dos canais foi investigada em vários trabalhos (Luo et al., 2017; Paiva et al., 2013a, Yamazaki et al., 2011). O ajuste da geometria da seção transversal do canal pode afetar a área simulada de superfície inundada e as mudanças são causadas por dois mecanismos: o primeiro é a redução da área da seção transversal do canal, o que equivale a reduzir a capacidade de transporte do canal, podendo aumentar a área inundada nas planícies de inundação, e vice-versa; e o segundo é a ampliação da largura do canal, aumentando a área de superfície do canal e vice-versa (Luo et al., 2017).

Yamazaki et al. (2011) variaram a largura ou a profundidade do canal usando uma porcentagem uniforme para todos os canais e examinaram os efeitos dessas mudanças da geometria do canal na vazão da estação fluviométrica de Óbidos e na área inundada na região central da Amazônia. Já Paiva et al. (2013) variaram a largura ou o nível do fundo do canal por uma porcentagem uniforme e investigaram os efeitos dessas mudanças nas vazões da estação de Óbidos, nos níveis d'água da estação de Manacapuru e na área total inundada de toda a bacia Amazônica.

Estes dois estudos mostraram as sensibilidades da hidrologia de superfície modelada em relação à geometria do canal, bem como as interações entre vazões, níveis d'água e planícies de inundação, apontando para a expressiva importância da geometria do canal na modelagem da propagação das vazões em rios.

No trabalho de Luo et al. (2017), as mudanças na geometria do canal foram causadas pelo processo de refinamento das equações geomorfológicas para as seções transversais de canais da bacia amazônica. Os autores examinaram os efeitos das mudanças da geometria do canal na inundação, bem como no perfil do nível d'água do canal principal e verificaram que os refinamentos da geometria do canal aumentaram ou diminuíram a área da planície de inundação para vários locais da bacia amazônica, o que teve como consequência a melhoria dos hidrogramas de

vazões e o aumento ou diminuição dos níveis d'água dos rios afluentes e do canal principal.

3.3. Regiões Hidrologicamente Homogêneas

As Regiões Hidrologicamente Homogêneas (RHHs) consistem de regiões que subdividem uma área maior, agrupadas com base na similaridade de suas características hidrológicas, considerando, por exemplo, o comportamento das vazões, os aspectos físicos e as condições climáticas. Assim, quando o interesse é realizar análises dos processos hidrológicos em escala regional, pode-se dividir a região de interesse em sub-regiões, a fim de agrupar aquelas que apresentam comportamento hidrológico semelhante (Beskow et al., 2014).

A classificação de bacias hidrográficas considerando suas características similares permite testar hipóteses sobre a semelhança entre os sistemas hidrológicos, bem como uma melhor concepção de redes experimentais e de monitoramento, orientando a escolha de modelos adequados para determinados sistemas hidrológicos (Mcdonnell e Woods, 2004).

Dois aspectos importantes devem ser considerados para se obter as RHHs: a metodologia de agrupamento utilizada e as características do local a serem consideradas no processo de agrupamento (Medina-Cobo et al., 2017). Para fins de definição de RHHs que considerem a geomorfologia de canais são utilizados diferentes métodos, podendo-se destacar os métodos de Conveniência Geográfica e da Análise de Cluster.

3.3.1. Método da Conveniência Geográfica

Dentro da categoria de Conveniência Geográfica, encontram-se todas as experiências de identificação de regiões homogêneas que se baseiam no agrupamento subjetivo e/ou conveniente dos postos de observação, geralmente contíguos, em áreas administrativas ou em zonas previamente definidas segundo limites arbitrários (Naghattini e Pinto, 2007).

Os métodos categorizados como Conveniência Geográfica estão mais comumente associados ao processo de regionalização de vazões, mas podem ser aplicados com o objetivo de transpor quaisquer informações hidrológicas de locais

com a existência de registros provenientes de monitoramento hidrológico para outros locais cujo monitoramento é inexistente ou apresenta um curto período com disponibilidade de dados (Beskow et al., 2014; Pruski et al., 2012).

Ressalta-se que as variáveis explicativas dos modelos de regionalização devem ser selecionadas de acordo com as características hidrológicas a serem regionalizadas, sendo necessária uma ampla compreensão dos processos envolvidos em sua formação (Grehys, 1996; Pruski et al., 2013). Pode-se optar também por diferentes modelos de regressão para descrever a relação das características hidrológicas com as variáveis adotadas. Assim, deve-se avaliar, entre os modelos linear, exponencial, potencial, logarítmico, ou recíproco, aquele que melhor se ajusta ao comportamento dos dados correlacionados (Euclides et al., 2014).

Para a definição das RHHs por este método são analisados os coeficientes da regressão e o erro percentual entre os dados observados e os estimados pelo modelo que melhor se ajusta à distribuição. Assume-se, na sequência, que a combinação de estações que apresentam o melhor ajuste constitui uma RHH.

Portanto, a aplicação deste método impõe a necessidade de se repetir manualmente todo o processo desde o início, quando os resultados iniciais de ajuste dos modelos não são satisfatórios, envolvendo um processo de tentativa e erro até que se consigam modelos adequadamente ajustados. Dependendo do tamanho da bacia pode haver uma quantidade expressiva de combinações possíveis de sub-bacias e de variáveis a serem testadas até que se encontre o ajuste satisfatório dos modelos para a definição das RHHs (Miranda, 2016).

3.3.2. Método de Análise de Cluster

A análise de cluster (Cluster Analysis) com base nas características do local é uma das metodologias mais utilizadas e recomendadas na literatura para definição de regiões homogêneas, por envolver procedimentos que objetivam a formação de grupos de estações com características similares entre si, tornando-o um dos métodos menos subjetivos de delimitação das regiões não contíguas (Diniz et al., 2012; Hosking e Wallis, 2005; Naghettini e Pinto, 2007).

Várias técnicas de análise de cluster estão disponíveis na literatura e todas já foram utilizadas, de alguma forma, na delimitação de Regiões Hidrológicamente Homogêneas (Castellarin et al., 2001; Ercan et al., 2008; Miranda, 2016; Rao e

Srinivas, 2006). O método K-means, no entanto, é um dos mais empregados para esta finalidade, sendo conhecido por seu baixo tempo de execução, sua eficiência em agrupar um grande conjunto de dados com atributos numéricos e possuir implementação e interpretação simples (Rao e Srinivas, 2006).

O método K-means (MacQueen, 1967) é um método de agrupamento particional que busca encontrar o melhor particionamento de n estações em k grupos por meio de um algoritmo de aprendizagem não supervisionado. Neste método o número inicial de agrupamentos é definido aleatoriamente, e são estimados seus respectivos centroides. A cada iteração, cada ponto é atribuído ao seu centroide mais próximo, de acordo com a distância euclidiana entre os dois. Em seguida, os centroides são recalculados (Rokach, 2010).

O método K-means visa minimizar uma função objetivo, que mede a qualidade de um cluster. Para tal utiliza-se a soma do erro quadrático médio (SEQM), que também é conhecida como dispersão. Em outras palavras, calcula-se o erro de cada ponto de dados, ou seja, sua distância euclidiana ao centroide mais próximo e, em seguida, calcula-se a soma total dos erros quadráticos. Dado dois conjuntos diferentes de clusters que são produzidos por duas corridas diferentes de K-means, seleciona-se aquele com o menor erro quadrático, pois isso significa que os centroides desse cluster são uma melhor representação dos pontos em seu cluster. A SEQM é definida pela equação (Tan et al., 2006):

$$SEQM = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} \text{dist}(c_i, x)^2 \quad (4)$$

em que:

- SEQM = soma do erro quadrático médio (adm);
- dist = distância Euclidiana padrão entre dois objetos no espaço euclidiano (adm);
- C_i = i-ésimo cluster (adm);
- k = número de clusters (adm);
- c_i = centróide do cluster C_i (adm); e
- x = ponto do conjunto de dados (adm).

O centróide de cada agrupamento é calculado como a média de todos os dados pertencentes a esse agrupamento e é definido pela equação:

$$c_i = \frac{1}{m_i} \sum_{x \in C_i} x \quad (5)$$

em que: m_i é o número de objetos no i -ésimo cluster (adimensional).

Em toda iteração, cada estação é atribuída ao seu centroide mais próximo, de acordo com a distância euclidiana entre os dois. Em seguida, os centroides são recalculados. O procedimento é interrompido quando o erro de particionamento não é reduzido pela deslocalização dos centroides, indicando que a partição atual é localmente otimizada (Rokach, 2010).

O método K-means requer também a definição prévia do número de clusters a se considerar. É certo, entretanto, que, objetivamente, não se tem *a priori* o número “correto” de clusters. Na prática, deve-se buscar um equilíbrio entre regiões demasiadamente grandes ou demasiadamente pequenas, com muitos ou poucos postos de observação (Naghettini e Pinto, 2007).

4. MATERIAL E MÉTODOS

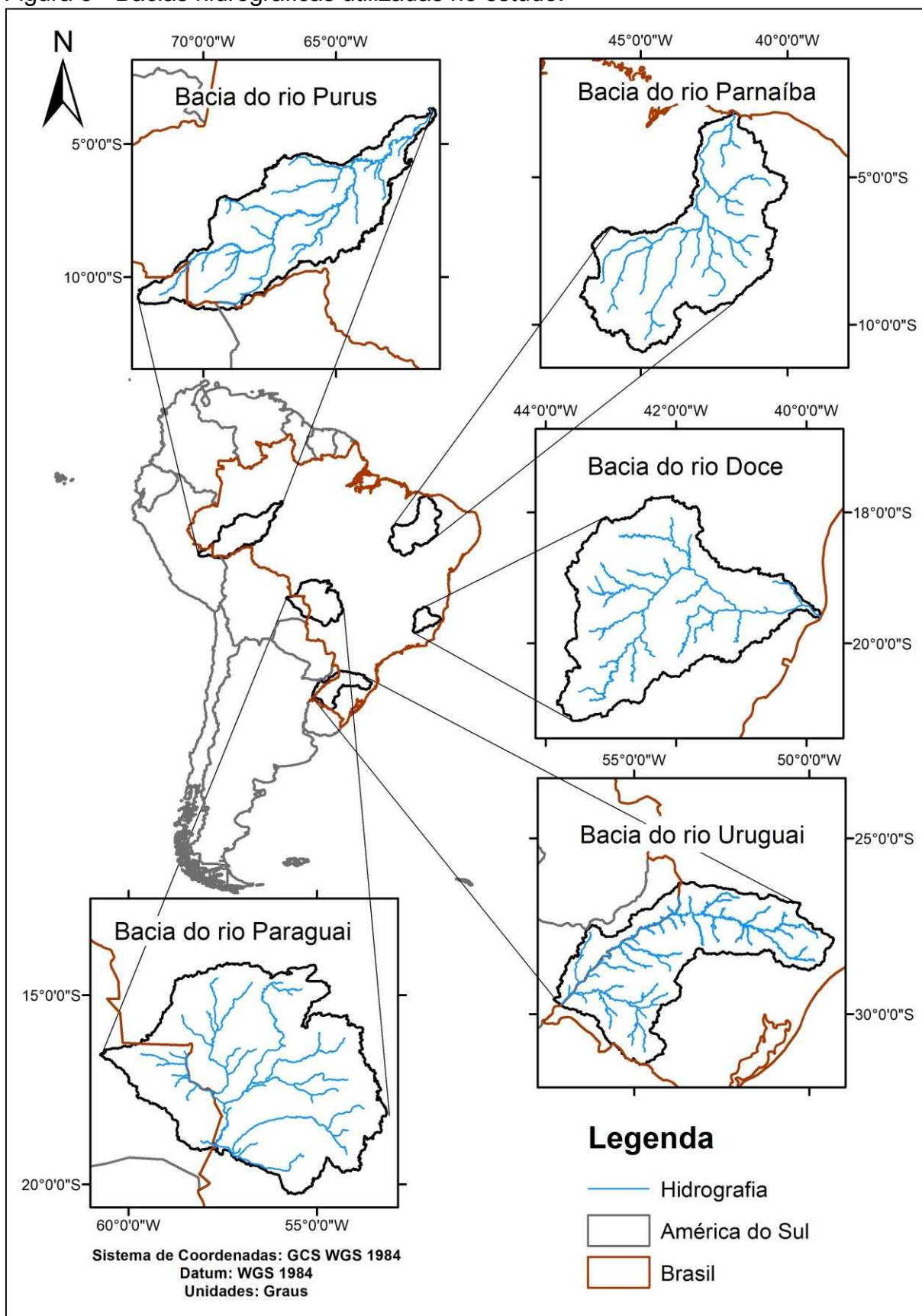
4.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo do presente trabalho (Figura 3) consiste em cinco grandes bacias hidrográficas localizadas total ou parcialmente no território brasileiro, sendo elas: bacia do rio Purus, bacia do rio Doce, bacia do rio Parnaíba, parte da bacia do rio Paraguai e parte da bacia do rio Uruguai.

Ressalta-se que foram analisadas apenas as áreas de drenagem das estações fluviométricas localizadas no território brasileiro, mesmo que suas áreas de contribuição apresentassem parte do seu território em países vizinhos, como ocorreu para as bacias dos rios Purus, Paraguai e Uruguai.

Essas bacias foram selecionadas por estarem localizadas em diferentes regiões geográficas do Brasil e, portanto, apresentarem diferentes características edáficas, geomorfológicas, pedológicas, geológicas e climáticas, as quais poderiam gerar diferentes resultados para a metodologia aplicada nessa pesquisa.

Figura 3 - Bacias hidrográficas utilizadas no estudo.



Fonte: a autora.

Bacia do rio Purus

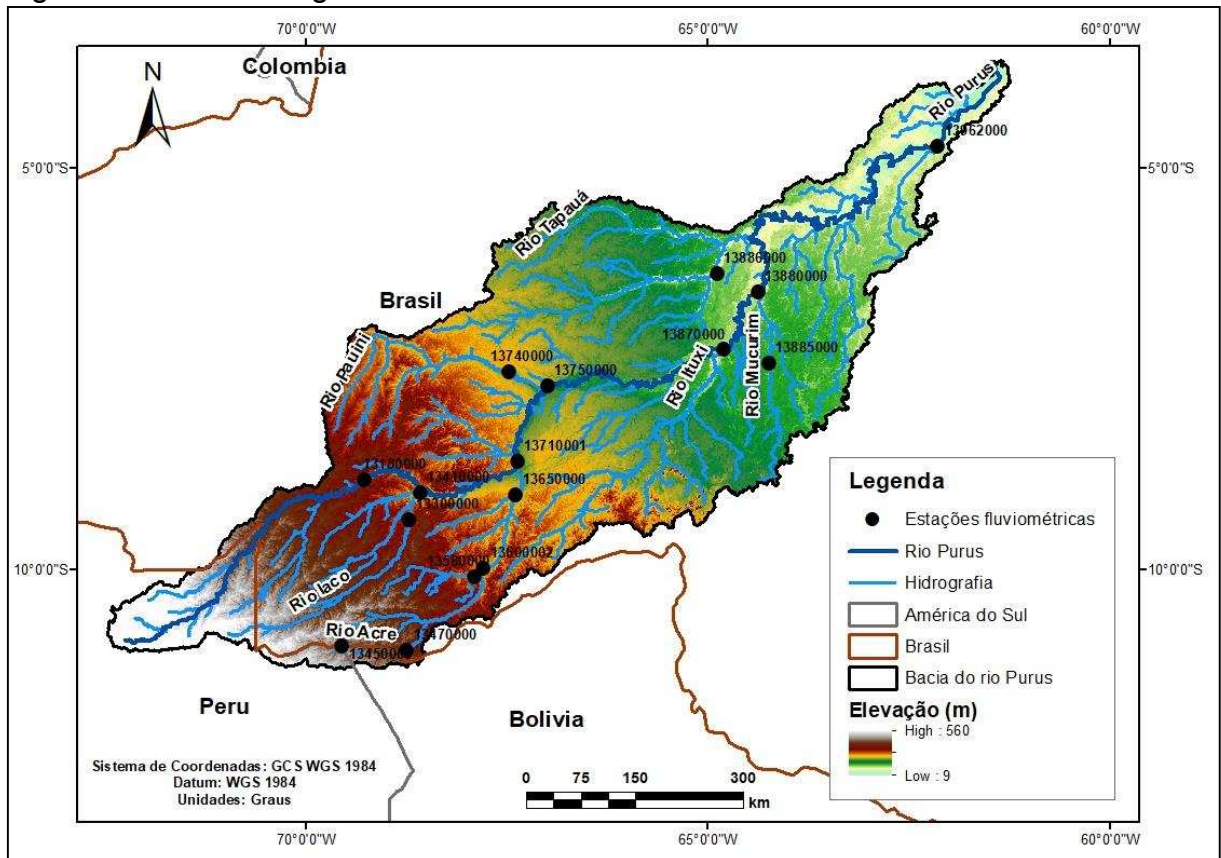
A bacia do rio Purus, com uma área total de aproximadamente 375.458 km², está localizada, primordialmente, na depressão sudoeste da Amazônia, com elevações variando entre 9 e 600 m (Figura 4). O rio Purus é um dos principais afluentes do sistema Solimões/Amazonas, sendo um dos rios mais longos da América do Sul, nascendo nas terras baixas do leste do Peru e fluindo por cerca de 3.380 km antes de encontrar o rio Solimões, no noroeste do Brasil (Rios-Villamizar et al. 2017).

A bacia do rio Purus possui rede de drenagem com padrão dendrítico (padrão aleatório), que é um padrão encontrado onde não há controles geológicos fortes (Latuf e Amaral, 2016). A temporada de altas vazões dos rios da região compreende os meses de janeiro a junho, enquanto a temporada de baixas vazões ocorre de julho a dezembro. A vazão média de longo período próxima à foz do rio Purus é de 15.285 m³/s para a estação fluviométrica de Arumã-Jusante (código: 13962000).

A vegetação nativa é composta principalmente por Várzea, Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Ombrófila Aberta e pequenas áreas de Cerrado (IBGE, 2012). A bacia do rio Purus é classificada no grupo de bacias que ainda está com alto nível de conservação na Amazônia brasileira, porém, nos últimos anos, a pecuária e o avanço da fronteira agrícola, associados ao desmatamento constituem ameaças à manutenção da vegetação nativa original (Rios-Villamizar et al., 2017).

O clima da bacia, de acordo com a classificação climática de Köppen, é Equatorial úmido (Af), caracterizado por uma precipitação mensal mínima de 60 mm e temperatura média variando entre 26 e 28 °C (Peel et al., 2007). Dois períodos sazonais são definidos pelas chuvas na bacia do rio Purus: o seco, de abril a setembro, e o chuvoso, de outubro a março. A precipitação atinge o pico de dezembro a fevereiro (média de 300 mm) e é menor de maio a agosto (média de 60 mm) (Dalagnol et al., 2017).

Figura 4 - Bacia hidrográfica do rio Purus.



Fonte: A autora.

Bacia do rio Doce

A bacia do rio Doce está localizada na região sudeste do Brasil, com elevações variando entre 0 e 2.520 m (Figura 5). Sua área de drenagem é de cerca de 84.000 km², dos quais 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais e 14% ao Estado do Espírito Santo (ANA, 2016). As nascentes do rio Doce, que surge a partir da confluência dos rios Piranga e do Carmo, situam-se no Estado de Minas Gerais, nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, e suas águas percorrem cerca de 850 km até atingir o oceano Atlântico, junto ao povoado de Regência, no Estado do Espírito Santo (Guimarães, 2015).

No que se refere aos aspectos geomorfológicos e ao padrão da rede de drenagem, o rio Doce é caracterizado como um extenso rio que penetra profundamente no planalto mineiro. Seu traçado, a partir de sua formação, copia mais ou menos a forma do litoral e, em Governador Valadares, o rio toma a direção leste, a caminho do oceano. Este traçado do rio é explicado pelas características morfoestruturais variadas que ocorrem no interior da bacia (Coelho, 2006).

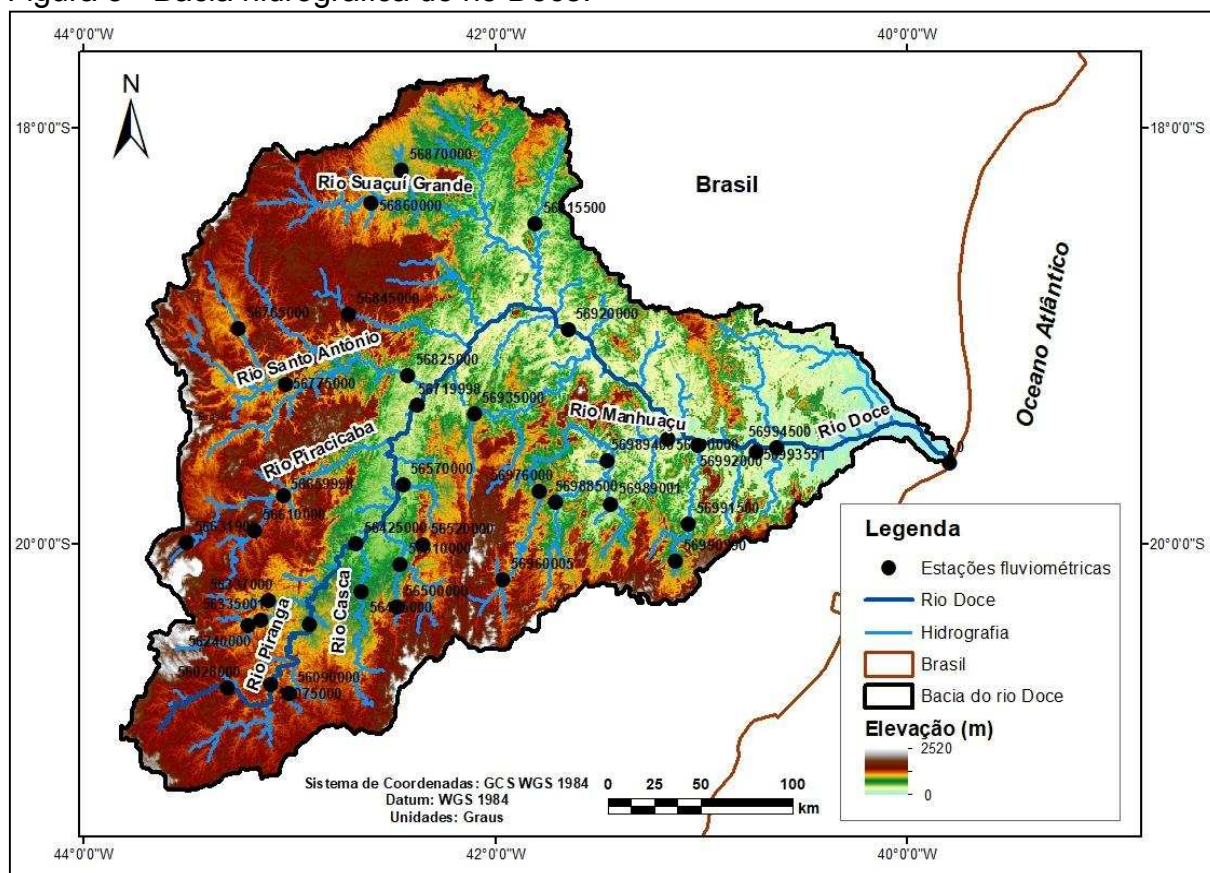
A temporada de altas vazões dos rios da região ocorre nos meses de dezembro a março, enquanto a temporada de baixas vazões ocorre nos meses de agosto e setembro (PIRH, 2010). A vazão média de longo período próximo à foz do rio Doce é de 790 m³/s para a estação fluviométrica de Colatina (código: 56994500).

Na bacia do rio Doce, em 98% da sua área, verifica-se a ocorrência do Bioma Mata Atlântica, sendo o restante pertencente ao Bioma Cerrado. Originalmente, a bacia era coberta, em sua maior parte, por mata nativa com Campos de Altitude (na Serra do Caparaó, Serra do Espinhaço e Serra da Mantiqueira), Floresta Estacional Semidecidual e o predomínio da Floresta Ombrófila Densa (ou Mata Atlântica) com rico estoque de mata ciliar (PIRH, 2010). A intensa devastação da região, no entanto, restringiu o revestimento florístico originário basicamente às áreas de grande declive e às unidades de conservação (Almeida Neto et al., 2016).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da bacia hidrográfica do rio Doce está dividido em três classes distintas: a) tropical de altitude com chuvas de verão e verões frescos, presente nas vertentes das serras da Mantiqueira e do Espinhaço e nas nascentes do rio Doce; b) tropical de altitude com chuvas de verão e verões quentes, presente nas nascentes de seus afluentes; e c) clima quente com chuvas de verão presente nos trechos médio e baixo do rio Doce e de seus afluentes. As temperaturas médias anuais na bacia variam de 18°C a 24,6°C, sendo que o período mais quente compreende os meses de janeiro e fevereiro, enquanto que as temperaturas mínimas ocorrem em junho e julho (PIRH, 2010).

A precipitação média anual na bacia, considerando os dados das normais climatológicas do INMET referentes ao período base de 1981 e 2010 (INMET, 2018), varia de cerca de 1.500 mm, nas nascentes localizadas nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, a 1.000 mm, na região da cidade de Aimorés, voltando a crescer em direção ao litoral, com média de 1.300 mm no município de Linhares. O regime de precipitações na bacia é fortemente sazonal, com o período chuvoso ocorrendo de outubro/novembro a março/abril e o período seco entre os meses de março/abril e setembro/outubro (PIRH, 2010).

Figura 5 - Bacia hidrográfica do rio Doce.



Fonte: a autora.

Bacia do rio Parnaíba

A bacia do rio Parnaíba configura-se como uma das mais importantes da Região Nordeste do Brasil, com vales inseridos entre chapadas e chapadões (tabuleiros) e com altitudes variando entre 0 e 977 m (Figura 6). Sua área de drenagem é de cerca de 331.441 km², estando localizada nos Estados do Ceará, Piauí e Maranhão (MMA, 2006b).

O rio Parnaíba nasce na região do Alto Parnaíba, nos contrafortes da Chapada das Mangabeiras, a 800 m de altitude. Possui a extensão de aproximadamente 1.400 km e seus principais afluentes são os rios Balsas, Gurguéia, Piauí e Poti (MMA, 2006b).

Em relação ao regime de vazões, nas sub-bacias ao Sul da bacia do rio Parnaíba predomina o padrão de maiores vazões concentradas entre dezembro e maio, com pico nos meses de fevereiro e março. Em parte do Médio e no Baixo Parnaíba, o pico de vazão passa a corresponder ao mês de abril, visto que as chuvas se concentram no primeiro quadrimestre do ano nestas sub-regiões (De Paula Filho, 2014). A vazão média de longo período próxima à foz do rio Parnaíba é de 612 m³/s

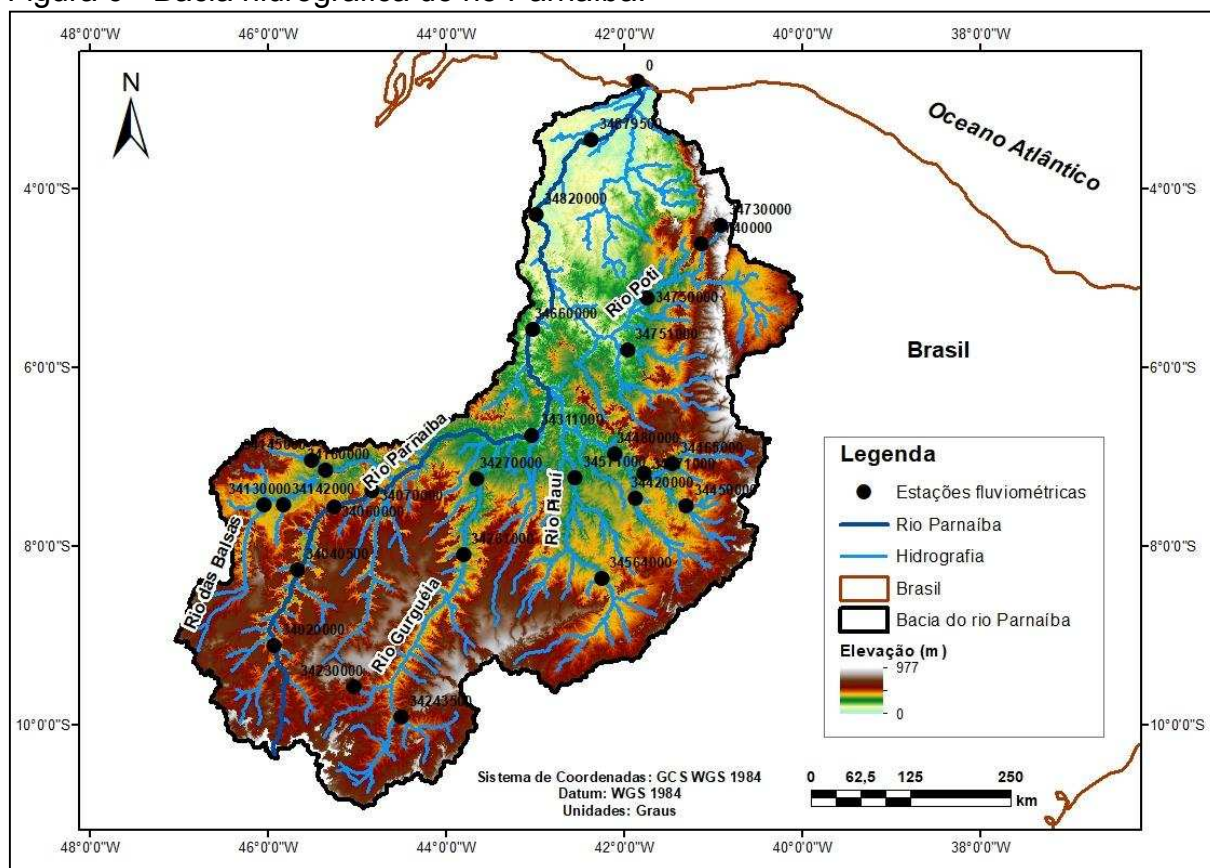
para a estação fluviométrica de Luizilândia (código: 34879500).

A bacia do rio Parnaíba é uma área de transição vegetal, cujas características são intrínsecas às suas sub-bacias. Conforme Codevasf (2005), o clima semi-árido, com precipitações anuais de até 700 mm, é constituído por vegetação xerófita, característica da Savana Estépica (Caatinga). Nas áreas com pluviosidade entre 700 e 1.000 mm estão presentes a Floresta Estacional Decidual e as áreas de Tensão Ecológica Savana/Floresta Estacional e de Savana Estépica/Floresta Estacional. O domínio fitoecológico da Savana (Cerrado) desenvolve-se na faixa de pluviosidade de 1.000 a 1.300 mm. Em regiões onde as precipitações são maiores que 1.500 mm, como na Serra da Ibiapaba, ocorre a Floresta Ombrófila Aberta.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da bacia hidrográfica do rio Parnaíba está dividido em três classes distintas: a) megatérmico chuvoso (variação AW'), ou seja, quente e úmido, com chuvas entre fevereiro e maio e com temperaturas mais baixas nos meses de março e abril, ocorrendo na região litorânea e no baixo Parnaíba; b) semiárido (variedade BS), caracterizado por temperaturas elevadas e estáveis, superiores a 18°C, baixas precipitações médias anuais com distribuição irregular durante o ano, correspondendo às áreas de caatinga hiperxerófita; e c) uma variedade do clima AW', o BSwH', que é do tipo semiárido e se caracteriza por possuir um curto período sazonal chuvoso no verão e atuação no sudeste da bacia (MMA, 2003).

A temperatura média da região é de 27°C e a precipitação média anual é de 1.117 mm/ano (ANA, 2005). Observa-se, no entanto, grande variabilidade nos totais anuais de chuva nas áreas de ocorrência da Caatinga, com registros de precipitação superiores a 1.000 mm no litoral e inferiores a 600 mm no interior da região (De Paula Filho, 2014). De maneira marcante, o período chuvoso no Alto Parnaíba concentra-se entre os meses de maio e outubro, todavia, nas sub-bacias afluentes pela margem esquerda do rio há uma melhor distribuição das chuvas. Em parte do Médio e do Baixo Parnaíba o período chuvoso ocorre, principalmente, nos primeiros quatro meses do ano (De Paula Filho, 2014).

Figura 6 - Bacia hidrográfica do rio Parnaíba.



Fonte: a autora.

Bacia do rio Paraguai

A bacia do rio Paraguai, a montante da sua confluência com o rio Paraná, apresenta área de drenagem de, aproximadamente, 1.095.000 km², e pertence a quatro países: Argentina, Bolívia, Paraguai e Brasil (Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) (Collischonn et al., 2001).

O rio Paraguai tem suas nascentes no planalto dos Parecis no Estado do Mato Grosso. Fluindo de norte para sul, o rio percorre uma extensão de 2.621 km, dos quais 1.693 km em território brasileiro, até sua confluência com o rio Paraná na altura da cidade de Corrientes, na Argentina (Innocencio, 1977). Nesse estudo foi analisada apenas a área de drenagem da última estação fluviométrica do rio Paraguai em território brasileiro, que equivale a 327.040 km², compreendendo toda a parte brasileira e uma pequena parte boliviana da bacia, com altitudes variando entre 69 e 1.192 m (Figura 7).

Como resultado do seu complexo regime hidrológico, a bacia do rio Paraguai possui um sistema de drenagem intrincado no Pantanal, incluindo grandes lagos rasos e redes de drenagem divergentes e endorreicas (que drenam para o interior do

continente, num lago ou em outro rio) (Bravo et al., 2012). O regime de vazões dos afluentes do rio Paraguai é governado principalmente pelo processo de inundação, que reduz as vazões de pico para mais da metade (Bravo et al., 2005) e modifica fortemente a forma dos hidrogramas de montante para jusante ao longo de cada rio. A vazão média de longo período na estação fluviométrica de Porto da Manga (código: 66895000), a última estação fluviométrica do rio Paraguai em território brasileiro, é de aproximadamente 2.055 m³/s, enquanto que no encontro entre os rios Paraguai e Paraná, junto às cidades de Corrientes e Resistência, na Argentina, a vazão média do rio Paraguai é de 2.700 m³/s (Clarke et al., 2003).

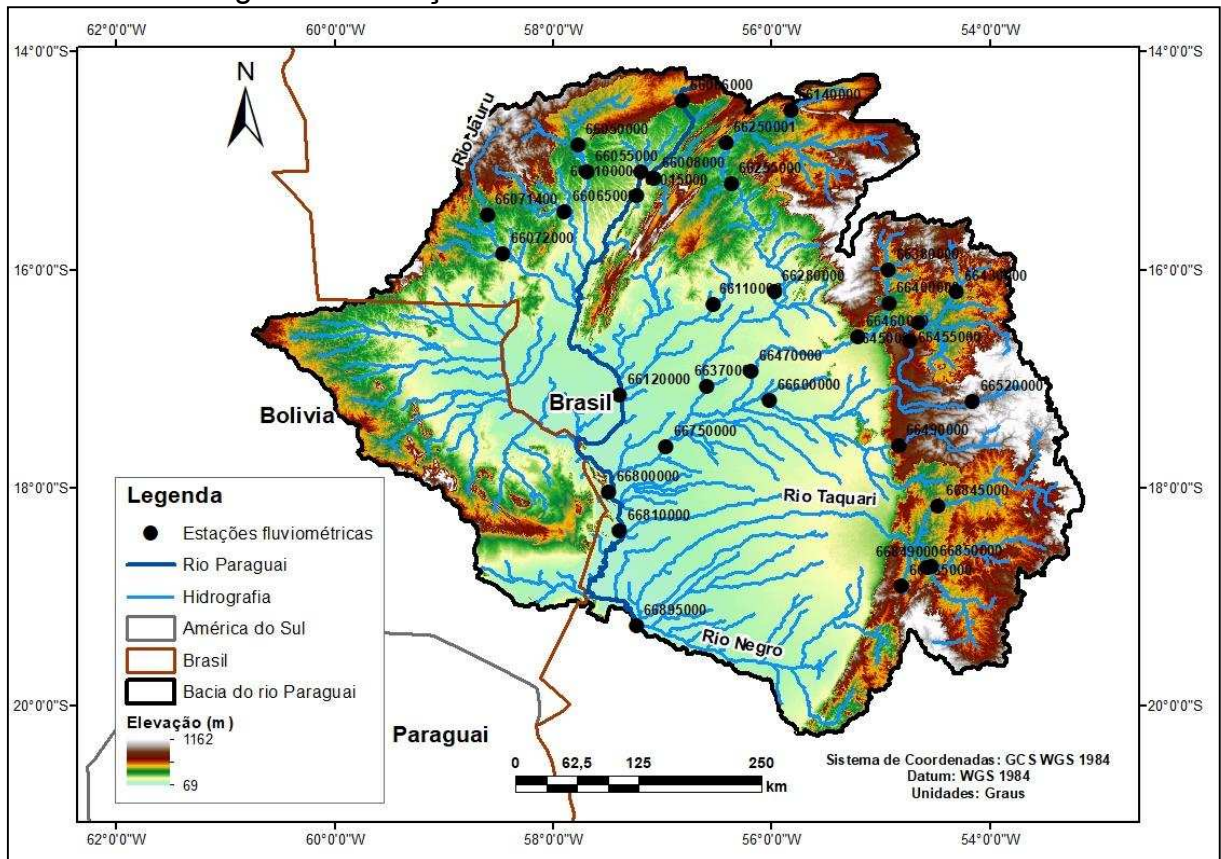
Na parte alta da bacia rio Paraguai predominam três grandes biomas: Amazônico, Cerrado e Pantanal (IBGE, 2004). A distribuição desses biomas concorda, geralmente, com as grandes unidades fisiográficas da bacia da seguinte forma (Alvarenga et al, 1984; PCBAP, 1997): a) os planaltos, de um modo geral, são revestidos por Florestas Estacional Semidecidual e Estacional Decidual, Savanas, e contatos Savana-Floresta Estacional, Floresta Ombrófila-Floresta Estacional; b) na Depressão do Rio Paraguai a cobertura vegetal engloba desde Florestas Estacional Decidual, Estacional, Cerradão, até Cerrado e Campo Sujo, e núcleos de vegetação Chaquena; e c) a Planície do Pantanal é recoberta pelo chamado “Bioma Pantanal”. Tradicionalmente, o termo “Complexo Pantanal” é usado para denominar as diferentes fisionomias vegetais que ocorrem na planície, que englobam cactos e epífitas. A cobertura vegetal é composta por uma mistura de campo inundável, vegetação aquática, capão, mata ciliar, cerrado, cerradão e floresta seca.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é do tipo savana tropical, com a precipitação concentrada no verão (Bravo et al., 2011). O período chuvoso começa em outubro e termina em abril, enquanto o seco se estende de maio a setembro. Na maior parte da região, a precipitação nos seis meses mais chuvosos representa mais de 80% do total anual. Na maior parte da bacia, as temperaturas médias variam de 18 a 22°C (Bravo et al., 2011).

Uma característica climática importante da parte alta da bacia do Paraguai é a variabilidade espacial da precipitação anual, com um gradiente de leste-oeste muito forte, mais de 1.500 mm a leste da bacia, menos de 700 mm na região central e taxas de precipitação mais altas em uma pequena região a oeste (Bravo et al., 2011). Esse gradiente de precipitação possui forte influência na hidrologia regional, pois como as chuvas são mais expressivas a leste, os afluentes da margem leste do rio Paraguai

geralmente contribuem com mais escoamento do que aqueles localizados a oeste (Bravo et al., 2011).

Figura 7 - Porção da bacia hidrográfica do rio Paraguai correspondente à área de drenagem das estações fluviométricas localizadas no território brasileiro.



Fonte: a autora.

Bacia do rio Uruguai

A bacia do rio Uruguai corresponde a uma área de drenagem da ordem de 385.000 km², abrangendo três países: Brasil, Argentina e Uruguai. A porção brasileira corresponde a, aproximadamente, 45% da bacia e situa-se nos Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. O rio Uruguai é formado da confluência dos rios Pelotas e Canoas, e a partir deste ponto percorre uma distância de 2.200 km até sua foz no estuário do rio da Prata (Pedrollo et al., 2017).

No presente trabalho foi contemplada apenas a área de drenagem da última estação fluviométrica do rio Uruguai em território brasileiro, que equivale a 190.257 km², compreendendo toda a parte brasileira e uma pequena parte argentina da bacia, com altitudes variando ente 36 e 1.788 m (Figura 8).

A bacia do rio Uruguai possui uma particularidade hidrológica que é a baixa

capacidade de armazenamento, consequência de suas características geomorfológicas predominantes: relevo acidentado no trecho alto da bacia, seguido de um trecho mais plano na região da Campanha Gaúcha, com baixo coeficiente de armazenamento de água no subsolo. Esse padrão resulta em um regime de vazões variado, que acompanha o regime de chuvas: em períodos de precipitações intensas ocorrem inundações nas áreas ribeirinhas; e, da mesma maneira, quando há períodos de estiagens, as vazões são bruscamente reduzidas (MMA, 2006a). A vazão média de longo período na estação fluviométrica de Uruguiana (código: 77150000), a última estação fluviométrica do rio Uruguai em território brasileiro, é de 18.298 m³/s.

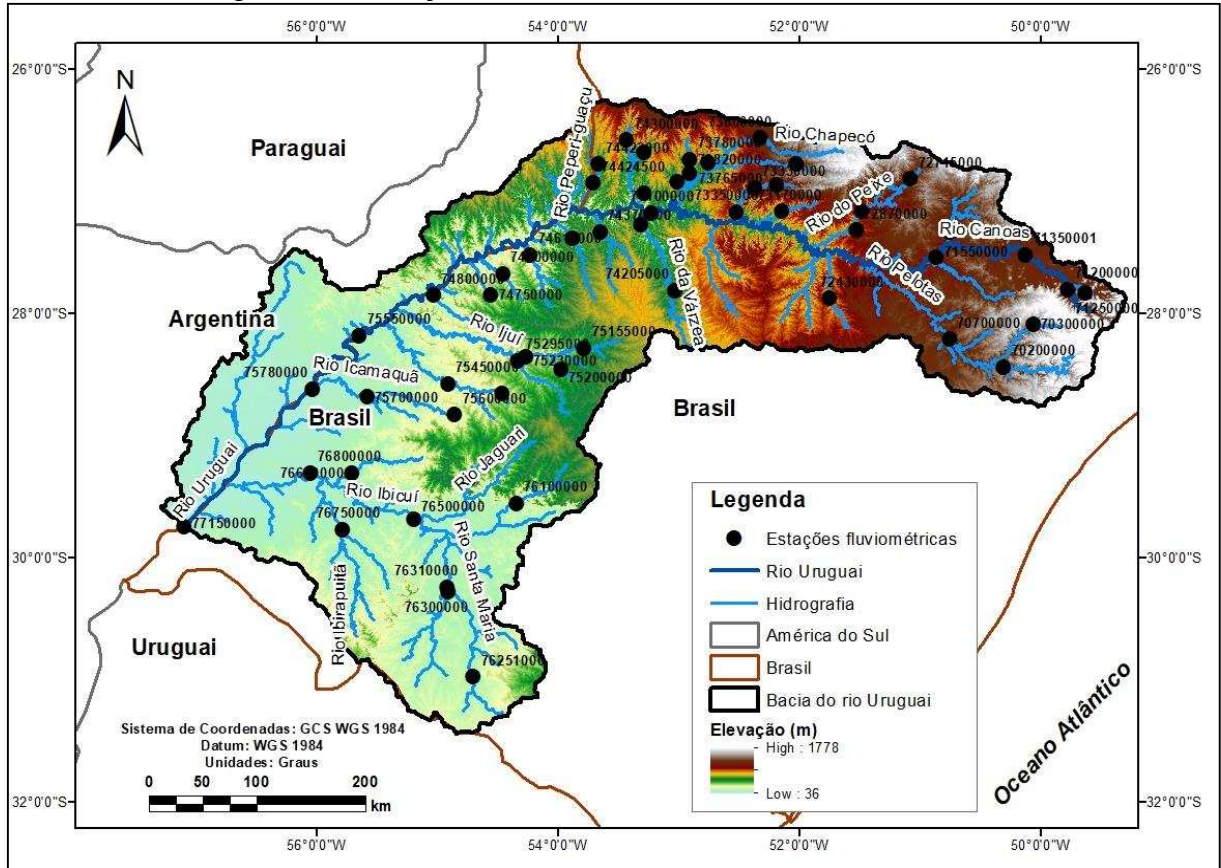
A bacia do rio Uruguai tem seu território incluído em dois dos seis biomas continentais brasileiros: a Mata Atlântica e o Pampa. Em linhas gerais, a vegetação da bacia pode ser dividida nas seguintes classes: a) Mata Atlântica ou Floresta Ombrófila Densa, ao longo da costa atlântica, na porção leste da bacia; b) Mata com Araucária ou Floresta Ombrófila Mista, nas porções mais altas do Planalto; c) Mata do Alto Uruguai ou Floresta Estacional Decidual, junto à calha do rio Uruguai e de seus principais afluentes, na porção oeste da bacia; e d) Campos ou Estepe, na região da Campanha Gaúcha e no planalto, entremeados à mata com araucária (Consórcio ORICONSUL – ECOPLAN – SKILL, 2008).

A bacia do rio Uruguai apresenta, de acordo com a classificação de Köppen, dois tipos fundamentais de clima, fortemente influenciados pela morfologia: o clima subtropical (Cfa) e o clima temperado (Cfb). Em ambos a temperatura média do mês mais frio oscila entre -3° a 18°C e chove pelo menos 30 mm em todos os meses do ano. Nas áreas de relevo mais baixo, próximas ao rio Uruguai, onde a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C ("verão quente"), o clima é classificado como Cfa e nas áreas mais altas da bacia, onde a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C ("verão tépido"), o clima é Cfb (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

As chuvas na bacia têm uma distribuição uniforme durante o ano, sem uma seca definida. Os totais pluviométricos médios mensais variam entre 113 e 200 mm e os totais anuais médios de cerca de 2.100 mm nas cabeceiras, no Planalto Rio-grandense, a 1.400 mm na fronteira com o Uruguai (Pinto et al., 2011). Entretanto, observa-se um total pluviométrico maior no mês de outubro, sendo março e agosto os meses menos chuvosos. O trimestre mais chuvoso difere conforme a região da bacia, sendo dezembro, janeiro e fevereiro nas cabeceiras, onde as altitudes são maiores, e

setembro, outubro e novembro na maior parte da bacia (Pedrollo et al., 2017).

Figura 8 - Porção da bacia hidrográfica do rio Uruguai correspondente à área de drenagem das estações fluviométricas localizadas no território brasileiro.



Fonte: a autora.

A

Tabela 2 apresenta um resumo das principais características das bacias hidrográficas estudadas.

Tabela 2 - Principais características das bacias hidrográficas estudadas

Bacia	Área de drenagem (km ²)	Rio principal (km)	Altitude (m)	Vazão média na foz (m ³ /s)	Bioma predominante
Purus	375.458	3.380	9 a 600	15.285	Amazônia
Doce	86.715	850	0 a 2.520	790	Mata Atlântica
Parnaíba	331.441	1.400	0 a 977	612	Caatinga
Paraguai*	327.040	1.693	69 a 1.192	2.055	Pantanal

Uruguai*	95.117	2.200	80 a 1.788	2.878	Pampa
-----------------	--------	-------	------------	-------	-------

*Parte brasileira da bacia.

4.1.1. Geomorfologia dos canais

Para a obtenção dos valores de largura e profundidade de inundação dos canais das bacias em estudo, foram utilizados os dados de perfil transversal das estações fluviométricas da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), obtidos através da plataforma HidroWeb. Inicialmente foram selecionadas apenas as estações das bacias que, além dos dados de perfil transversal, possuíam também dados de vazão e, em seguida, foi feita a eliminação das estações com dados discrepantes (perfis transversais muito incoerentes e séries históricas de vazão com muitas falhas).

Deste modo, foram identificadas séries históricas de dados de largura e profundidade de canal de 16 estações fluviométricas na bacia do rio Purus (Figura 4), 37 estações fluviométricas na bacia do rio Doce (Figura 5), 27 estações fluviométricas na bacia do rio Parnaíba (Figura 6), 34 estações fluviométricas na bacia do rio Paraguai (Figura 7) e 56 estações fluviométricas na bacia do rio Uruguai (Figura 8). O conjunto de dados final contou com 1.919 observações de geomorfologia correspondentes às áreas de drenagem (A_d) das estações, que variaram de 175 a 366.384 km².

Para determinar a profundidade e largura onde se inicia a inundação, as seções transversais foram representadas por seções tipo retangulares, caracterizadas pela largura (B) e profundidade média (H_m), conforme Figura 2. Os dados de perfil transversal foram fornecidos ao programa Hidro 1.4 ®, da ANA, no qual foram calculados os valores médios de B e H_m para cada estação fluviométrica analisada.

Todos os registros históricos de perfis transversais das estações fluviométricas utilizadas nesse trabalho encontram-se no Apêndice A, enquanto os valores obtidos de largura (B) e profundidade (H_m) de inundação dos canais das estações fluviométricas analisadas encontram-se no Apêndice B.

4.1.2. Caracterização das estações fluviométricas

Características físicas e hidrológicas relacionadas à geomorfologia de canais foram obtidas para as seções transversais das estações fluviométricas analisadas

nesse estudo, de forma a serem utilizadas como características aglomerativas na definição das Regiões Hidrológicamente Homogêneas, sendo elas: a latitude, a longitude, a área de drenagem, a vazão máxima com período de retorno de dois anos, a largura específica, a profundidade média específica e a vazão específica máxima com período de retorno de dois anos.

Os dados de latitude (Lat) e longitude (Long) de cada estação foram obtidos através do site da Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da plataforma HydroWeb, de forma a caracterizar a distribuição espacial das estações.

A área de drenagem de cada estação foi obtida através do software ArcGis 10.2®, utilizando o modelo digital de elevação (MDE) obtido a partir dos dados provenientes do projeto HydroSHEDS (*Hydrological data and maps based on Shuttle Elevation Derivatives at multiple Scales*), que fornece os dados altimétricos de todo o planeta na resolução de 500 x 500 m.

Leopold e Wolman (1957) sugeriram que a vazão formadora de um canal tem um intervalo de recorrência de um a dois anos. Portanto, de forma a caracterizar o efeito das vazões de inundação, a vazão máxima com período de retorno de dois anos ($Q_{T=2}$) de cada estação foi obtida com base no ajuste das distribuições probabilísticas Gumbel, Log-Normal tipo II, Log-Normal tipo III, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III às séries históricas de dados de vazões máximas anuais para o período de 1998 a 2017, conforme recomendando por Sousa et al. (2009), sendo escolhida a distribuição com melhor aderência aos dados. Para tal foi utilizado o software SisCAH®, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recurso Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>).

A largura específica (b) e a profundidade média específica (h_m) de cada estação foram obtidas dividindo-se, respectivamente, os valores de largura (B) e profundidade (H_m) pela área de drenagem correspondente à cada estação fluviométrica, sendo o mesmo procedimento realizado para obtenção da vazão específica máxima com período de retorno de dois anos ($q_{T=2}$ específica).

4.2. Regiões Hidrológicamente Homogêneas

Para o agrupamento das estações em regiões hidrológicamente homogêneas com base na geomorfologia dos canais, em cada uma das cinco bacias hidrográficas utilizadas no estudo, foram utilizadas duas diferentes metodologias: o método de

Análise de Cluster K-means e o método de Conveniência Geográfica.

Quando não foi possível gerar RHHs para a bacia por nenhum dos dois métodos propostos, analisou-se o uso de uma equação individualizada para o rio principal, como forma de aperfeiçoar as estimativas de largura e profundidade dos canais. Foram criadas equações geomorfológicas utilizando os dados das estações localizadas no rio principal da bacia, para serem aplicadas às sub-bacias deste rio, e equações geomorfológicas utilizando todas as estações, para serem aplicadas ao restante da bacia.

4.2.1. Análise de Cluster - Método K-means

Para a identificação das RHHs com base no método K-means foi utilizado o pacote 'cluster' (Maechler et al., 2019) do software R 3.3.1® (R Core Team, 2014) na execução da rotina de cálculos. O método K-means visa minimizar uma função objetivo, que mede a qualidade de um cluster. Para tal, utilizou-se a Soma do Erro Quadrático Médio (SEQM), que também é conhecida como dispersão. Na aplicação do método foi calculado o erro de cada estação, ou seja, sua distância euclidiana ao centroide mais próximo e, em seguida, calculou-se a soma total dos erros quadráticos. Dado dois conjuntos diferentes de clusters que foram produzidos por duas corridas diferentes de K-means, selecionou-se aquele com o menor erro quadrático, pois isso significa que os centroides desse cluster são uma melhor representação das estações em seu cluster. A SEQM foi obtida pela Equação 4.

O centroide de cada agrupamento foi calculado como a média de todas as estações pertencentes a esse agrupamento, sendo definido pela Equação 5. Em toda iteração, cada estação foi atribuída ao seu centroide mais próximo, de acordo com a distância euclidiana entre os dois. Em seguida, os centroides foram recalculados. O procedimento foi interrompido quando o erro de particionamento não foi reduzido pela realocação dos centroides, indicando que a partição atual era localmente otimizada (Maimon e Rokach, 2010).

A utilização do método K-means requereu, também, a definição prévia do número de clusters. É certo, entretanto, que, objetivamente, não se teve *a priori* o número "correto" de clusters, de modo que para contornar essa subjetividade foram feitas análises com números de clusters variando entre 2 e 5, buscando-se o melhor resultado.

Além das profundidades (H_m) e larguras (B), outras características relacionadas com a geomorfologia de canais foram utilizadas como atributos de aglomeração na análise de cluster, dentre as quais a área de drenagem (A_d), a vazão máxima com período de retorno de dois anos ($Q_{T=2}$) (de forma a caracterizar o efeito das vazões de inundação), a largura específica (b), a profundidade média específica (h_m), a vazão específica máxima com período de retorno de dois anos ($q_{T=2}$ específica) e os valores de latitude (Lat) e longitude (Long), de forma a evitar que estações geograficamente muito distantes pudessem formar regiões contíguas.

Foi realizada a padronização das características aglomerativas através da subtração pela média e divisão pelo desvio-padrão da característica, de forma que todas as características passassem a ter variabilidades de ordem de grandeza similares. Essas características foram então combinadas de nove maneiras diferentes, conforme apresentado na Tabela 3, gerando um total de 36 possíveis resultados para cada bacia (números de clusters variando de 2 a 5 para cada uma das 9 combinações de características de aglomeração).

Tabela 3 - Combinações de características de aglomeração utilizadas no método de análise de cluster K-means

Combinação	Características utilizadas
1	H_m, B
2	Lat, Long, H_m, B
3	Lat, Long, $H_m, B, Q_{T=2}$
4	H_m, B, A_d
5	Lat, Long, H_m, B, A_d
6	Lat, Long, $H_m, B, A_d, Q_{T=2}$
7	Lat, Long
8	h_m, b
9	$h_m, b, q_{T=2}$

H_m - profundidade média de inundação; B - largura de inundação; Lat - latitude; Long - longitude; $Q_{T=2}$ - vazão máxima com período de retorno de dois anos; h_m - profundidade média de inundação específica; b - largura de inundação específica; $q_{T=2}$ - vazão máxima com período de retorno de dois anos específica.

Ao final, foram analisados os coeficientes de regressão (r^2), além do erro quadrático médio (REQM) e do Índice de eficiência de Nash e Sutcliffe (NSE) entre as profundidades e larguras observadas e as estimadas pelos modelos exponenciais, obtidos para toda a bacia e para as regiões hidrologicamente homogêneas definidas pelo método de análise de cluster K-means.

Os erros das estimativas foram calculados pela Raiz do Erro Quadrático Médio

(REQM), com base na equação:

$$\text{REQM} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (6)$$

em que:

- REQM = raiz do erro quadrático médio (m);
- O_i = O_i são os dados observados (m); e
- P_i = são os dados preditos pelo modelo (m).

O Índice de Eficiência de Nash e Sutcliffe (Nash e Sutcliffe, 1970), que indica o quanto as estimativas do modelo são melhores que aquelas de um modelo que prevê simplesmente a média dos dados observados, foi obtido pela equação:

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (7)$$

em que:

- NSE = Índice de eficiência de Nash e Sutcliffe (adm); e
- \bar{O} = média dos dados observados (m).

Valores de NSE iguais a unidade indicam perfeita concordância entre os dados observados e simulados, enquanto valores negativos indicam que a média dos dados observados é um melhor preditor que os resultados do modelo. Atualmente, a classificação criada por Motovilov et al. (1999) é a mais utilizada para os modelos hidrológicos. Os autores categorizaram o NSE como “não satisfatório”, se $\text{NSE} < 0,36$; “satisfatório”, se $0,36 < \text{NSE} < 0,75$; e “bom”, se $\text{NSE} > 0,75$.

4.2.2. Conveniência Geográfica

Para a definição das Regiões Hidrológicamente Homogêneas pelo método da Conveniência Geográfica, as estações fluviométricas foram inicialmente particionadas de forma subjetiva em diferentes agrupamentos. Para cada agrupamento, foram obtidas equações geomorfológicas através de regressão exponencial entre as variáveis geomorfológicas e a área de drenagem. A regressão exponencial foi definida em diversos trabalhos como sendo a que melhor representa a relação entre as dimensões dos canais e a área de drenagem, e seu uso foi recomendado por diversos

autores, entre eles Andreadis et al. (2013), Bieger et al. (2015), Frasson et al. (2019) e Paiva et al. (2013).

Esse procedimento foi então repetido várias vezes de forma manual, para diversas combinações de estações, variando também o número de agrupamentos. Ao final, foram analisados os coeficientes da regressão (r^2), além da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) e do Índice de eficiência de Nash e Sutcliffe (NSE) entre as profundidades e larguras observadas e as estimadas pelos modelos exponenciais que melhor se ajustaram à distribuição das variáveis geomorfológicas. Assumiu-se, na sequência, que a combinação de estações que apresentavam o melhor ajuste constituía uma região hidrologicamente homogênea.

Os cálculos das RHHs pelo método da Conveniência Geográfica foram realizados utilizando-se o software R 3.3.1® (R Core Team, 2014).

4.3. Equações geomorfológicas

Foram desenvolvidas, usando regressão exponencial, equações geomorfológicas (EGs) para as regiões hidrologicamente homogêneas identificadas e, também, uma equação geral para cada bacia de estudo utilizando os dados de todas as estações fluviométricas analisadas.

Essas equações foram obtidas através da relação entre a largura e a profundidade do rio em função da área de drenagem a montante de cada estação fluviométrica, sendo a qualidade do ajuste analisada pelo coeficiente de determinação (r^2). As relações entre os parâmetros foram ajustadas com base nas Equações 2 e 3, utilizando o algoritmo de Gauss-Newton, que é um método iterativo usado para resolver problemas de mínimos quadrados não lineares, e está disponível no software R 3.3.1® (R Core Team, 2014).

4.3.1. Comparação entre as Equações Geomorfológicas e os dados observados

As EGs foram, então, aplicadas às áreas de drenagem das estações fluviométricas e os valores de largura e profundidade de inundação estimados foram comparados com os valores observados, utilizando-se os índices estatísticos comumente aplicados em estudos hidrológicos, como o erro quadrático médio (REQM), o erro absoluto médio (EAM), o viés médio (VM), o Índice de Eficiência de

Nash e Sutcliffe (NSE) e o Índice de eficiência de Nash e Sutcliffe Logarítmico (NSE_{\log}).

Os erros das estimativas foram calculados pela Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), com base na Equação 6 apresentada no item 4.2.1, pelo Erro Absoluto Médio (EAM) e pelo Viés Médio (VM), de acordo com as equações:

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (8)$$

$$VM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (9)$$

em que:

REQM = raiz do erro quadrático médio (m);

EAM = erro absoluto médio (m); e

VM = viés médio (m).

O Índice de Eficiência de Nash e Sutcliffe (NSE), que indica o quanto as estimativas do modelo são melhores que aquelas de um modelo que prevê simplesmente a média dos dados observados, foi obtido pela Equação 7 apresentada no item 4.2.1. Em muitos casos, devido à diferença na ordem de grandeza das variáveis, a estatística NSE não revela erros significativos nos valores menores. Assim, para reduzir o problema das diferenças quadráticas e da sensibilidade decorrente de valores extremos, a eficiência de Nash-Sutcliffe foi calculada com valores logarítmicos de O e P (NSE_{\log}), através da equação (Krause et al., 2005):

$$NSE_{\log} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\log O_i - \log P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\log O_i - \log \bar{O})^2} \quad (10)$$

em que:

NSE_{\log} = Índice de eficiência de Nash e Sutcliffe Logarítmico (adm);

$\log O_i$ = logaritmo dos dados observados (m);

$\log P_i$ = logaritmo dos dados preditos pelo modelo (m); e

$\log \bar{O}$ = logaritmo da média dos dados observados (m).

4.3.2. Comparação entre as Equações Geomorfológicas e os bancos de dados globais de largura e profundidade

Com o intuito de analisar se o uso de EGs refinadas para cada uma das cinco

grandes bacias hidrográficas estudadas melhora a representação das características geomorfológicas dos canais, os mesmos índices estatísticos apresentados no item 4.3.1 foram calculados para os dados do banco global de largura e profundidade de rios (GRWD), obtidos por Andreadis et al. (2013), e para os dados de largura calculados a partir de imagens Landsat (GRWL), obtidos por Allen e Pavelsky (2018) em comparação com os dados observados. Em seguida, os índices calculados para os dados estimados pelas EGs e para os dados do GRWD e do GRWL foram comparados entre si.

Ressalta-se que, para os dados do GRWL, essa comparação foi possível apenas para estações fluviométricas de rios que possuíssem largura maior ou igual a 30 m (resolução espacial das imagens Landsat).

4.4. Modelagem Hidrodinâmica com o MGB SA

Para as simulações hidrológicas nas bacias estudadas foi utilizado o modelo hidrológico MGB, calibrado e validado para toda a América do Sul por Siqueira et al. (2018a), denominado MGB SA. Para investigar o papel do refinamento das equações geomorfológicas na qualidade da modelagem de vazão e nível de água nas bacias estudadas, foram realizadas duas simulações com diferentes bases de dados geomorfológicos: a) valores de largura e profundidade obtidos através das EGs com melhor desempenho na bacia; e b) dados globais de largura e profundidade (GRWD) obtidos por Andreadis et al. (2013). Não foi realizada a simulação com os dados GRWL, por eles estarem disponíveis apenas para rios com largura maior que 30 m e não possuírem valores de profundidade dos canais.

Os valores simulados de vazão e de nível foram comparados com os dados observados das estações fluviométricas, no período entre 1990 a 2010. As medidas de desempenho consideradas para comparação das vazões simuladas e observadas foram: o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões simuladas e observadas (NSE) e o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões simuladas e observadas (NSE_{\log}). Além desses, foram também calculados o Viés Relativo (BIAS) e o coeficiente Kling-Gupta (KGE), que são dois índices recomendados na literatura para avaliação de dados hidrológicos (Pontes et al., 2017; Siqueira et al. 2018a).

O BIAS é uma forma de avaliar se existe um desvio sistemático de

superestimativa ou subestimativa dos dados simulados (Gupta et al., 1999) e foi obtido pela equação:

$$\text{BIAS} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n P_i - \sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) \times 100 \quad (11)$$

em que: BIAS é o viés relativo, não tendo valor máximo, nem mínimo, e apesar de ser adimensional, pode ser apresentado em termos percentuais.

O coeficiente Kling-Gupta (KGE), proposto por Gupta et al. (2009), tem sido amplamente utilizado em pesquisas no campo da hidrologia e é baseado na decomposição do coeficiente Nash-Sutcliffe (NSE) e do erro quadrático médio (EQM). O KGE pode ser decomposto em três termos diferentes que representam a correlação, a tendência do modelo (viés) e uma medida de variabilidade relativa entre os valores observados e simulados. O ponto ótimo é encontrado em termos de mínima distância euclidiana com relação ao ponto ideal, dentro de uma superfície tridimensional, de acordo com as equações:

$$\text{KGE} = 1 - \text{ED} \quad (12)$$

$$\text{ED} = \sqrt{(r-1)^2 + (\beta-1)^2 + (\alpha-1)^2} \quad (13)$$

$$\alpha = \frac{\mu_{\text{sim}}}{\mu_{\text{obs}}} \quad (14)$$

$$\beta = \frac{\sigma_{\text{sim}}}{\sigma_{\text{obs}}} \quad (15)$$

em que:

- KGE = coeficiente Kling-Gupta (adm);
- ED = distância euclidiana ao ponto ideal (m³/s);
- α = medida da variabilidade relativa nos valores simulados e observados (adm);
- β = razão entre vazões médias simuladas e observadas (adm);
- r = coeficiente de correlação linear entre os dados simulados e observados (adm);
- μ_{obs} = média aritmética dos valores observados (m³/s);
- μ_{sim} = média aritmética dos valores simulados (m³/s);
- σ_{obs} = desvio padrão dos valores observados (m³/s); e
- σ_{sim} = desvio padrão dos valores simulados (m³/s).

Para uma comparação adequada dos dados de nível de água observados e simulados pelo MGB SA, estes foram primeiro convertidos em anomalias (subtraindo a respectiva média de longo prazo), para manter os valores com a mesma referência, conforme a equação:

$$H_{m \text{ novo}} = H_m - \overline{H_m} \quad (16)$$

em que:

$H_{m \text{ novo}}$ = anomalia do nível de água (m);

H_m = nível de água (m); e

$\overline{H_m}$ = nível de água médio de longo prazo (m).

As medidas de desempenho consideradas para comparação das anomalias simuladas e observadas foram: o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) e o viés no desvio padrão (σ BIAS) que, assim como o viés relativo, é uma forma de avaliar se existe um desvio sistemático de superestimativa ou subestimativa dos dados simulados, e foi obtido através da equação:

$$\sigma\text{BIAS} = \left(\frac{\sigma_{\text{sim}} - \sigma_{\text{obs}}}{\sigma_{\text{obs}}} \right) \times 100 \quad (17)$$

em que: σ BIAS é o viés no desvio padrão, adimensional.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Regiões Hidrologicamente Homogêneas e Equações Geomorfológicas

Bacia do rio Purus

A Tabela 4 apresenta os resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Purus, utilizando-se os dados de 16 estações fluviométricas, nove combinações de características aglomerativas e número de clusters variando de dois a cinco. Observa-se que em muitos casos ocorreu a formação de regiões homogêneas compostas por apenas uma, duas ou três estações, tornando inviável a obtenção das equações geomorfológicas via análise de regressão.

Já em outros casos, a divisão da bacia em sub-regiões retornou valores dos coeficientes ajustados (r^2) das equações geomorfológicas bem similares quando comparado às equações para toda bacia, porém com métricas estatísticas REQM e NSE melhores. Os mapas com todos os resultados encontrados para bacia do rio Purus pelo método de análise de cluster K-means são apresentados no Apêndice C.

As Combinações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 na análise K-means resultaram na mesma divisão da bacia do rio Purus em RHHs, sendo possível apenas a formação de duas regiões. Observa-se que na estimativa tanto da largura quanto da profundidade com essa divisão, apesar de ocorrer aumento do NSE e diminuição do REQM, as equações obtiverem coeficiente ajustados piores para uma das regiões, principalmente para profundidade, que teve um valor de r^2 de 0,67. Além disso, as regiões formadas por essa divisão não apresentaram continuidade geográfica.

Já as Combinações 8 e 9 permitiram a formação de duas ou três regiões homogêneas. Porém, da mesma forma, as equações para estimativas de largura e profundidade com essa divisão tiveram coeficientes ajustados piores para uma das regiões, principalmente para profundidade, que teve valores de r^2 de 0,33 em uma região da Combinação 8 com três clusters e de 0,16 em uma região da Combinação 9 com três clusters. Além disso, as regiões formadas por essa divisão também não apresentaram continuidade geográfica.

Analisando-se, então, o ajuste das equações, as métricas estatísticas e a distribuição geográfica das regiões (Apêndice A), a Combinação 7 com dois clusters, que utilizou apenas latitude e longitude como características aglomerativas, foi a que obteve melhores resultados. Apesar das estimativas de largura e profundidade com

essa divisão terem coeficientes ajustados pouco inferiores para uma das regiões em comparação à equação para toda a bacia, esses coeficientes foram altos, havendo também um aumento do valor de NSE e diminuição do REQM com o uso dessa divisão. Isso demonstra que a localização espacial na rede de drenagem foi a característica aglomerativa mais eficiente no agrupamento de estações com característica geomorfológicas semelhantes. A Figura 9 apresenta as RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método de análise de cluster K-means.

A RHH 1, localizada no sul da bacia, corresponde à região de cabeceira e é formada pela área de drenagem de um conjunto de quatro estações localizadas no próprio rio Purus e sete estações localizadas em rios afluentes. As áreas de drenagem a montante das estações fluviométricas possuem valor entre 3.722 e 154.242 km², profundidades de canal entre 4 e 16 metros, larguras de canal entre 86 e 380 metros e vazões com período de retorno de dois anos entre 859 e 9.841 m³/s.

Já a RHH 2, localizada ao norte da bacia, corresponde à região mais próxima ao desague do rio Purus no rio Solimões, sendo formada pela área de drenagem de três estações localizadas no próprio rio Purus e outras duas estações localizadas em rios afluentes. As áreas de drenagem a montante das estações fluviométricas possuem valor entre 5.789 e 366.384 km², profundidades de canal entre 5 e 24 metros, larguras de canal entre 171 e 726 metros e vazões com período de retorno de dois anos entre 774 e 25.127 m³/s.

Tabela 4 - Resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Purus

Combinação	Características	Nº de clusters	Hm					B				
			a	b	r ²	REQM	NSE	a'	b'	r ²	REQM	NSE
Equação única	-	1	0,26	0,34	0,91	1,63	0,91	1,60	0,47	0,93	43,69	0,93
1	Hm, B	2	0,61	0,26	0,67	1,42	0,93	3,32	0,40	0,80	32,86	0,96
			0,02	0,54	0,88			0,02	0,81	0,98		
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Lat, Long, Hm, B	2	0,61	0,26	0,67	1,42	0,93	3,32	0,40	0,80	32,86	0,96
			0,02	0,54	0,88			0,02	0,81	0,98		
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Lat, Long, Hm, B, Q _{T=2}	2	0,61	0,26	0,67	1,42	0,93	3,32	0,40	0,80	32,86	0,96
			0,02	0,54	0,88			0,02	0,81	0,98		
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	Hm, B, Ad	2	0,61	0,26	0,67	1,42	0,93	3,32	0,40	0,80	32,86	0,96
			0,02	0,54	0,88			0,02	0,81	0,98		
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

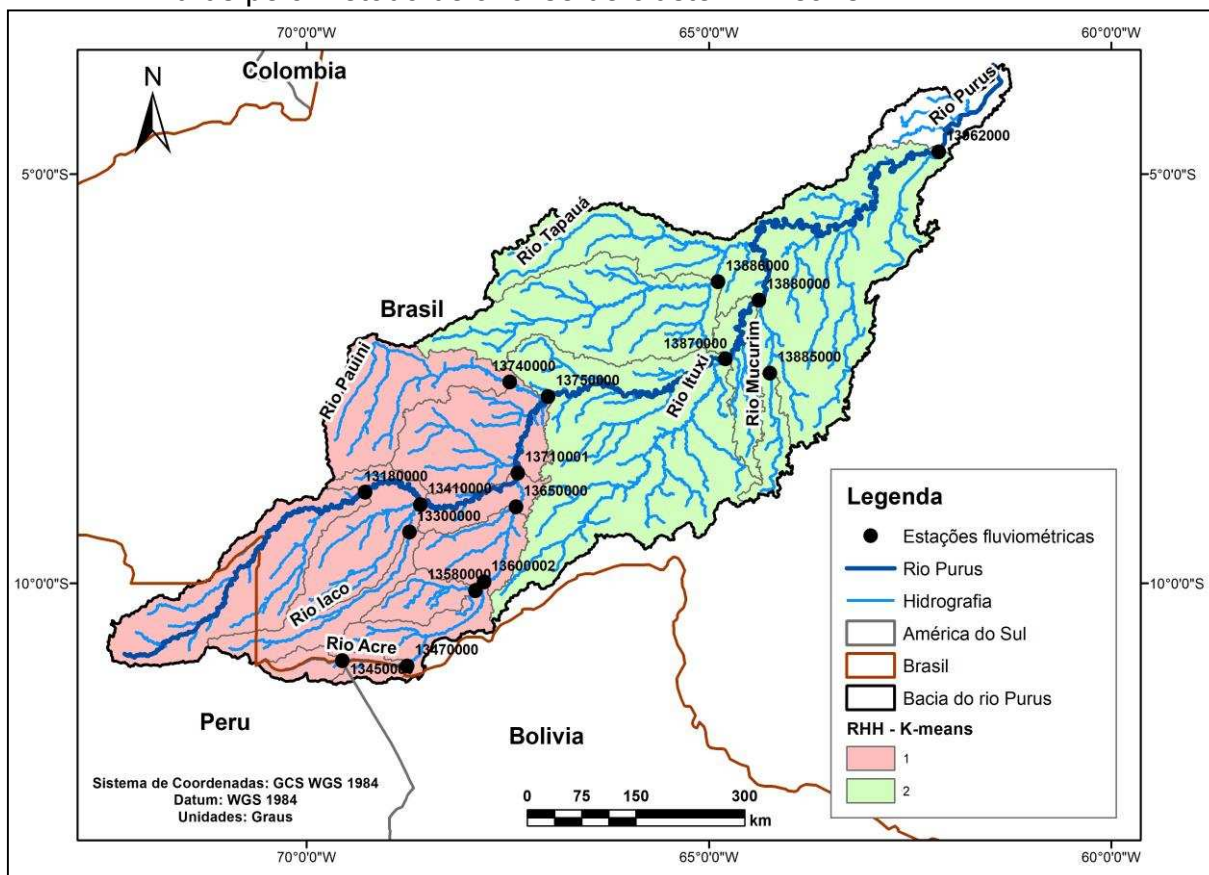
5	Lat, Long, H _m , B, A _d	2	0,61 0,02	0,26 0,54	0,67 0,88	1,42	0,93	3,32 0,02	0,40 0,81	0,80 0,98	32,86	0,96
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2	0,61 0,02	0,26 0,54	0,67 0,88	1,42	0,93	3,32 0,02	0,40 0,81	0,80 0,98	32,86	0,96
6	Lat, Long, H _m , B, A _d , Q _{T=2}	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2	0,49 0,03	0,29 0,52	0,89 0,95	1,28	0,94	2,19 5,49	0,43 0,37	0,94 0,90	37,91	0,95
		3	0,38 0,64 0,03	0,31 0,26 0,52	0,81 0,86 0,95	1,27	0,94	2,94 1,58 5,49	0,40 0,46 0,37	0,85 0,97 0,90	37,73	0,95
7	Lat, Long	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2	0,18 0,43 0,01	0,37 0,30 0,65	0,86 0,78 0,99	1,56	0,91	0,93 1,18 2,35	0,51 0,53 0,44	0,94 0,33 0,84	39,80	0,95
		3	0,43 0,59	0,30 0,27	0,78 0,72	0,94	0,97	1,18 1,34	0,53 0,48	0,33 0,95	37,96	0,95
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	h _m , b	5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

9	$h_m, b, q_{T=2}$	2	0,18	0,37	0,86	1,56	0,91	0,93	0,51	0,94	39,80	0,95
			0,43	0,30	0,78			1,18	0,53	0,33		
			0,06	0,53	0,93			3,12	0,43	0,16		
		3	0,01	0,65	1,00	0,93	0,97	2,35	0,44	0,84	38,54	0,95
			0,51	0,29	0,84			1,97	0,44	0,93		
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

*A letra "X" indica que o método K-means formou agrupamentos compostos por três ou menos estações fluviométricas.

**a, b, a' e b' são parâmetros da regressão exponencial. Fonte: A autora.

Figura 9 - Regiões Hidrológicamente Homogêneas encontradas para a bacia do rio Purus pelo método de análise de cluster K-means.



Fonte: a autora.

O método da Conveniência Geográfica também permitiu a divisão da bacia do rio Purus em duas regiões hidrológicamente homogêneas, de maneira que as EGs fossem aprimoradas em relação às equações para toda a bacia, como pode ser observado na Tabela 5, onde são apresentadas as EGs obtidas para toda a bacia utilizando-se as 16 estações analisadas e para as regiões homogêneas definidas pelos métodos da análise cluster K-means e Conveniência Geográfica.

Tabela 5 - Equações geomorfológicas obtidas para a bacia do rio Purus

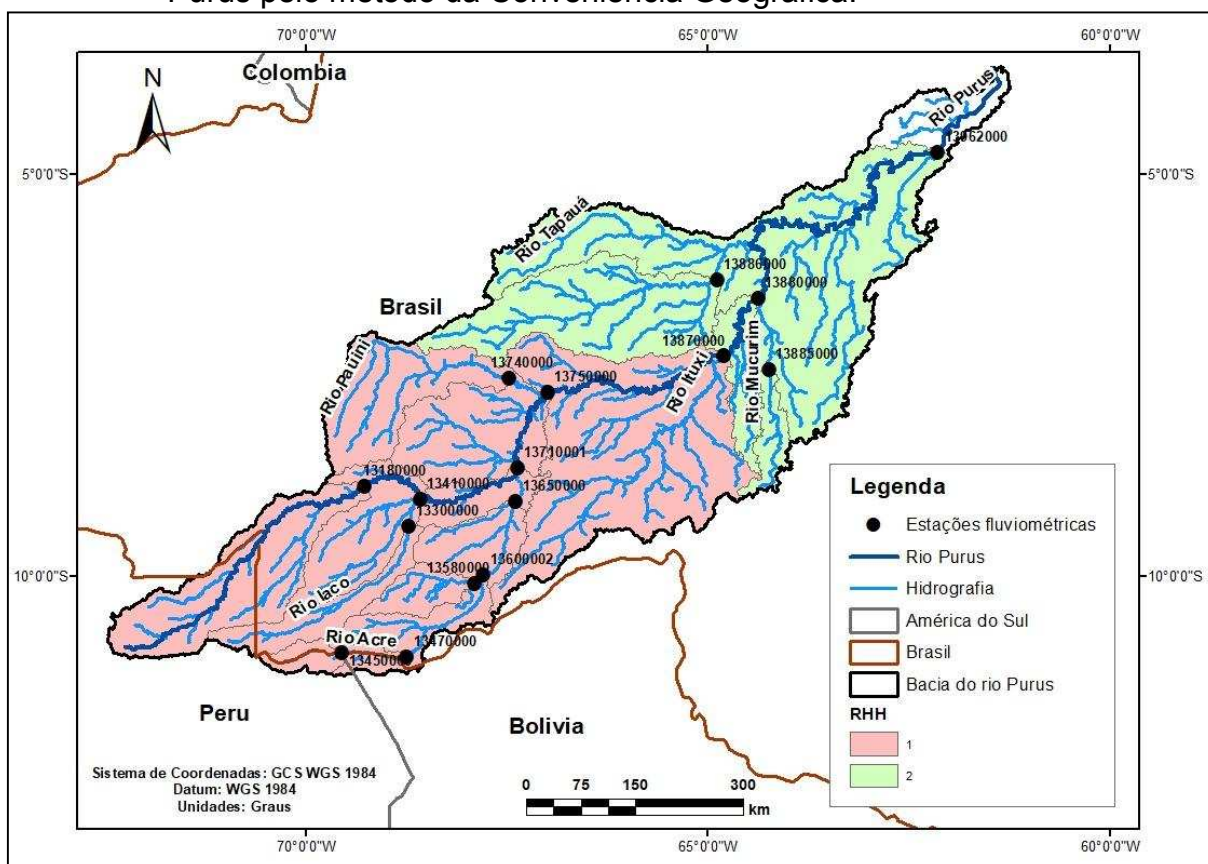
Equação única					
	Nº de estações	Profundidade (H)	r²	Largura (B)	r²
Bacia do rio Purus	16	$H = 0,2643xAd^{0,3430}$	0,91	$B = 1,599x6Ad^{0,4676}$	0,93
Regiões Hidrológicamente Homogêneas – K-means					
RHH 1	11	$H = 0,4891xAd^{0,2880}$	0,88	$B = 2,1911xAd^{0,4336}$	0,95
RHH 2	5	$H = 0,0309 xAd^{0,5152}$	0,95	$B = 5,4860xAd^{0,3711}$	0,90
Regiões Hidrológicamente Homogêneas – Conveniência Geográfica					
	Nº de estações	Profundidade (H)	r²	Largura (B)	r²
RHH 1	12	$H = 0,5147xAd^{0,2830}$	0,92	$B = 2,405xAd^{0,4404}$	0,97
RHH 2	4	$H = 0,0362 xAd^{0,5044}$	0,96	$B = 5,7287xAd^{0,3708}$	0,93

A alteração ocorrida na divisão encontrada pela Conveniência Geográfica em relação à análise de cluster K-means foi o deslocamento da estação de Lábrea (13870000), localizada no rio Purus, da RHH 2 para a RHH 1, conforme apresentado na Figura 10.

Dessa forma, a RHH 1, localizada no sul da bacia, passou a contar com um conjunto de cinco estações localizadas no próprio rio Purus e sete estações localizadas em rios afluentes. As áreas de drenagem a montante das estações fluviométricas passaram a variar entre 3.722 e 226.938 km², as profundidades de canal entre 4 e 17 metros, as larguras de canal entre 86 e 471 metros e as vazões com período de retorno de dois anos entre 859 e 11.769 m³/s.

Já a RHH 2, localizada ao norte da bacia, passou a contar com duas estações localizadas no próprio rio Purus e outras duas estações localizadas em rios afluentes. As áreas de drenagem a montante das estações fluviométricas continuaram a variar entre 5.789 e 366.384 km², as profundidades de canal entre 5 e 24 metros, as larguras de canal entre 171 e 726 metros e as vazões com período de retorno de dois anos entre 774 e 25.127 m³/s.

Figura 10 - Regiões Hidrológicamente Homogêneas encontradas para a bacia do rio Purus pelo método da Conveniência Geográfica.



Fonte: a autora.

Essa divisão da bacia em uma área de cabeceira e outra próxima ao desague do rio Purus pode ser explicada, principalmente, pelos diferentes regimes de precipitação e vazão que ocorrem nas duas regiões, uma vez que o relevo na bacia é uniforme, formado principalmente por superfícies aplanadas, com 85% da bacia com baixa declividade (Melo, 2012).

Os maiores valores de precipitação encontram-se no trecho do baixo Purus, enquanto no médio Purus ocorre uma transição dos maiores índices pluviométricos do baixo Purus para as chuvas mais moderadas na porção do alto Purus (Assis et al., 2008; Villar et al, 2009). Filizola et al. (2011), analisando o regime de vazões na bacia do rio Purus, concluíram que há um incremento na ordem de grandeza das vazões entre as estações fluviométricas de Lábrea (13870000) e Arumã Jusante (13962000). Essas estações são aquelas que limitam a RHH 2 na divisão pelo método da Conveniência Geográfica, o que demonstra que a vazão é uma característica que também influenciou fortemente no agrupamento de estações.

Outro ponto importante, destacado por Filizola et al. (2011), é que a bacia do

rio Purus tem uma foz muito complexa, fruto do efeito de remanso do rio Solimões sobre o rio Purus. Esse efeito é sentido a mais de 200 km a montante da sua foz e tem grande influência no regime de vazões dos rios localizados próximos ao desague do rio Purus.

Observa-se pela Tabela 5 que as EGs de profundidade e largura obtidas para toda a bacia do rio Purus apresentaram ajustes com valores elevados de r^2 , de 0,91 e 0,93, respectivamente. O desmembramento das equações para as RHHs, no entanto, proporcionou uma melhoria nos coeficientes ajustados das equações de largura e profundidade em ambas as regiões homogêneas, sendo mais expressiva para equação de profundidade na RHH 2 e para equação de largura na RHH 1, à exceção da profundidade na RHH 1 definida pelo método K-means, em que o valor foi de r^2 foi menor, de 0,75.

A Tabela 6 apresenta os índices estatísticos calculados para os resultados de largura e profundidade obtidos pela aplicação das EGs geradas para a bacia do rio Purus e, também, para os dados globais GRWD e GRWL em comparação aos valores observados nos locais das estações fluviométricas. Nota-se que o refinamento das equações possibilitou uma melhor representação da geomorfologia dos canais na bacia do rio Purus.

As EGs obtidas para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica possibilitaram a melhor concordância das estimativas de largura e profundidade com os dados observados nos locais das estações fluviométricas, quando comparadas aos dados globais GRWD e GRWL. Houve principalmente aumento dos valores dos índices de concordância NSE e NSE_{\log} e redução dos índices de erro. A melhora foi ainda mais expressiva para os dados de profundidade, que apresentaram valores negativos de NSE e NSE_{\log} para os dados globais GRWD, indicando que a média dos dados observados seria um melhor preditor que esse modelo.

As EGs obtidas para toda bacia e para as RHHs definidas pelo método K-means também apresentaram bons resultados quando comparadas aos dados globais, porém apresentaram piores índices de concordância e maiores erros que as equações obtidas para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica.

Observam-se que os dados GRWL apresentaram concordância na bacia do rio Purus, com melhores resultados em relação aos dados GRWD. Isso se deve ao fato de que as seções transversais de todas as estações analisadas na bacia possuem

grandes larguras (maiores que 80 m), o que torna mais precisa a extração dessa dimensão através de imagens Landsat (resolução de 30m), no período de vazão média dos rios.

Tabela 6 - Índices estatísticos da comparação entre os dados de largura e profundidade obtidos por diferentes conjuntos de equações geomorfológicas e os dados observados em estações fluviométricas da bacia do rio Purus

LARGURA					
	REQM	EAM	VM	NSE	NSE_{log}
GRWD	150,65	129,93	127,86	0,22	0,44
GRWL	66,14	56,22	-56,22	0,85	0,68
EG para bacia	43,69	34,97	-3,44	0,93	0,87
EG para RHHs K-means	37,91	29,21	-1,18	0,95	0,94
EG para RHHs Conveniência Geográfica	33,42	24,58	-1,22	0,96	0,95
PROFUNDIDADE					
	REQM	EAM	VM	NSE	NSE_{log}
GRWD	5,62	4,86	-4,84	-0,13	-0,76
EG para bacia	1,63	1,28	-0,06	0,91	0,86
EG para RHHs K-means	1,28	1,05	0,09	0,94	0,79
EG para RHHs Conveniência Geográfica	1,24	1,01	-0,07	0,95	0,82

Bacia do rio Doce

A Tabela 7 apresenta os resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Doce utilizando-se os dados de 37 estações fluviométricas, nove combinações de características aglomerativas e número de clusters variando de dois a cinco. Observa-se que, na grande maioria das combinações, ocorreu a formação de RHHs compostas por, no máximo, três estações, tornando inviável a obtenção das equações geomorfológicas via análise de regressão.

Já nos demais casos, as divisões que foram possíveis pioraram os coeficientes de determinação (r^2) das equações de regressão de algumas regiões, quando comparadas com as equações para toda a bacia, apesar de aumentar os valores de NSE e diminuir os de REQM. Além disso, todas as divisões não apresentaram continuidade geográfica, sendo formadas por estações distantes umas das outras ou que não estavam localizadas na mesma área de drenagem. Os mapas com todos os resultados encontrados para bacia do rio Doce pelo método de análise de cluster K-

means são apresentados no Apêndice C.

Nota-se na Tabela 7 que foi possível com a análise K-means a formação de duas regiões homogêneas com as Combinações 1 e 8 e de até cinco regiões homogêneas com as Combinações 2, 7 e 9. Já com as Combinações 3, 4, 5 e 6 não foi possível a formação de nenhuma região homogênea. Portanto, as combinações com melhores resultados foram aquelas que usaram como características aglomerativas as dimensões dos canais e as coordenadas geográficas das estações fluviométricas, sendo a área de drenagem e a vazão com período de retorno de dois anos as características menos representativas da distribuição dos valores de largura e profundidade dos canais nessa bacia.

A Combinação 7, que utilizou apenas latitude e longitude como características aglomerativas, foi a que obteve melhores resultados na bacia do rio Doce. Houve pequenos aumentos dos valores de NSE e diminuição do REQM com a utilização dessas divisões, porém os coeficientes ajustados para a maioria das regiões foram piores em comparação à equação para toda a bacia. Além disso, as regiões formadas por essa divisão não apresentaram continuidade hidrológica e geográfica dentro da bacia (Apêndice C), sendo formadas por sub-bacias relativamente distantes entre si e que não estavam localizadas na mesma área de drenagem. Dessa forma, a aplicação do método de análise de cluster K-means não apresentou resultados satisfatórios na identificação de regiões homogêneas para a bacia do rio Doce.

Tabela 7 - Resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Doce

Combinação	Características	Nº de clusters	Hm					B				
			a	b	r ²	REQM	NSE	a'	b'	r ²	REQM	NSE
Equação única	-	1	1,23	0,15	0,74	0,50	0,74	1,49	0,53	0,92	34,26	0,92
1	H _m , B	2	1,25	0,14	0,47	0,48	0,76	9,95	0,28	0,39	30,08	0,93
			2,65	0,07	0,38			1,60	0,52	0,88		
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Lat, Long, H _m , B	2	1,25	0,14	0,47	0,48	0,76	9,95	0,28	0,39	30,08	0,93
			2,65	0,07	0,38			1,60	0,52	0,88		
		3	1,21	0,14	0,58	0,44	0,80	9,06	0,30	0,52	29,59	0,94
			2,65	0,07	0,38			1,60	0,52	0,88		
			1,55	0,12	0,34			9,60	0,28	0,30		
		4	2,07	0,09	0,23	0,41	0,83	13,23	0,23	0,28	29,52	0,94
			1,25	0,14	0,60			8,62	0,31	0,53		
			0,44	0,28	0,87			5,23	0,37	0,34		
			2,65	0,07	0,38			1,60	0,52	0,88		
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Lat, Long, H _m , B, QT=2	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

4	H _m , B, A _d	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
5	Lat, Long, H _m , B, A _d	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
6	Lat, Long, H _m , B, A _d , Q _{T=2}	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
7	Lat, Long	2	0,98	0,17	0,67	0,48	0,76	2,02	0,51	0,68	32,49	0,92	
			1,43	0,13	0,75			0,86	0,58	0,95			
			1,06	0,17	0,85			2,71	0,46	0,94			
		3	1,83	0,10	0,61	0,45	0,79	0,54	0,63	0,98	28,34	0,94	
			1,02	0,17	0,72			1,90	0,52	0,71			
			1,21	0,15	0,63			0,85	0,63	0,90			
		4	1,06	0,17	0,85	0,45	0,79	2,71	0,46	0,94	24,96	0,96	
			1,02	0,16	0,79			8,30	0,31	0,52			
			1,76	0,11	0,63			0,50	0,64	0,98			
		5	1,02	0,16	0,79	0,45	0,79	8,30	0,31	0,52	24,42	0,96	
			1,21	0,15	0,63			0,85	0,63	0,90			
			1,76	0,11	0,63			0,50	0,64	0,98			
				1,19	0,15	0,70			4,95	0,39	0,88		
				0,93	0,18	1,00			2,50	0,47	0,97		

8	h_m, b	2	2,47	0,02	0,01	0,50	0,74	0,33	0,86	0,20	33,69	0,92	
			0,33	0,86	0,20			1,24	0,15	0,70			
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	$h_m, b, q_{T=2}$	2	2,32	0,04	0,04	0,50	0,74	0,95	0,70	0,29	33,39	0,92	
			1,21	0,15	0,72			1,37	0,54	0,92			
		3	0,73	0,21	0,69	0,47	0,77	1,23	0,56	0,68	31,84	0,93	
			1,43	0,13	0,75			0,86	0,58	0,95			
		4	2,32	0,04	0,04	0,42	0,82	0,95	0,70	0,29	29,21	0,94	
			0,92	0,18	0,89			2,44	0,47	0,97			
			0,66	0,22	0,78			1,00	0,59	0,69			
			1,82	0,10	0,62			0,72	0,60	0,96			
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

*A letra "X" indica que o método K-means formou agrupamentos compostos por três ou menos estações fluviométricas.

**a, b, a' e b' são parâmetros da regressão exponencial.

Fonte: A autora.

O método da Conveniência Geográfica, da mesma forma, não permitiu a divisão da bacia do rio Doce em regiões hidrologicamente homogêneas. Todas as combinações possíveis das estações não resultaram em aprimoramento das EGs em relação às equações para toda bacia.

Isso ocorreu, provavelmente, devido à baixa densidade de estações fluviométricas, que não permitiu caracterizar a heterogeneidade dos padrões de drenagem na bacia, principalmente nas regiões norte e leste, que possuem formações geomorfológicas distintas do restante da bacia.

A maioria dos perfis transversais analisados possui padrão geomorfológico semelhante, estando inseridos, predominantemente, nas regiões geomorfológicas dos Planaltos Dissecados do Centro-Sul e do Leste de Minas Gerais, na Serra do Espinhaço e no Quadrilátero Ferrífero. Essas regiões são constituídas em sua maioria por formas de dissecação fluvial do tipo colinas, cristas, pontões e vales encaixados, possuindo drenagem bastante densa e padrão predominantemente dendrítico. A drenagem é encaixada e apresenta um controle estrutural em parte de seus cursos, sendo que o desenvolvimento de planícies fluviais é muito restrito (PIRH, 2010).

Existe, no entanto, baixa densidade de estações nas Superfícies Aplainadas Sub-Litorâneas, na Planície Fluviomarina e na Depressão do rio Doce, ou seja, nas regiões com menores altitudes da bacia. Essas regiões contam com a presença de planícies fluviais amplas e terraços, que podem ser inundados durante cheias excepcionais, fazendo com que a geomorfologia dos canais seja completamente diferente das regiões mais montanhosas (PIRH, 2010).

Dessa forma, como tentativa de aperfeiçoamento das estimativas da largura e profundidade dos canais nessa bacia, foram utilizadas equações individualizadas para o rio principal. A Tabela 8 apresenta as EGs obtidas para toda a bacia do rio Doce, utilizando-se as 37 estações analisadas, e para o rio principal, utilizando-se as sete estações localizadas nas calhas dos rios Doce e Piranga.

Observa-se na Tabela 7 que, considerando toda a bacia do rio Doce, a equação única para largura apresenta valor de r^2 de 0,92, enquanto a equação única para profundidade obteve um ajuste pior, com r^2 de 0,74, isso devido ao comportamento das calhas dos rios, que para pequenas áreas de drenagem podem sofrer grande variação de profundidade. Além disso, com o aumento da largura a profundidade tende a diminuir, o que é um fenômeno difícil de representar por meio de uma única curva (Fagundes et al., 2017).

A individualização das equações para o rio principal proporcionou uma melhoria no coeficiente ajustado da equação da profundidade, no entanto, não teve efeitos no ajuste da equação de largura.

Tabela 8 - Equações geomorfológicas para a bacia do rio Doce

Equação única					
	Nº de estações	Profundidade	r²	Largura	r²
Bacia do rio Doce	37	$H = 1,2283 \times A_d^{0,1472}$	0,74	$B = 1,4883 \times A_d^{0,5298}$	0,92
Rio Principal					
	Nº de estações	Profundidade	r²	Largura	r²
Rio Doce e rio Piranga	7	$H = 1,2124 \times A_d^{0,1467}$	0,84	$B = 1,4529 \times A_d^{0,5334}$	0,92

A Tabela 9 apresenta os índices estatísticos calculados para os resultados de largura e profundidade obtidos pela aplicação das EGs geradas para a bacia do rio Doce e, também, para os dados globais GRWD e GRWL em comparação aos valores observados nos locais das estações fluviométricas.

Nota-se que a definição de EGs específicas para essa bacia possibilitou uma melhora na representação da geomorfologia dos canais. As estimativas de largura e profundidade definidas por essas equações apresentaram índices estatísticos muito melhores que os obtidos pelos dados globais, principalmente os dados GRWD, havendo aumento de todos os índices de concordância e diminuição considerável de todos os índices de erros.

Já a tentativa de refinamento das equações pelo uso de equações de largura e profundidade individualizadas para o rio principal não resultou em alterações expressivas dos índices de concordância e dos índices de erro quando comparado às equações para toda bacia, não sendo justificado o seu uso.

Observa-se que os dados GRWL apresentaram boa concordância na bacia do rio Doce, com resultados mais próximos às EGs do que os dados GRWD. Isso ocorre porque os rios da bacia do rio Doce são mais encaixados, o que torna mais precisa a extração de largura de rios através de imagem de satélite em sua condição de vazão média. Além disso, foram utilizadas nessa análise apenas seções transversais que possuísem largura maior que 30 m, em função da limitação dos dados GRWL, o que representa apenas 35% das estações analisadas na bacia.

Tabela 9 - Índices estatísticos da comparação entre os dados de largura e profundidade obtidos por diferentes conjuntos de equações geomorfológicas e os dados observados em estações fluviométricas da bacia do rio Doce

LARGURA					
	REQM	EAM	VM	NSE	NSE_{log}
GRWD	95,00	51,71	-9,94	0,35	0,36
GRWL	65,34	50,26	-17,05	0,85	0,71
EG para bacia	34,26	27,93	-3,56	0,92	0,70
EG para o rio principal	34,21	28,08	-1,66	0,92	0,70
PROFUNDIDADE					
	REQM	EAM	VM	NSE	NSE_{log}
GRWD	2,20	2,10	-1,76	-4,02	-12,99
EG para bacia	0,50	0,43	0,00	0,74	0,71
EG para o rio principal	0,50	0,43	-0,01	0,74	0,71

Bacia do rio Parnaíba

A Tabela 10 apresenta os resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Parnaíba, utilizando-se os dados de 27 estações fluviométricas, nove combinações de características aglomerativas e número de clusters variando de dois a cinco. Observa-se que, em muitos casos, ocorreu a formação de RHHs compostas por, no máximo, três estações, tornando inviável a obtenção das equações geomorfológicas via análise de regressão.

Já nos demais casos, as divisões que foram possíveis pioraram os coeficientes de determinação (r^2) das equações de regressão de algumas regiões, quando comparadas com as equações para toda a bacia, apesar de aumentar os valores de NSE e diminuir os de REQM. Além disso, todas as divisões não apresentaram continuidade geográfica, sendo formadas por estações distantes umas das outras ou que não estavam localizadas na mesma área de drenagem. Os mapas com todos os resultados encontrados para bacia do rio Parnaíba pelo método de análise de cluster K-means são apresentados no Apêndice C.

As Combinações 2, 3, 4, 5 e 6 na análise K-means resultaram na mesma divisão da bacia do rio Parnaíba, sendo possível a formação de até quatro regiões. Já as Combinações 8 e 9 permitiram a formação de duas regiões homogêneas, enquanto a Combinação 7 permitiu a formação de até três regiões. Observa-se que na estimativa tanto de largura quanto de profundidade com essas divisões, apesar de ocorrer aumento do NSE e diminuição do REQM, as equações obtiverem coeficiente

ajustados piores para uma das regiões, tanto para a largura quanto para a profundidade. Além disso, as regiões formadas por essas divisões não apresentaram continuidade geográfica na bacia. Ressalta-se, ainda, que para esta bacia as combinações com melhores resultados foram aquelas que utilizaram como características aglomerativas as dimensões dos canais e as coordenadas geográficas das estações fluviométricas.

A Combinação 7 com dois clusters, que utilizou apenas latitude e longitude como características aglomerativas, foi a que obteve melhores resultados na bacia do rio Parnaíba. Houve diminuição do REQM, aumento dos valores de NSE e aumento dos coeficientes ajustados das equações de profundidade com a utilização dessas divisões. As equações de largura não apresentaram coeficientes ajustados melhores em comparação à equação para toda a bacia, no entanto esses coeficientes permaneceram altos. Analisando-se, no entanto, a distribuição geográfica das regiões formadas, observa-se que elas não apresentaram continuidade hidrológica e geográfica dentro da bacia, sendo formadas por sub-bacias que não estavam localizadas na mesma área de drenagem. Dessa forma, a aplicação do método de análise de cluster K-means não apresentou resultados satisfatórios na identificação de regiões homogêneas para a bacia do rio Parnaíba.

Tabela 10 - Resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Parnaíba

Combinação	Características	Nº de clusters	Hm					B						
			a	b	r ²	REQM	NSE	a'	b'	r ²	REQM	NSE		
1	Hm, B	Equação única	1	0,62	0,19	0,72	0,81	0,72	1,71	0,41	0,85	29,57	0,85	
		2	0,37	0,23	0,67	0,49	0,90	24,13	0,12	0,14	24,15	0,90		
			3,32	0,05	0,26			1,08	0,45	0,94				
		3	1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68				
			0,46	0,20	0,63	0,46	0,91	12,42	0,20	0,32	23,70	0,90		
			0,57	0,21	0,45			63,97	0,04	0,01				
		4	1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68				
			1,21	0,15	0,15	0,42	0,93	260,04	-0,08	0,13	18,44	0,94		
			1,03	0,09	0,19			20,68	0,12	0,05				
			0,81	0,16	0,39			507,20	-0,19	0,25				
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		2	Lat, Long, Hm, B	2	0,17	0,33	0,77	0,63	0,83	14,80	0,19	0,35	24,13	0,90
					1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68		
3	0,19			0,32	0,84			5,73	0,29	0,82				
	1,62			0,10	0,73	0,57	0,86	1,39	0,43	0,68	21,13	0,92		
	0,26			0,27	0,68			75,90	0,01	0,00				
4	1,62			0,10	0,73			1,39	0,43	0,68				
	2,55			-0,03	0,02	0,48	0,90	0,37	0,62	0,99	20,02	0,93		
	0,38			0,26	0,62			26,09	0,14	0,33				
	0,26			0,27	0,68			75,90	0,01	0,00				
5	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X		

3	Lat, Long, H _m , B, Q _{T=2}	2	0,17	0,33	0,77	0,63	0,83	14,80	0,19	0,35	24,13	0,90
			1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68		
		3	0,19	0,32	0,84	0,57	0,86	5,73	0,29	0,82	21,13	0,92
			1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68		
			0,26	0,27	0,68			75,90	0,01	0,00		
			1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68		
		4	2,55	-0,03	0,02	0,48	0,90	0,37	0,62	0,99	20,02	0,93
			0,38	0,26	0,62			26,09	0,14	0,33		
			0,26	0,27	0,68			75,90	0,01	0,00		
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	H _m , B, A _d	2	0,17	0,33	0,77	0,63	0,83	14,80	0,19	0,35	24,13	0,90
			1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68		
		3	0,46	0,20	0,63	0,46	0,91	12,42	0,20	0,32	23,70	0,90
			1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68		
			0,57	0,21	0,45			63,97	0,04	0,01		
		4	1,21	0,15	0,15	0,42	0,93	260,04	-0,08	0,13	18,44	0,94
			1,03	0,09	0,19			20,68	0,12	0,05		
			0,81	0,16	0,39			507,20	-0,19	0,25		
		1,62	0,10	0,73	1,39	0,43	0,68					
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

5	Lat, Long, H _m , B, A _d	2	0,17	0,33	0,77	0,63	0,83	14,80	0,19	0,35	24,13	0,90
			1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68		
		3	0,19	0,32	0,84	0,57	0,86	5,73	0,29	0,82	21,13	0,92
			1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68		
		4	0,26	0,27	0,68	0,48	0,90	75,90	0,01	0,00	20,02	0,93
1,62	0,10		0,73	1,39	0,43			0,68				
2,55	-0,03		0,02	0,37	0,62			0,99				
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
6	Lat, Long, H _m , B, A _d , Q _{T=2}	2	0,17	0,33	0,77	0,63	0,83	14,80	0,19	0,35	24,13	0,90
			1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68		
		3	0,19	0,32	0,84	0,57	0,86	5,73	0,29	0,82	21,13	0,92
			1,62	0,10	0,73			1,39	0,43	0,68		
		4	0,26	0,27	0,68	0,48	0,90	75,90	0,01	0,00	20,02	0,93
0,38	0,26		0,62	26,09	0,14			0,33				
0,26	0,27		0,68	75,90	0,01			0,00				
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
7	Lat, Long	2	0,19	0,32	0,84	0,59	0,85	5,73	0,29	0,82	28,68	0,86
			0,54	0,20	0,86			1,71	0,41	0,85		
		3	0,72	0,17	0,85	0,64	0,82	5,56	0,32	0,95	26,54	0,88
			0,19	0,32	0,81			4,69	0,31	0,84		
		4	0,27	0,27	0,78	0,84	0,47	0,54				
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

8	h_m, b	2	0,27 0,79	0,28 0,17	0,42 0,58	0,78	0,74	28,10 1,44	0,07 0,42	0,01 0,84	28,86	0,86
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2	0,10 0,77	0,41 0,17	0,82 0,57	0,78	0,74	1,96 1,27	0,44 0,43	0,36 0,85	28,16	0,87
9	$h_m, b, q_T=2$	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

*A letra "X" indica que o método K-means formou agrupamentos compostos por três ou menos estações fluviométricas.

**a, b, a' e b' são parâmetros da regressão exponencial.

Fonte: A autora.

Assim como na bacia do rio Purus, o método da Conveniência Geográfica, no entanto, permitiu a divisão da bacia do rio Parnaíba em duas regiões hidrologicamente homogêneas (Figura 11), de maneira que as EGs fossem aprimoradas em relação às equações para toda bacia, como pode ser observado na Tabela 11, onde são apresentadas as EGs obtidas para as regiões homogêneas definidas pelo método da Conveniência Geográfica e para toda a bacia do rio Parnaíba utilizando-se as 27 estações analisadas.

Tabela 11 - Equações geomorfológicas para a bacia do rio Parnaíba

Equação única					
	Nº de estações	Profundidade	r²	Largura	r²
Bacia do rio Parnaíba	27	$H = 0,6163 \times A_d^{0,1895}$	0,72	$B = 1,7142 \times A_d^{0,4088}$	0,85
Regiões Hidrologicamente Homogêneas – Conveniência Geográfica					
	Nº de estações	Profundidade	r²	Largura	r²
RHH 1	13	$H = 0,4556 \times A_d^{0,2293}$	0,74	$B = 1,8526 \times A_d^{0,4014}$	0,88
RHH 2	14	$H = 0,5429 \times A_d^{0,1933}$	0,85	$B = 1,6776 \times A_d^{0,4107}$	0,85

A RHH 1, localizada no sul da bacia, corresponde à região de cabeceira e é formada por um conjunto de 5 sub-bacias de estações localizadas no próprio rio Parnaíba e 8 sub-bacias de estações localizadas em rios afluentes. Essas sub-bacias possuem áreas de drenagem entre 766 e 140.207 km², profundidades de canal entre 1 e 7 metros, larguras de canal entre 21 e 239 metros e vazões com período de retorno de dois anos entre 5 e 1.154 m³/s.

Já a RHH 2, localizada ao norte da bacia, corresponde à região mais próxima ao desague do rio Parnaíba no oceano Atlântico, sendo formada por um conjunto de três sub-bacias de estações localizadas no próprio rio Parnaíba e 11 sub-bacias de estações localizadas em rios afluentes. Essas sub-bacias possuem áreas de drenagem entre 1.011 e 298.403 km², profundidades de canal entre 1 e 7 metros, larguras de canal entre 33 e 327 metros e vazões com período de retorno de dois anos entre 20 e 2.470 m³/s.

A divisão em RHHs obtida neste trabalho coincide com a divisão da bacia do rio Parnaíba em três grande sub-bacias, conforme o Plano Nacional de Recursos Hídrico (PNRH, 2005). A RHH 1 corresponde a sub-bacia do Alto Parnaíba, a RHH 2 corresponde à região do Médio Parnaíba e a região sem estações fluviométricas, que

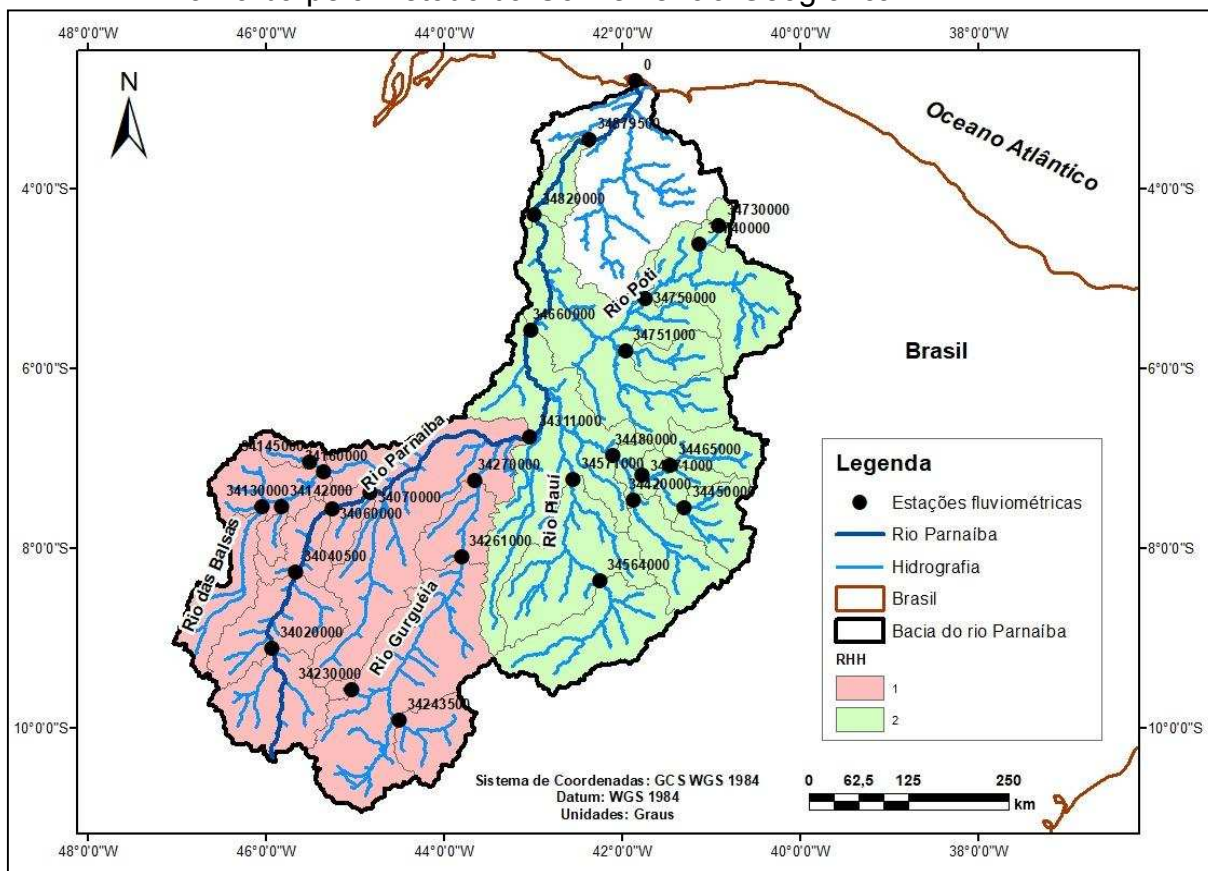
não foi objeto do estudo, corresponde à sub-bacia do Baixo Parnaíba.

Essa divisão da bacia do Parnaíba em uma área de cabeceira e uma área na região média da bacia pode ser explicada pela configuração do relevo e pelos diferentes regimes de precipitação e vazão. A região do Alto Parnaíba (RHH 1) é caracterizada por cabeceiras com vales relativamente estreitos, onde os afluentes descem com forte declividade, se alargando nas proximidades ao desaguar no rio Parnaíba. No seu alto curso, o rio Parnaíba desce com um desnível de 3 m/km, que faz com que ele corra velozmente num leito pedregoso e muito sinuoso, formando encachoeirados ao longo do percurso (Lins e Andrade, 1975).

Já a região do Médio Parnaíba (RHH 2) é caracterizada por uma rede bem tecida de cursos d'água afluentes menores, que drenam intensamente a parte mais genuína do semiárido, sendo uma característica comum a todos os rios da região o caráter de intermitência (MMA 2006b). O leito do rio Parnaíba, que no alto curso é estreito e por vezes estrangulado entre barrancos, faz-se agora, no médio curso, crescentemente largo e tende sempre a aumentar para jusante. As curvas sinuosas comuns em todo o percurso anterior fazem-se mais amplas no médio Parnaíba (Lins e Andrade, 1975).

De acordo com MMA (2006b), existe um regime diferenciado de chuvas na bacia do rio Parnaíba, com um regime de transição entre a região semiárida (Médio Parnaíba) e a região úmida (Alto Parnaíba). Há uma relação direta entre o regime de vazões e o regime de precipitações na bacia, sendo que os maiores valores de vazão são observados no Alto Parnaíba (RHH 1), onde ocorrem as maiores precipitações e o clima é mais úmido (Lins e Andrade, 1975).

Figura 11 - Regiões Hidrológicamente Homogêneas encontradas para a bacia do rio Parnaíba pelo método da Conveniência Geográfica.



Fonte: a autora.

Observa-se pela Tabela 11, que a equação única para largura apresenta r^2 de 0,85, enquanto a equação única para profundidade obteve um ajuste pior, com r^2 de 0,72. O desmembramento das equações para as RHHs, no entanto, proporcionou melhoria nos coeficientes ajustados das equações de profundidade em ambas as regiões homogêneas, sendo mais expressiva para RHH 2, e uma melhoria no coeficiente ajustados da equação de largura na RHH 1.

A Tabela 12 apresenta os índices estatísticos calculados para os resultados de largura e profundidade obtidos pela aplicação das EGs geradas para a bacia do rio Parnaíba e, também, para os dados globais GRWD e GRWL em comparação aos valores observados nos locais das estações fluviométricas.

As EGs obtidas para as RHHs possibilitaram a melhor concordância das estimativas de largura e profundidade com os dados observados nos locais das estações fluviométricas quando comparadas aos dados globais. Houve principalmente um aumento dos valores dos índices de concordância NSE e NSE_{log} e uma notada redução dos índices de erro. A melhora foi ainda mais expressiva para os dados de

profundidade, que apresentaram valores negativos de NSE e NSE_{\log} para os dados globais GRWD, indicando que a média dos dados observados seria um melhor preditor que esse modelo.

As EGs obtidas para toda bacia também apresentaram bons resultados quando comparadas aos dados globais, porém a EG para profundidade apresentou piores índices de concordância e maiores erros quando comparada às equações obtidas para as RHHs.

Observa-se que os dados GRWL também apresentaram melhor concordância com os dados observados que os dados GRWD na bacia do rio Parnaíba. Assim como para a bacia do rio Doce, os rios dessa bacia são mais encaixados, o que torna mais precisa a extração de largura de rios através de imagem de satélite em sua condição de vazão média. Além disso, foram utilizadas nessa análise apenas seções transversais que possuíssem largura maior que 30 m, em decorrência da limitação dos dados GRWL, o que representa apenas 52% das estações analisadas na bacia.

Tabela 12 - Índices estatísticos da comparação entre os dados de largura e profundidade obtidos por diferentes conjuntos de equações geomorfológicas e os dados observados em estações fluviométricas da bacia do rio Parnaíba

LARGURA					
	REQM	EAM	VM	NSE	NSE_{\log}
GRWD	41,97	33,97	15,21	0,70	0,44
GRWL	35,18	27,82	-25,88	0,85	0,39
EG para bacia	29,57	23,76	-2,57	0,85	0,60
EG para RHHs	29,56	23,76	-2,51	0,85	0,60
PROFUNDIDADE					
	REQM	EAM	VM	NSE	NSE_{\log}
GRWD	1,85	1,57	-1,57	-0,47	-1,21
EG para bacia	0,81	0,67	0,02	0,72	0,72
EG para RHHs	0,69	0,51	0,02	0,80	0,79

Bacia do rio Paraguai

A Tabela 13 apresenta os resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Paraguai, utilizando-se os dados de 34 estações fluviométricas, nove combinações de características aglomerativas e número de clusters variando de dois a cinco. Observa-se que, na grande maioria das combinações, ocorreu a formação de RHHs compostas por, no máximo, três estações, tornando inviável a

obtenção das equações geomorfológicas via análise de regressão.

Já nos demais casos, as divisões que foram possíveis pioraram muito os coeficientes de determinação (r^2) das equações de regressão de algumas regiões, quando comparadas com as equações para toda a bacia, apesar de aumentar os valores de REQM e NSE. Além disso, todas as divisões não apresentaram continuidade geográfica, sendo formadas por estações distantes umas das outras ou que não estavam localizadas na mesma área de drenagem. Os mapas com todos os resultados encontrados para bacia do rio Paraguai pelo método de análise de cluster K-means são apresentados no Apêndice C.

Nota-se que foi possível com a análise K-means a formação de duas regiões homogêneas com as Combinações 1, 8 e 9 e de até cinco regiões homogêneas com a Combinação 7. Já com as Combinações 2, 3, 4, 5 e 6 não foi possível a formação de nenhuma região homogênea. Portanto, assim como para as bacias dos rios Doce e Parnaíba, as combinações com melhores resultados foram aquelas que usaram como características aglomerativas as dimensões dos canais e as coordenadas geográficas da estação fluviométricas, sendo a área de drenagem e a vazão com período de retorno de dois anos características menos representativas da distribuição dos valores de largura e profundidade dos canais nessa bacia.

A Combinação 7, que utilizou apenas latitude e longitude como características aglomerativas, foi a que obteve melhores resultados na bacia do rio Paraguai. Houve pequenos aumentos dos valores de NSE e diminuição do REQM com a utilização dessa divisão, porém os coeficientes ajustados para a maioria das regiões foram piores em comparação à equação para toda a bacia. Além disso, as regiões formadas por essa divisão não apresentaram continuidade hidrológica e geográfica dentro da bacia, sendo formadas por sub-bacias relativamente distantes entre si e que não estavam localizadas na mesma área de drenagem. Dessa forma, a aplicação do método de análise de cluster K-means também não apresentou resultados satisfatórios na identificação de regiões homogêneas para a bacia do rio Paraguai.

Tabela 13 - Resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Paraguai

Combinação	Características	Nº de clusters	Hm					B				
			a	b	r ²	REQM	NSE	a'	b'	r ²	REQM	NSE
Equação única	-	1	0,66	0,21	0,76	0,92	0,76	6,26	0,30	0,81	28,34	0,81
1	H _m , B	2	1,87	0,08	0,19	0,75	0,84	9,07	0,25	0,51	27,01	0,83
			1,30	0,15	0,59			12,91	0,24	0,60		
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Lat, Long, H _m , B	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Lat, Long, H _m , B, Q _{T=2}	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	H _m , B, A _d	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	Lat, Long, H _m , B, A _d	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

6	Lat, Long, H _m , B, A _d , Q _{T=2}	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	Lat, Long	2	0,56	0,22	0,80	0,89	0,77	4,11	0,33	0,89	26,81	0,83
			0,66	0,21	0,62			10,54	0,25	0,53		
		3	0,76	0,19	0,48	0,87	0,79	5,08	0,32	0,52	23,80	0,87
			0,64	0,22	0,43			2,24	0,43	0,70		
		4	0,33	0,27	0,79	0,79	0,82	2,30	0,38	0,88	23,63	0,87
			2,03	0,07	0,20			2,33	0,40	0,84		
			0,64	0,22	0,43			2,24	0,43	0,70		
			0,47	0,25	0,78			7,14	0,28	0,51		
		5	0,23	0,30	0,84	0,76	0,84	2,10	0,39	0,88	24,96	0,85
			0,58	0,23	0,66			6,63	0,29	0,41		
			0,67	0,22	0,66			7,17	0,30	0,61		
			0,17	0,32	0,82			1,95	0,40	0,84		
2,03	0,07		0,20	2,33	0,40			0,84				
8	h _m , b	2	7,86	0,27	0,34	0,86	0,79	7,86	0,27	0,34	27,32	0,82
			1,55	0,12	0,24			0,02	1,10	0,85		
		0,55	0,22	0,79	5,82	0,31	0,81					
		3	X	X	X	X	X	X	X	X		
4	X	X	X	X	X	X	X	X				
5	X	X	X	X	X	X	X	X				

9	$h_m, b, q_{T=2}$	2	1,55	0,12	0,24	0,86	0,79	0,02	1,10	0,85	27,32	0,82
			0,55	0,22	0,79			5,82	0,31	0,81		
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

*A letra "X" indica que o método K-means formou agrupamentos compostos por três ou menos estações fluviométricas. **a, b, a' e b' são parâmetros da regressão exponencial.

Fonte: A autora.

O método da Conveniência Geográfica, da mesma forma, não permitiu a divisão da bacia do rio Paraguai em regiões hidrologicamente homogêneas. Todas as combinações possíveis das estações não resultaram em aprimoramento das EGs em relação às equações para toda bacia. Isso ocorreu, provavelmente, devido à escassez de perfis transversais suficientes para caracterizar a heterogeneidade dos padrões de drenagem na bacia.

A bacia do Paraguai é amplamente influenciada por uma das maiores áreas úmidas do mundo, o Pantanal, um complexo sistema de várzea caracterizado por encostas muito suaves que podem ser inferiores a $1,5 \text{ cm km}^{-1}$ (Paz et al., 2011; Bravo et al., 2011). Grande parte da água armazenada nas planícies de inundação no período das cheias não retorna aos canais durante o período de estiagem e fica disponível para evaporação e infiltração (Paz et al., 2014).

De acordo com Assine e Soares (2004), o Paraguai e seus afluentes não são facilmente classificados usando os atuais modelos fluviais, principalmente porque o padrão de drenagem se torna frequentemente distribuído na entrada do Pantanal. Grandes áreas na margem direita do rio Paraguai possuem redes de drenagem mal definidas, o que torna essa bacia uma das regiões mais desafiadoras para modelagem hidrológica na América do Sul (Latrubesse, 2015).

Dessa forma, como tentativa de aperfeiçoamento das estimativas da largura e profundidade dos canais nessa bacia, foi utilizada uma equação individualizada para o rio principal.

A Tabela 14 apresenta as equações geomorfológicas obtidas para toda a bacia do rio Paraguai, utilizando-se as 34 estações analisadas, e para o rio principal com base em sete estações localizadas neste rio. Observa-se que a equação única para largura apresenta melhor ajuste, com r^2 de 0,81, enquanto a equação única para profundidade obteve um r^2 de 0,76. A individualização das equações para o rio principal proporcionou uma melhoria nos coeficientes ajustados tanto da equação de largura como de profundidade, sendo mais expressiva nesta última.

Tabela 14 - Equações geomorfológicas para a bacia do rio Paraguai

Equação única					
	Nº de estações	Profundidade	r²	Largura	r²
Bacia do rio Paraguai	34	$H = 0,6577 \times A_d^{0,2089}$	0,76	$B = 6,2597 \times A_d^{0,2999}$	0,81
Rio principal					
	Nº de estações	Profundidade	r²	Largura	r²
Rio Paraguai	7	$H = 0,4411 \times A_d^{0,2455}$	0,96	$B = 6,0281 \times A_d^{0,3044}$	0,87

A Tabela 15 apresenta os índices estatísticos calculados para os resultados de largura e profundidade obtidos pela aplicação das EGs geradas para a bacia do rio Paraguai e, também, para os dados globais GRWD e GRWL em comparação aos valores observados nos locais das estações fluviométricas.

A definição de EGs específicas para a bacia do rio Paraguai, tanto para o rio principal como para toda a bacia, possibilitou uma melhora na representação da geomorfologia dos canais quando comparado aos dados globais GRWD e GRWL. As estimativas de largura e profundidade definidas por essas equações retornaram índices estatísticos muito melhores, havendo aumento significativo dos valores de r^2 , NSE e NSE_{\log} e diminuição dos erros. A melhora foi ainda mais expressiva para os dados de profundidade, que apresentaram valores negativos de NSE e NSE_{\log} para os dados globais GRWD, indicando que a média dos dados observados seria um melhor preditor que esse modelo.

A tentativa de refinamento das equações pelo uso de uma equação individualizada para o rio principal, no entanto, não alterou expressivamente as estatísticas quando comparadas as equações únicas para toda bacia, para ambos os dados de largura e profundidade, proporcionando resultados similares de representação da geomorfologia.

Observa-se que os dados GRWL apresentaram melhor concordância na bacia do rio Paraguai que os dados GRWD, porém ainda apresentaram valores piores de todos os índices estatísticos quando comparados aos dados simulados pelas EGs. Essa deficiência pode ocorrer porque, apesar de mais de 91% dos perfis analisados possuírem larguras maiores que 30 m, a grande maioria dos rios dessa bacia possui drenagem mal definida, que é difícil de ser detectada pelos filtros utilizados para extração de larguras de canais via imagens Landsat.

Tabela 15 - Índices estatísticos da comparação entre os dados de largura e profundidade obtidos por diferentes conjuntos de equações geomorfológicas e os dados observados nas estações fluviométricas da bacia do rio Paraguai

LARGURA					
	REQM	EAM	VM	NSE	NSE_{log}
GRWD	78,06	55,77	36,93	-0,44	0,04
GRWL	38,81	26,37	-7,61	0,64	0,53
EG para bacia	28,34	21,55	-0,04	0,81	0,78
EG para o rio principal	28,29	21,79	0,48	0,81	0,78
PROFUNDIDADE					
	REQM	EAM	VM	NSE	NSE_{log}
GRWD	2,38	2,03	-2,03	-0,61	-3,96
EG para bacia	0,92	0,77	-0,02	0,76	0,67
EG para o rio principal	0,90	0,75	0,01	0,77	0,67

Bacia do rio Uruguai

A Tabela 16 apresenta os resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Uruguai, utilizando-se os dados de 56 estações fluviométricas, nove combinações de características aglomerativas e número de clusters variando de dois a cinco. Observa-se que, do mesmo modo que para as bacias dos rios Doce, Parnaíba e Paraguai, na grande maioria das combinações ocorreu a formação de RHHs compostas por, no máximo, três estações, tornando inviável a obtenção das equações geomorfológicas via análise de regressão.

Já nos demais casos, as divisões que foram possíveis pioraram muito os coeficientes de determinação (r^2) das equações de regressão de algumas regiões, quando comparadas com as equações para toda a bacia, apesar de aumentar os valores de NSE e diminuir os de REQM. Além disso, todas as divisões não apresentaram continuidade geográfica, sendo formadas por estações distantes umas das outras ou que não estavam localizadas na mesma área de drenagem. Os mapas com todos os resultados encontrados para bacia do rio Uruguai pelo método de análise de cluster K-means são apresentados no Apêndice C.

Nota-se que foi possível com a análise K-means a formação de duas regiões homogêneas com as Combinações 1 e 4, de até três regiões homogêneas com as Combinações 5, 6 e 9 e de até quatro regiões homogêneas com as Combinações 2, 3, 7 e 8, sendo que as Combinações 2, 3, 4, 5 e 6 resultaram na mesma divisão da bacia do rio Parnaíba. Na estimativa tanto de largura quanto de profundidade com

essas divisões, apesar de ocorrer aumento do NSE e diminuição do REQM, as equações apresentaram coeficiente ajustados piores para uma das regiões, tanto para a largura quanto para a profundidade. Além disso, as regiões formadas por essas divisões não apresentaram continuidade geográfica na bacia. Ressalva-se, ainda, que para esta bacia as combinações com melhores resultados também foram aquelas que utilizaram como características as coordenadas geográficas das estações fluviométricas.

A Combinação 7 com dois clusters, que utilizou apenas latitude e longitude como características aglomerativas, foi a que obteve melhores resultados na bacia do rio Uruguai. Houve diminuição do REQM, aumento dos valores de NSE e aumento dos coeficientes ajustados das equações de profundidade com a utilização dessas divisões. As equações de largura não apresentaram coeficientes ajustados melhores em comparação à equação para toda a bacia, embora esses coeficientes permaneceram altos. Analisando-se, no entanto, a distribuição geográfica das regiões formadas, observa-se que elas não apresentaram continuidade hidrológica e geográfica dentro da bacia, sendo formadas por sub-bacias que não estavam localizadas na mesma área de drenagem. Dessa forma, a aplicação do método de análise de cluster K-means não apresentou resultados satisfatórios na identificação de regiões homogêneas para a bacia do rio Uruguai.

Tabela 16 - Resultados do método de análise de cluster K-means para a bacia do rio Uruguai

Combinação	Características	Nº de clusters	Hm					B					
			a	b	r ²	REQM	NSE	a'	b'	r ²	REQM	NSE	
Equação única	-	1	1,42	0,19	0,48	2,66	0,48	3,45	0,47	0,82	99,30	0,82	
1	Hm, B	2	2,10	0,14	0,22	2,55	0,52	7,08	0,39	0,68	82,86	0,87	
			50,54	-0,11	0,01			0,00	1,22	0,62			
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2	Lat, Long, Hm, B	2	0,80	0,29	0,60	2,41	0,57	12,06	0,31	0,43	98,22	0,82	
			0,57	0,27	0,55			3,35	0,47	0,76			
		3		0,86	0,28	0,65	2,17	0,65	11,85	0,31	0,50	81,34	0,88
				1,43	0,16	0,27			10,72	0,35	0,67		
			50,54	-0,11	0,01				0,00	1,22	0,62		
		4		1,67	0,14	0,22	2,15	0,66	12,29	0,34	0,68	80,38	0,88
				0,89	0,26	0,41			18,03	0,26	0,23		
	50,54		-0,11	0,01	0,00	1,22			0,62				
	2,35	0,17	0,58				3,77	0,44	0,73				
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

3	Lat, Long, H _m , B, Q _{T=2}	2	2,10	0,14	0,22	2,55	0,52	7,08	0,39	0,68	82,86	0,87
			50,54	-0,11	0,01			0,00	1,22	0,62		
		3	0,86	0,28	0,65	2,17	0,65	11,85	0,31	0,50	81,34	0,88
			1,43	0,16	0,27			10,72	0,35	0,67		
			50,54	-0,11	0,01			0,00	1,22	0,62		
4	1,67	0,14	0,22	2,15	0,66	12,29	0,34	0,68	80,38	0,88		
	0,89	0,26	0,41			18,03	0,26	0,23				
	50,54	-0,11	0,01			0,00	1,22	0,62				
		2,35	0,17	0,58			3,77	0,44	0,73			
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
4	H _m , B, A _d	2	2,10	0,14	0,22	2,55	0,52	7,08	0,39	0,68	82,86	0,87
			50,54	-0,11	0,01			0,00	1,22	0,62		
		3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	Lat, Long, H _m , B, A _d	2	2,10	0,14	0,22	2,55	0,52	7,08	0,39	0,68	82,86	0,87
			50,54	-0,11	0,01			0,00	1,22	0,62		
		3	0,86	0,28	0,65	2,17	0,65	11,85	0,31	0,50	81,34	0,88
			1,43	0,16	0,27			10,72	0,35	0,67		
			50,54	-0,11	0,01			0,00	1,22	0,62		
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
6	Lat, Long, H _m , B, A _d , Q _{T=2}	2	2,10	0,14	0,22	2,55	0,52	7,08	0,39	0,68	82,86	0,87
			50,54	-0,11	0,01			0,00	1,22	0,62		
		3	0,86	0,28	0,65	2,17	0,65	11,85	0,31	0,50	81,34	0,88
			1,43	0,16	0,27			10,72	0,35	0,67		
			50,54	-0,11	0,01			0,00	1,22	0,62		
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

7	Lat, Long	2	0,69	0,26	0,53	2,49	0,54	2,97	0,48	0,77	98,72	0,82
			1,64	0,19	0,57			2,81	0,50	0,88		
		3	1,72	0,17	0,59	2,36	0,59	4,35	0,46	0,92	97,02	0,83
			0,59	0,27	0,54			2,62	0,49	0,77		
		4	1,22	0,24	0,65	1,86	0,74	5,84	0,39	0,70	58,33	0,94
			0,53	0,30	0,76			13,39	0,33	0,86		
			1,84	0,13	0,46			0,80	0,62	0,95		
			1,22	0,24	0,65			5,84	0,39	0,70		
		5	1,75	0,17	0,66	1,80	0,76	4,23	0,47	0,93	58,06	0,94
			0,20	0,48	0,72			4,36	0,44	0,47		
			1,70	0,17	0,76			4,63	0,46	0,95		
			0,52	0,30	0,76			14,62	0,32	0,86		
			1,84	0,13	0,46			0,80	0,62	0,95		
		2,37	0,16	0,60	3,72	0,44	0,73					
		8	hm, b	2	0,81	0,29	0,68	2,35	0,59	12,34	0,31	0,47
0,57	0,27				0,56	2,99	0,48			0,78		
3	0,53			0,28	0,52	2,37	0,58	2,18	0,51	0,76	95,48	0,83
	0,13			0,53	0,42			6,36	0,48	0,68		
4	2,11			0,16	0,50	2,36	0,59	2,20	0,52	0,92	95,31	0,83
	0,13			0,53	0,42			6,36	0,48	0,68		
	2,22			0,16	0,44			2,00	0,53	0,91		
	0,53			0,28	0,52			2,18	0,51	0,76		
5	0,62			0,35	0,30	1,76	0,77	0,07	1,05	0,70	75,23	0,89
	0,11			0,57	0,15			0,64	0,88	0,83		
	0,95			0,27	0,20			0,28	0,85	0,65		
	2,19			0,18	0,52			4,04	0,43	0,67		
	1,75			0,14	0,42			1,28	0,57	0,89		
0,37	0,34			0,82	12,04	0,34	0,79					

9	$h_m, b, q_{T=2}$	2	0,68	0,31	0,65	2,40	0,58	16,32	0,27	0,39	97,01	0,83
			0,59	0,27	0,51			2,16	0,51	0,77		
		3	0,16	0,50	0,32	2,40	0,57	10,20	0,40	0,40	94,60	0,83
			0,55	0,28	0,50			1,79	0,53	0,76		
		4	2,06	0,16	0,51	X	X	2,17	0,52	0,92	X	X
			X	X	X			X	X	X		
		5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

*A letra "X" indica que o método K-means formou agrupamentos compostos por três ou menos estações fluviométricas.

**a, b, a' e b' são parâmetros da regressão exponencial.

Fonte: A autora.

O método da Conveniência Geográfica, no entanto, permitiu a divisão da bacia do rio Uruguai em três regiões hidrologicamente homogêneas (Figura 12), de maneira que as EGs fossem aprimoradas em relação às equações para toda bacia, como pode ser observado na Tabela 17, onde são apresentadas as EGs obtidas para as regiões homogêneas definidas pelo método da Conveniência Geográfica e para toda a bacia do rio Uruguai utilizando-se as 56 estações analisadas.

Tabela 17 - Equações geomorfológicas obtidas para a bacia do rio Uruguai

Equações Geomorfológicas					
Equação única					
	Nº de estações	Profundidade	r²	Largura	r²
Bacia do rio Uruguai	56	$H = 1,4228 \times A_d^{0,1931}$	0,48	$B = 3,4528 \times A_d^{0,47}$	0,82
Regiões Hidrologicamente Homogêneas – Conveniência Geográfica					
	Nº de estações	Profundidade	r²	Largura	r²
RHH 1	23	$H = 1,8184 \times A_d^{0,1794}$	0,56	$B = 1,9179 \times A_d^{0,5351}$	0,93
RHH 2	20	$H = 0,5334 \times A_d^{0,3152}$	0,85	$B = 15,3043 \times A_d^{0,3011}$	0,85
RHH 3	13	$H = 1,3827 \times A_d^{0,1653}$	0,50	$B = 1,3955 \times A_d^{0,5615}$	0,89

A RHH 1, localizada no norte da bacia, corresponde à região de cabeceira e é formada por um conjunto de uma sub-bacia de uma estação localizada no próprio rio Uruguai e 22 sub-bacias de estações localizadas em rios afluentes. Essas sub-bacias possuem áreas de drenagem entre 270 e 61.914 km², profundidades de canal entre 25 e 12 metros, larguras de canal entre 45 e 725 metros e vazões com período de retorno de dois anos entre 107 e 14.605 m³/s.

Já a RHH 2, localizada na parte central bacia, é formada por um conjunto de duas sub-bacias de estações localizadas no próprio rio Uruguai e 18 sub-bacias de estações localizadas em rios afluentes. Essas sub-bacias possuem áreas de drenagem entre 300 e 115.973 km², profundidades de canal entre 2 e 23 metros, larguras de canal entre 50 e 570 metros e vazões com período de retorno de dois anos entre 200 e 21.647 m³/s.

Por fim, a RHH 3, localizada no sul da bacia, corresponde à região mais próxima ao desague do rio Uruguai no rio Prata, sendo formada por um conjunto de duas sub-bacias de estações localizadas no próprio rio Uruguai e 11 sub-bacias de estações localizadas em rios afluentes. Essas sub-bacias possuem áreas de drenagem entre 380 e 190.260 km², profundidades de canal entre 1 e 12,5 metros, larguras de canal

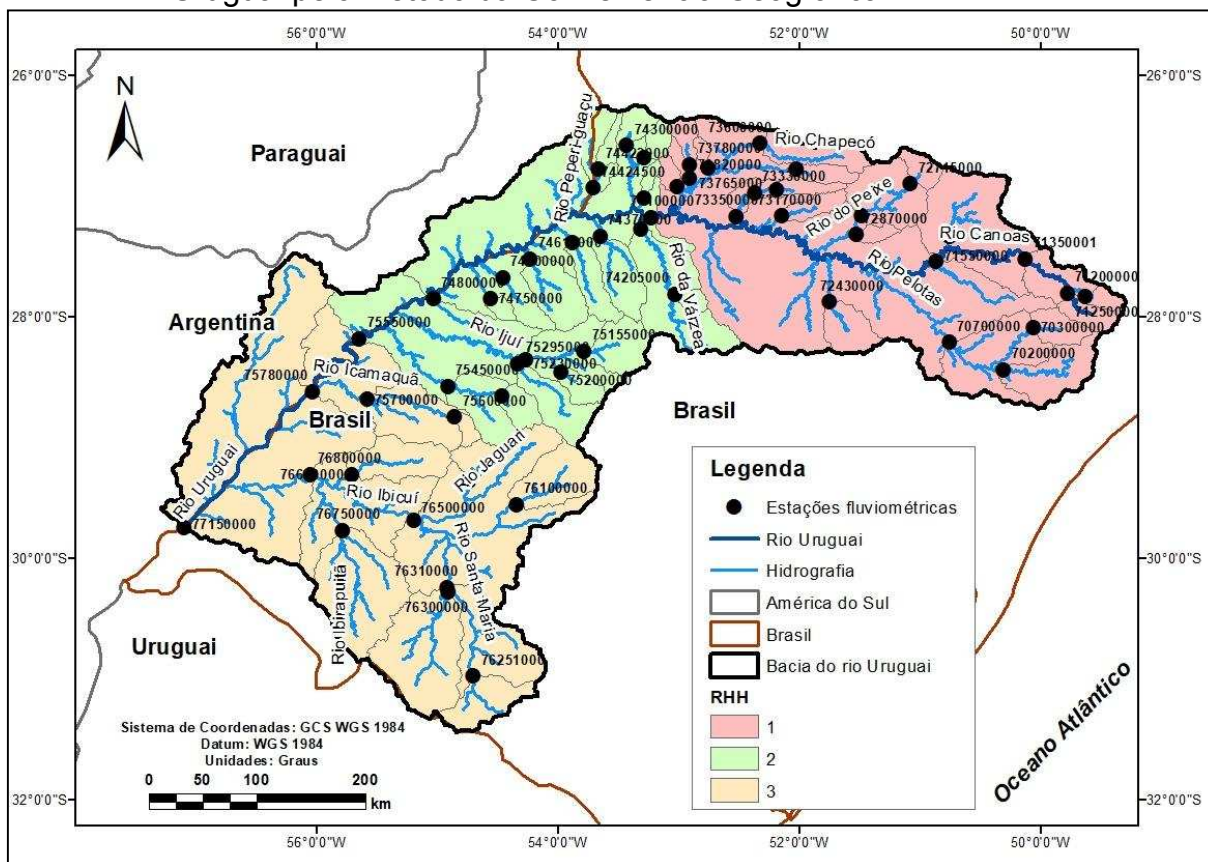
entre 103 e 1.495 metros e vazões com período de retorno de dois anos entre 300 e 18.300 m³/s.

Assim como para a bacia do Parnaíba, a divisão em RHHs obtida neste trabalho para a bacia do rio Uruguai se aproxima da divisão definida pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, 2005). A RHH 1 corresponde à sub-bacia do Alto Uruguai, a RHH 2 corresponde à sub-bacia do Médio Uruguai e a RHH 3 corresponde às sub-bacias do Ibicuí e do Negro.

Essa divisão da bacia do rio Uruguai em três RHHs pode ser explicada pela configuração do relevo e pelos diferentes regimes de precipitação e vazão que ocorrem nas três regiões. A sub-bacia do Alto Uruguai (RHH 1) apresenta relevos do tipo ondulado, caracterizados por conjunto de colinas com declives moderados, seguido de relevo forte ondulado. A sub-bacia do Médio Uruguai é caracterizada por ser uma região de transição entre o planalto e a campanha, apresentando tipo de relevo majoritariamente suave ondulado e plano. Já as sub-bacias do Ibicuí e do Rio Negro (RHH 3) apresentam majoritariamente relevo do tipo suave ondulado e plano. Dessa forma, no trecho alto da bacia ocorrem rios de corredeiras, curtos, com baixo tempo de concentração, e à medida que o rio Uruguai se dirige para seu trecho médio, os rios tornam-se mais extensos e menos declivosos (MMA, 2006a).

Os maiores valores de precipitação encontram-se também no trecho alto da bacia, na RHH 1, sendo que os índices pluviométricos diminuem no sentido de norte a sul da bacia, com menores valores ocorrendo na RHH 3 (MMA, 2006a). O regime de vazões acompanha o regime de chuvas e, portanto, a variação espacial da vazão entre as sub-bacias também segue a mesma distribuição da precipitação, com valores maiores na RHH 1, decrescendo no sentido das RHHs 2 e 3 (MMA, 2006a).

Figura 12 - Regiões Hidrológicamente Homogêneas encontradas para a bacia do rio Uruguai pelo método da Conveniência Geográfica.



Fonte: a autora.

Observa-se pela Tabela 17 que a equação única para largura apresenta valor de r^2 de 0,82, enquanto a equação para profundidade obteve um ajuste pior, com r^2 de 0,48. Já a individualização das equações para as RHHs proporcionou melhora nos coeficientes ajustados das equações de largura e profundidade para todas as três RHHs.

Esse pior ajuste da equação única para profundidade decorre do comportamento muito diverso dessa dimensão nas seções transversais na bacia, difícil de ser caracterizado por uma única equação. Nas regiões mais altas os rios tendem a ser mais profundos, devido às maiores declividades e menores áreas de extravasamento do leito. Da mesma forma, nas regiões mais baixas, os rios tendem a ser menos profundos, devido às menores declividades e grandes planícies de inundação. Por sua vez, a calha do rio Uruguai possui comportamento particular, apresentando primeiramente um aumento de sua profundidade ao passar pela região montanhosa do Alto Uruguai e, posteriormente, redução da profundidade ao atingir regiões com baixas declividades e grandes planícies de inundação (Buffon et al., 2019).

A Tabela 18 apresenta os índices estatísticos calculados para os resultados de largura e profundidade obtidos pela aplicação das EGs geradas para a bacia do rio Uruguai e, também, para os dados globais GRWD e GRWL, em comparação aos valores observados nos locais das estações fluviométricas. Nota-se que o refinamento das equações possibilitou uma melhor representação da geomorfologia dos canais na bacia do rio Uruguai.

As EGs obtidas para as RHHs possibilitaram a melhor concordância das estimativas de largura e profundidade com os dados observados nos locais das estações fluviométricas quando comparadas aos dados globais. Houve aumento dos valores dos índices de concordância NSE e NSE_{log} e redução de todos índices de erro. A melhora foi ainda mais expressiva para os dados de profundidade, que apresentaram valores negativos de NSE e NSE_{log} para os dados globais GRWD, indicando que a média dos dados observados seria um melhor preditor que esse modelo.

As EGs obtidas para toda bacia também apresentaram bons resultados quando comparadas aos dados globais, porém resultaram em piores índices de concordância e maiores erros que as equações obtidas para as RHHs.

Observa-se que os dados GRWL não apresentaram boa concordância na bacia do rio Uruguai, apresentando valores de EAM e VM maiores que os dados GRWD e valor negativo de NSE_{log} , que indica que a média dos dados observados seria um melhor preditor que esse modelo para os menores valores de largura.

Tabela 18 - Índices estatísticos da comparação entre os dados de largura e profundidade obtidos por diferentes conjuntos de equações geomorfológicas e os dados observados nas estações fluviométricas da bacia do rio Uruguai

LARGURA					
	REQM	EAM	VM	NSE	NSE_{log}
GRWD	146,20	83,28	-73,90	0,60	0,25
GRWL	129,22	103,16	-95,41	0,78	-0,43
EG para bacia	99,30	59,55	-8,82	0,82	0,68
EG para RHHs	69,58	47,03	-7,74	0,91	0,69
PROFUNDIDADE					
	REQM	EAM	VM	NSE	NSE_{log}
GRWD	5,21	4,38	-4,36	-1,01	-4,92
EG para bacia	2,66	1,99	0,01	0,48	0,40
EG para RHHs	1,87	1,52	-0,02	0,74	0,53

Como observado anteriormente, a aplicação do método de análise de cluster K-means não apresentou resultados satisfatórios na identificação de regiões homogêneas para maioria das bacias estudadas. Diferentemente dos dados de vazão e precipitação, a relação entre as características dos canais e a área de drenagem não é sempre explícita ou está diretamente associada à localização espacial, sendo esse um dos motivos pelo qual a análise de cluster, apesar de ser eficiente para definir RHHs para outras variáveis hidrológicas, não apresentar resultados satisfatórios na regionalização de dados geomorfológicos. Segundo Klein (1980), a variação da largura e profundidade do canal a jusante de um determinado ponto nem sempre se comporta como uma simples função da área de drenagem em uma bacia, que possui ampla gama de vazões, o que pode explicar a ineficiência do método K-means.

As variáveis aglomerativas utilizadas na análise de cluster para tentar representar a variabilidade das características hidráulicas dos canais (área de drenagem, vazão máxima com período de retorno de dois anos, latitude e longitude) não foram suficientes para a adequada definição das regiões, o que leva a crer que outras características físicas podem exercer maior influência na configuração espacial da geomorfologia fluvial dessas bacias, como pedologia e geologia, que não foram possíveis de ser inseridas na análise de cluster por não apresentarem valores numéricos contínuos.

Além disso, a ineficiência de ambos os métodos K-means e Conveniência Geográfica na maioria das bacias pode ter sido influenciada pelo número restrito de estações fluviométricas disponíveis para a análise. Em grandes bacias, com variações topográficas e climáticas relevantes, a variabilidade natural pode não ser explicada por um conjunto pequeno de estações, especialmente quando os locais das amostras estão agrupados e provavelmente não são representativos da bacia como um todo (Bieger et al., 2015). Geralmente, as medições também não cobrem uma gama suficientemente ampla de áreas de drenagem para fazer previsões confiáveis, especialmente para áreas de drenagem muito pequenas. De acordo com Mulvihill et al. (2009), essa é uma preocupação, pois os pequenos canais são caracterizados por dimensões hidráulicas particularmente variáveis.

5.2. Modelagem Hidrodinâmica com o MGB SA

Serão apresentados a seguir os resultados de desempenho do modelo MGB SA utilizando os dados globais de largura e profundidade (GRWD) obtidos por Andreadis et al. (2013) e as equações geomorfológicas que obtiveram melhores resultados na representação dos canais para cada uma das bacias analisadas no presente estudo. Portanto, o desempenho da modelagem será analisado utilizando as equações para as Regiões Hidrológicamente Homogêneas obtidas pelo método de Conveniência Geográfica para as bacias dos rios Purus, Parnaíba e Uruguai e utilizando as equações para toda a bacia para os rios Doce e Paraguai.

De acordo com a recomendação de Siqueira et al. (2018a), foram considerados não significativos valores entre os intervalos de -0,05 a +0,05 para as diferenças d_{NSE} , $d_{NSE_{log}}$, d_{KGE} , e valores entre os intervalos de -5% a 5% para as diferenças d_{BIAS} e $d_{\sigma BIAS}$.

5.2.1. Modelagem dos dados de vazão

Bacia do rio Purus

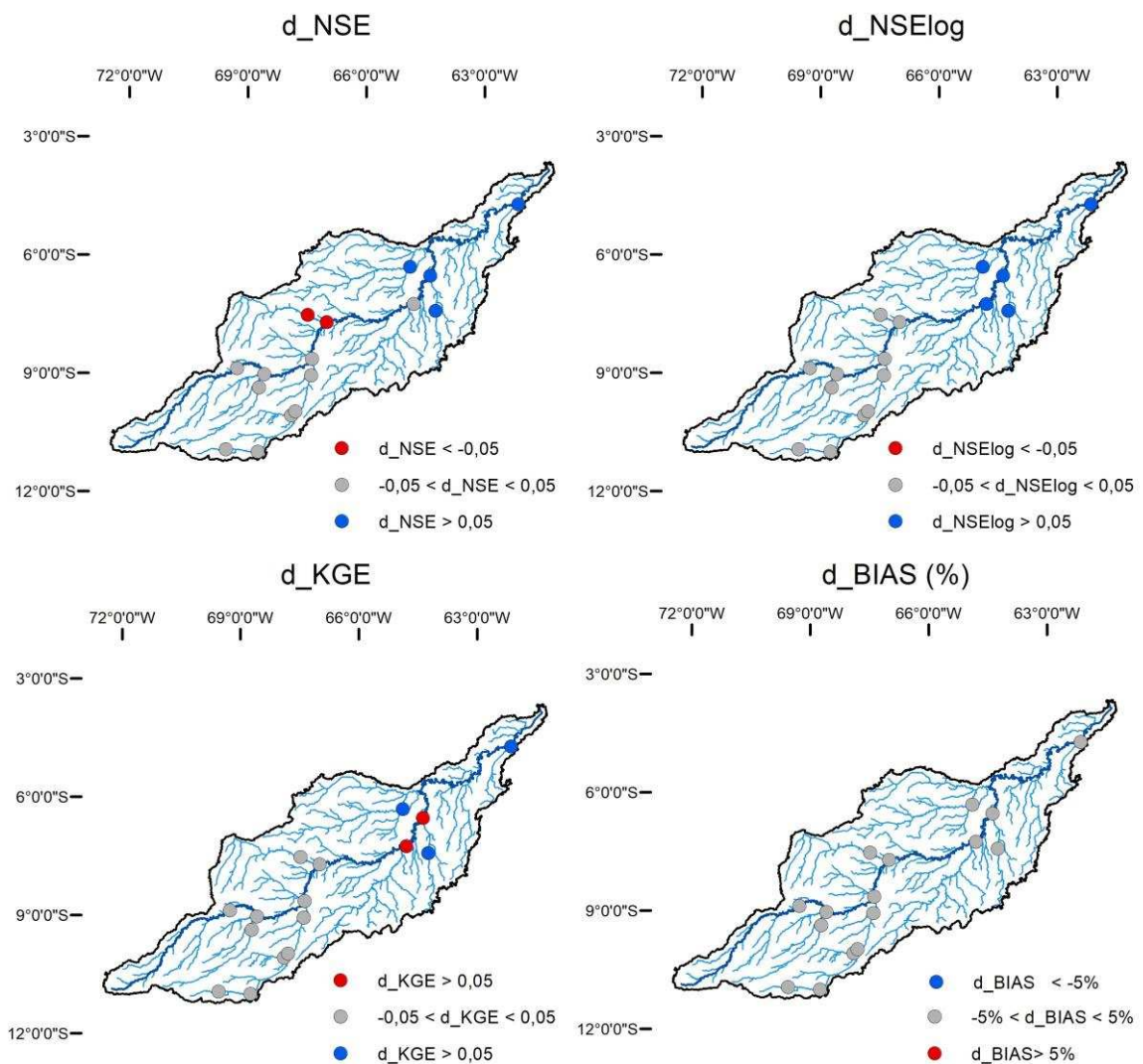
A Figura 13 apresenta a diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs da bacia do rio Purus. Observa-se que, utilizando as EGs para as RHHs, houve melhora das estatísticas de desempenho para alguns locais, principalmente, próximos à foz da bacia, quando comparadas aos dados GRWD.

Os dados simulados nos locais das estações de Arumã-Jusante (13962000), Bacaba (13886000), Cristo (13885000), Canutama (13880000) e Lábrea (13870000) apresentaram melhoria quando comparados com os dados observados nas próprias estações em pelo menos três dos quatro índices estatísticos analisados. Somente para os locais das estações de Seringal Fortaleza (13750000) e Fazenda Borangaba (13740000), ao centro da bacia, houve diminuição no NSE, e para as estações de Canutama e Lábrea houve diminuição do KGE. Nas demais estações não houve mudança significativa das estatísticas analisadas.

Como mencionado anteriormente, diferentes regimes de vazões ocorrem nas regiões de montante e jusante da bacia do Purus. Há um incremento na ordem de grandeza das vazões entre as estações fluviométricas de Lábrea (13870000) e Arumã

Jusante (13962000), onde ocorreram melhorias nos índices de desempenho da modelagem de vazão. Portanto, os dados simulados para os locais das estações próximas ao desague da bacia obtiveram melhor desempenho com o uso de EGs devido à ocorrência de maiores vazões e, conseqüentemente, maior magnitude e frequência de fenômenos de extravasamento do rio para as áreas de inundação. O refinamento dos dados de largura e profundidade afeta a área da planície de inundação, tendo como conseqüência a melhoria dos hidrogramas simulados.

Figura 13 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e utilizando as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Purus.



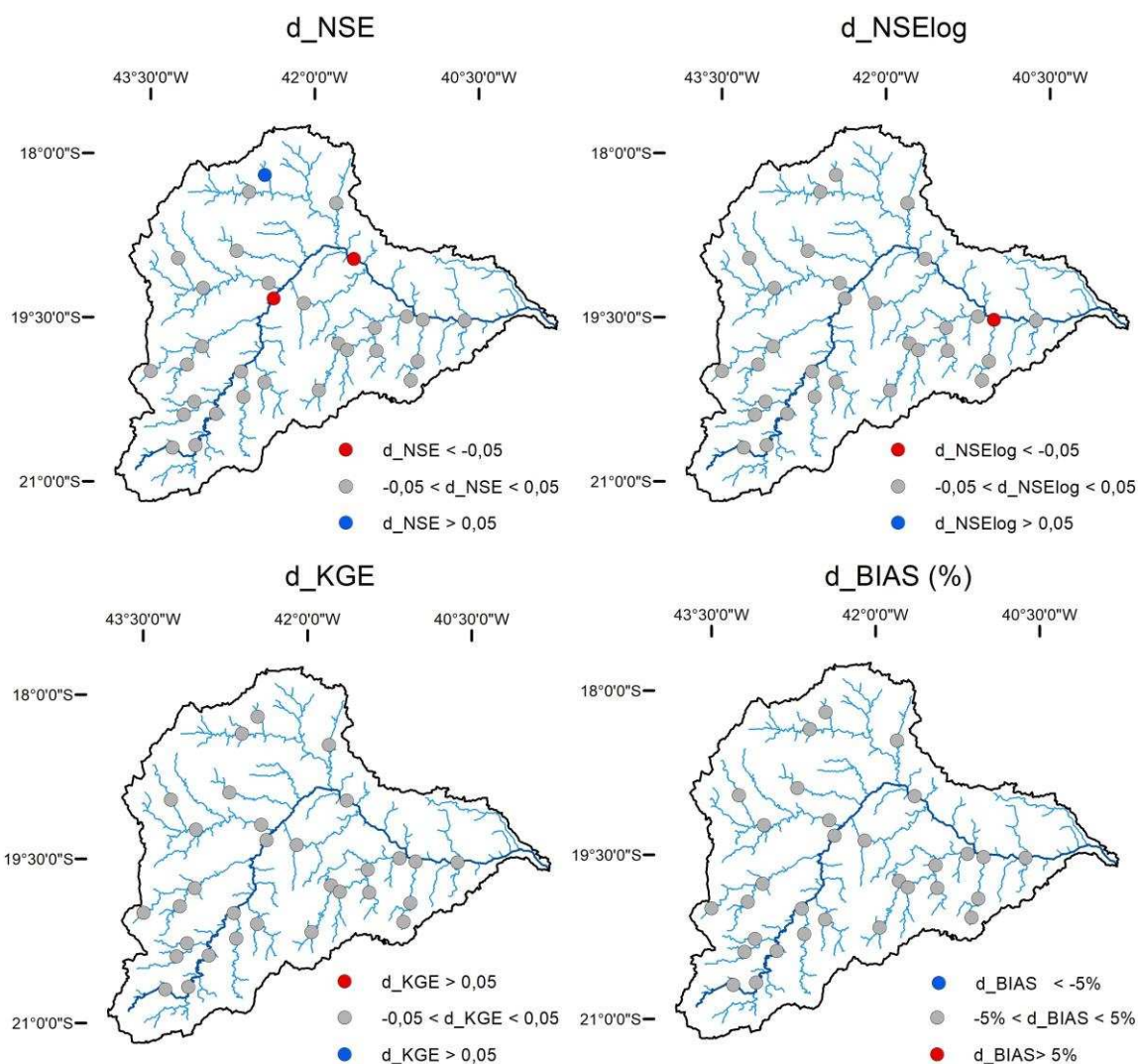
Fonte: A autora.

Bacia do rio Doce

A Figura 14 apresenta a diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e as EGs obtidas para toda a bacia do rio Doce. Observa-se que não houve melhora significativa das estatísticas de desempenho para a quase totalidade das localidades analisadas, quando utilizadas as EGs para toda a bacia. Apenas no local da estação de Santa Maria do Suaçuí (56870000) houve melhora no valor de NSE, porém nos locais das estações de Tumiritinga (56920000) e Belo Oriente (56719998) houve piora nesse mesmo índice. Além disso, no local da estação de Baixo Guandu (56992000) houve piora no valor de NSE_{log} .

Isso demonstra que as equações para toda a bacia não proporcionaram melhoria do desempenho da modelagem de vazão para a bacia do rio Doce em relação aos dados globais GRWD, o que pode ser explicado pelo fato de que o modelo MGB SA tem menor sensibilidade às alterações de largura e profundidade em rios de maior declividade e em regiões montanhosas. Como mencionado anteriormente, a drenagem da bacia do rio Doce é encaixada, apresentando pouco desenvolvimento de planícies. Sendo assim, para essa bacia, a diferença entre as simulações utilizando as EGs e os dados GRWD é pequena frente a outras incertezas do modelo.

Figura 14 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e utilizando as EGs para toda bacia do rio Doce.



Fonte: A autora.

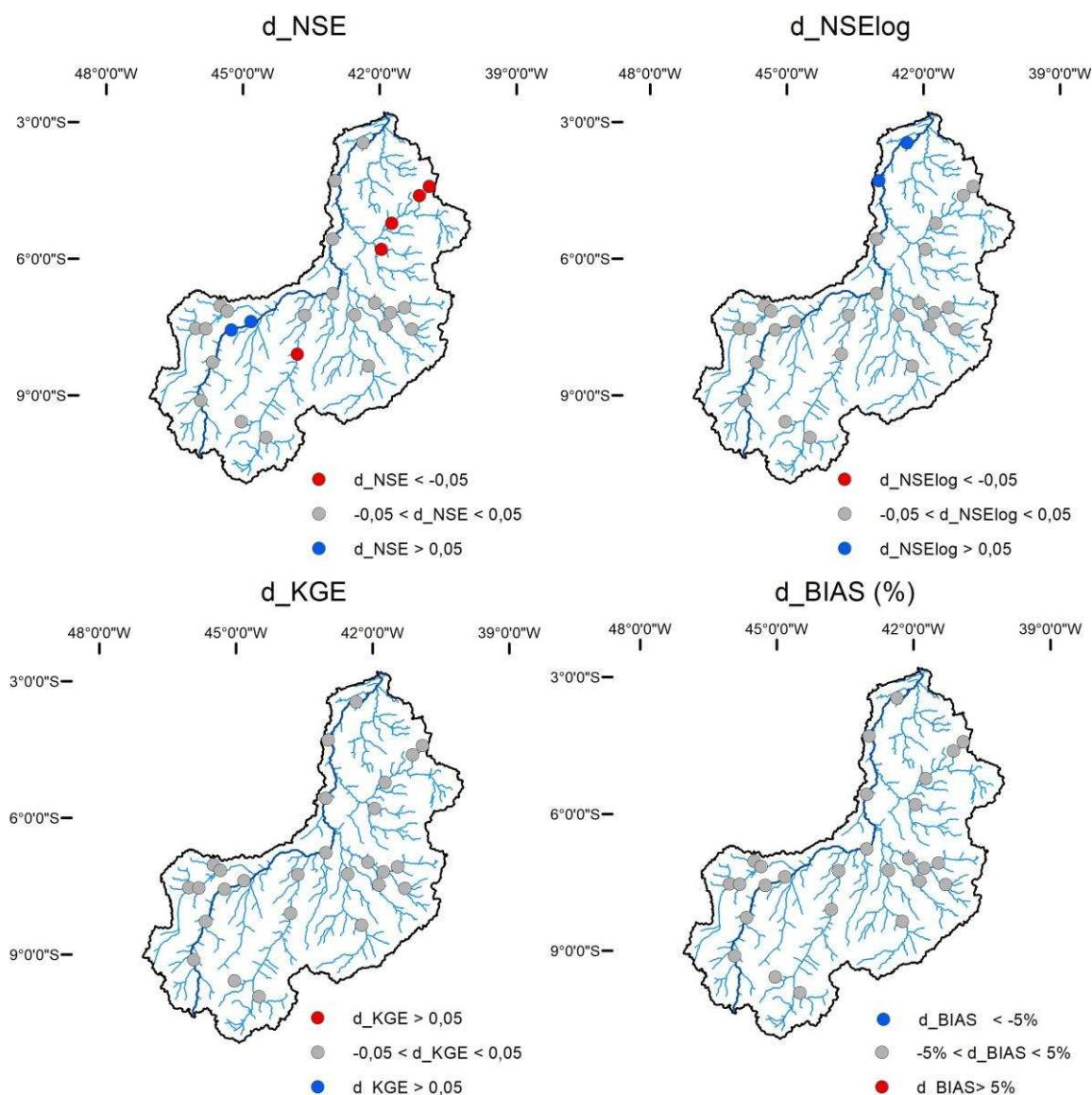
Bacia do rio Parnaíba

A Figura 15 apresenta a diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e as EGs obtidas para as RHHs da bacia do rio Parnaíba. Observa-se que não houve melhoria significativa das estatísticas de desempenho para quase a totalidade das localidades analisadas, quando utilizadas as EGs para as RHHs. Apenas nos locais das estações de Ribeiro Gonçalves (34060000) e Sítio do Velho (34070000), os dados simulados apresentaram melhoria no valor de NSE e nos locais das estações de Luizilândia e Coelho Neto (34820000) melhoria no valor de NSE_{log}. Porém, nos locais das estações de Croatá (34730000), Saudoso (34740000), Fazenda Boa Esperança (34750000),

Ponte BR-324 (34261000) e Santa Cruz dos Milagres (34751000), os dados simulados apresentaram piora no NSE. Não houve, no entanto, alteração dos valores de KGE e BIAS para nenhum dos locais analisados.

Tais resultados demonstram que a representação mais refinada da geomorfologia dos canais obtida pelas equações geradas para as RHHs não proporciona melhora do desempenho da modelagem de vazão também para a bacia do rio Parnaíba em relação aos dados globais GRWD. Do mesmo modo que para a bacia do rio Doce, na bacia do rio Parnaíba isso é explicado pelo fato de que o modelo MGB SA tem menor sensibilidade às alterações de largura e profundidade em rios de maior declividade e que não possuem grandes planícies de inundação. Sendo assim, também para essa bacia, a diferença entre as simulações utilizando as EGs e os dados GRWD é pequena frente a outras incertezas do modelo.

Figura 15 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e utilizando as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Parnaíba.



Fonte: A autora

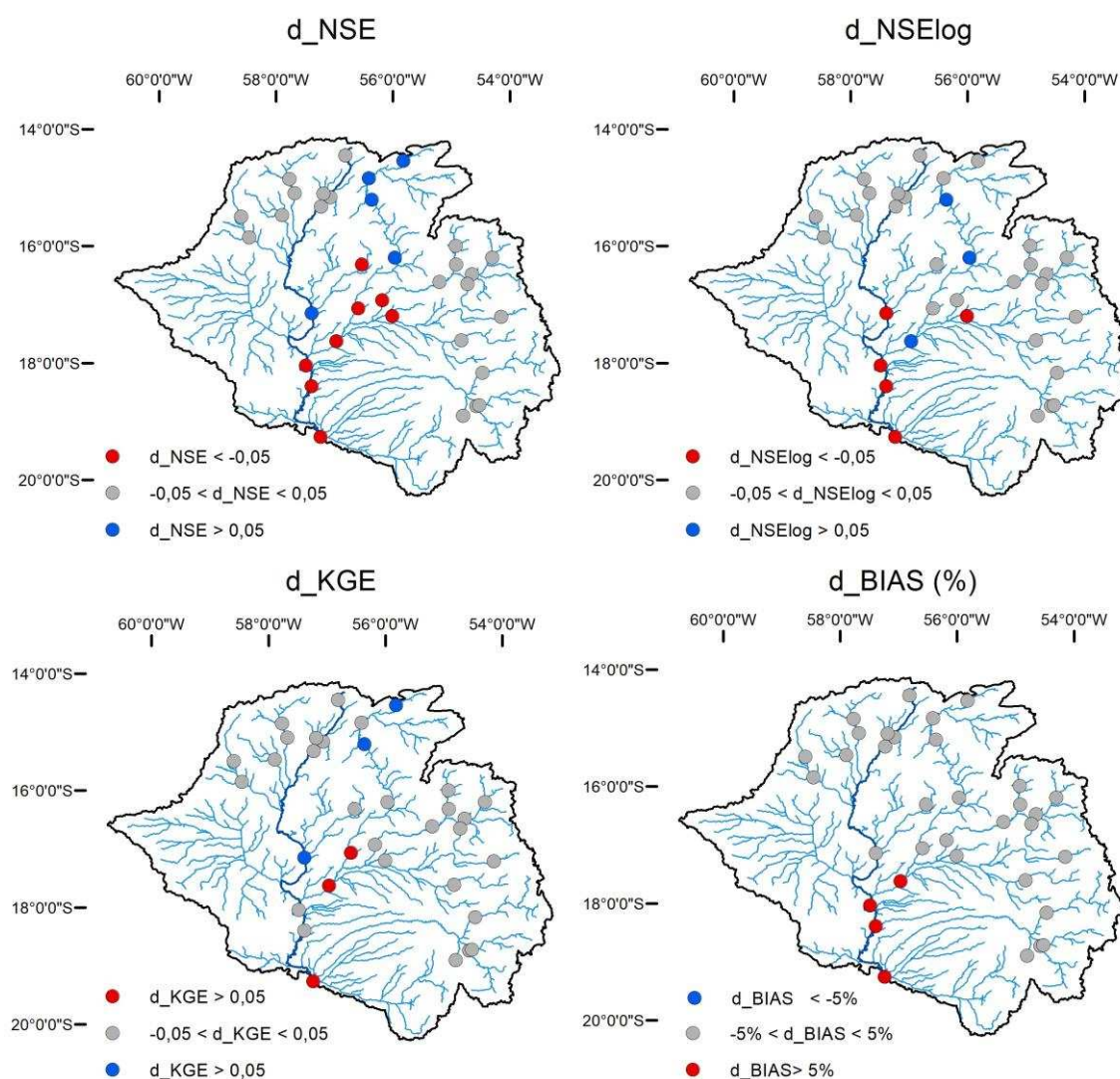
Bacia do rio Paraguai

A Figura 16 apresenta a diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e as EGs obtidas para toda a bacia do rio Paraguai. Observa-se que os valores de NSE aumentaram para os locais das estações Porto Conceição (66120000), Marzagão (66140000), Rosário Oeste (66250001), Acorizal (66255000) e Barão de Melgaço (66280000), porém diminuíram para os dados simulados em locais de outras oito estações. Os valores de NSE_{log} aumentaram para os locais das estações de Acorizal, Barão de Melgaço e Porto do

Alegre, porém diminuíram para os locais de outras cinco estações na bacia. Da mesma forma, o KGE aumentou para os locais das estações de Porto Conceição, Marzagão e Acorizal e diminuiu para os locais das estações de Ilha Camargo (66370000), Porto do Alegre e Porto da Manga (66895000), e o BIAS aumentou para as estações de Porto do Alegre, Amolar, São Francisco e Porto da Manga.

Todas as estações que tiveram piora no desempenho na simulação de vazão estão localizadas na região do Pantanal, onde a hidrodinâmica da bacia é bastante complexa e muito difícil de simular. Nessa região, os volumes extravasados da calha principal do rio para a planície de inundação não retornam totalmente após o pico da cheia (Paz et al., 2006). Assim, ocorrem significativos fluxos secundários na planície de inundação e os volumes extravasados podem retornar a calha do rio em trechos a jusante ou mesmo em outros rios (Paiva, 2009). Sendo assim, também para essa bacia, a diferença entre as simulações utilizando as EGs e os dados GRWD é pequena frente a outras incertezas do modelo para sua aplicação nessa região.

Figura 16 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e utilizando as EGs para toda bacia do rio Paraguai.



Fonte: A autora.

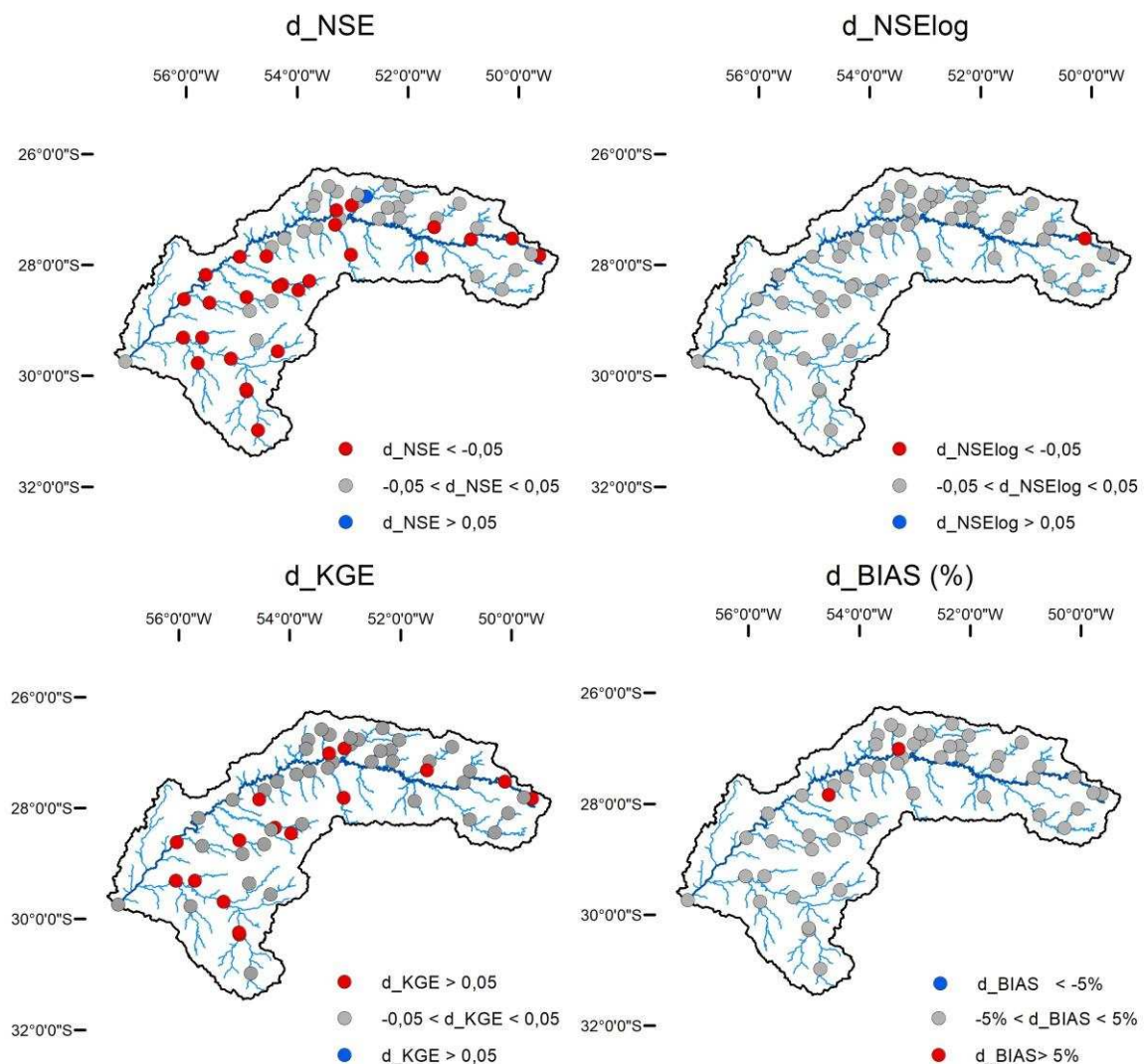
Bacia do rio Uruguai

A Figura 17 apresenta a diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs da bacia do rio Uruguai. Nota-se que, quando comparado aos dados GRWD, não houve melhora significativa das estatísticas de desempenho dos dados simulados para nenhuma das localidades analisadas quando utilizadas as EGs para as RHHs.

Houve redução do NSE nos locais de 27 estações, do NSE_{log} no local de uma estação e do KGE nos locais de 15 estações, além do aumento do BIAS nos locais de duas estações. Isso demonstra que o uso das equações para as RHHs não traz

melhoras significativas na modelagem de vazão, bem como piora os resultados simulados quando comparado aos obtidos com os dados GRWD.

Figura 17 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de vazão utilizando os dados GRWD e utilizando as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Uruguai.



Fonte: a autora.

Hidrogramas simulados

A diferença entre as vazões simuladas utilizando os dados GRWD e as EGs não foi, portanto, significativa nas bacias dos rios Doce, Parnaíba, Paraguai e Uruguai. Nessas bacias, existe uma diferença entre as vazões simuladas com as duas bases de dados geomorfológicos, no entanto, esta diferença é relativamente pequena frente a outras incertezas do modelo MGB SA.

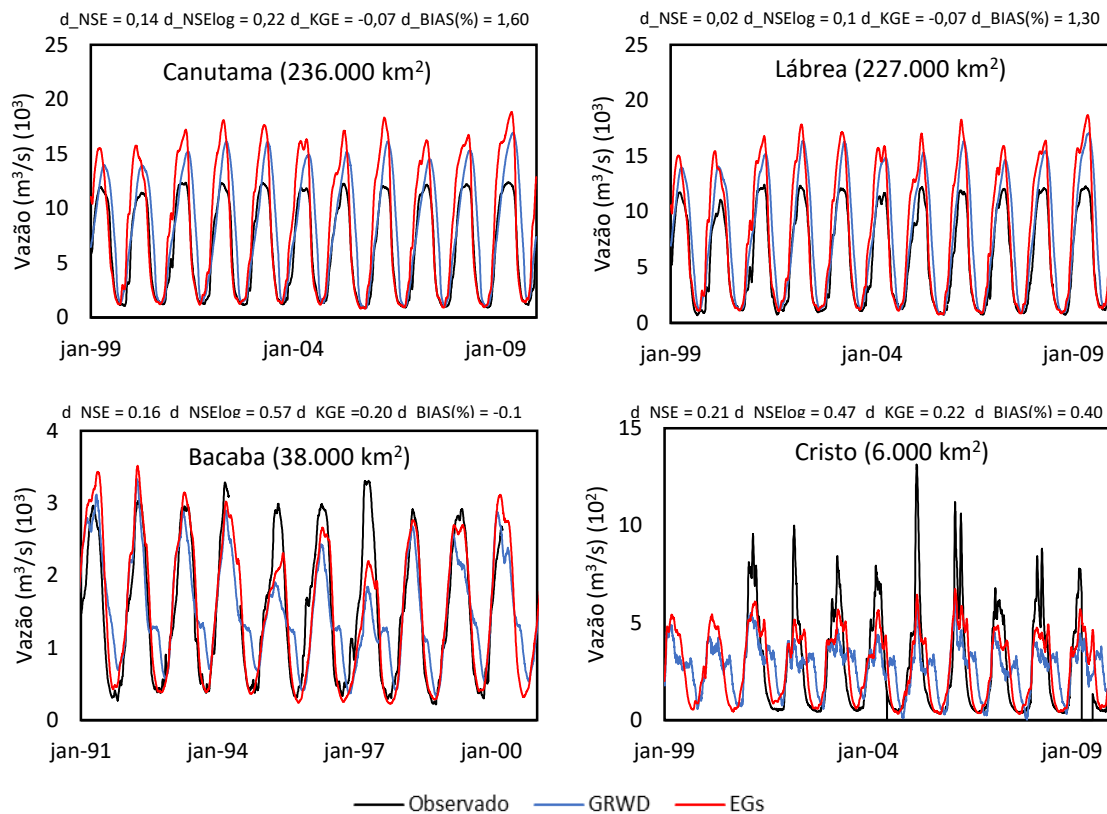
Já a bacia do rio Purus foi a única que apresentou melhoria de desempenho na modelagem de vazão com o uso de EGs para as RHHs, ao invés dos dados GRWD. Na Figura 18 são apresentados os hidrogramas de vazões observadas e simuladas utilizando essas duas bases de dados para as estações fluviométricas que tiveram melhor aumento de desempenho na bacia do rio Purus.

Pode-se notar na Figura 18 que, para as estações analisadas, houve melhoria nos hidrogramas simulados, principalmente no que se refere à defasagem temporal, em que os dados simulados utilizando EGs para as RHHs do rio Purus se aproximaram mais dos dados observados comparativamente aos dados GRWD.

Houve também uma pequena melhora na simulação dos picos de vazão utilizando EGs para as RHHs. Erros nas estimativas da largura dos rios utilizando dados menos precisos de largura e profundidade, como os GRWD, causam erros na extensão da inundação e, conseqüentemente, nas trocas de volume da planície de inundação, fazendo com que o modelo subestime a amplitude de vazões (Paiva, 2012).

Nota-se, também, que mesmo com a melhora na simulação dos picos de vazão utilizando EGs para as RHHs, ainda existe uma dificuldade na modelagem desses dados, principalmente devido à influência das áreas inundadas no cálculo das vazões máximas, fator esse de grande relevância nas bacias amazônicas (Paiva, 2012).

Figura 18 - Comparação entre as vazões simuladas utilizando dados GRWD, as simuladas utilizando EGs para as RHHs da bacia do rio Purus e as observadas nas estações fluviométricas localizadas na bacia.



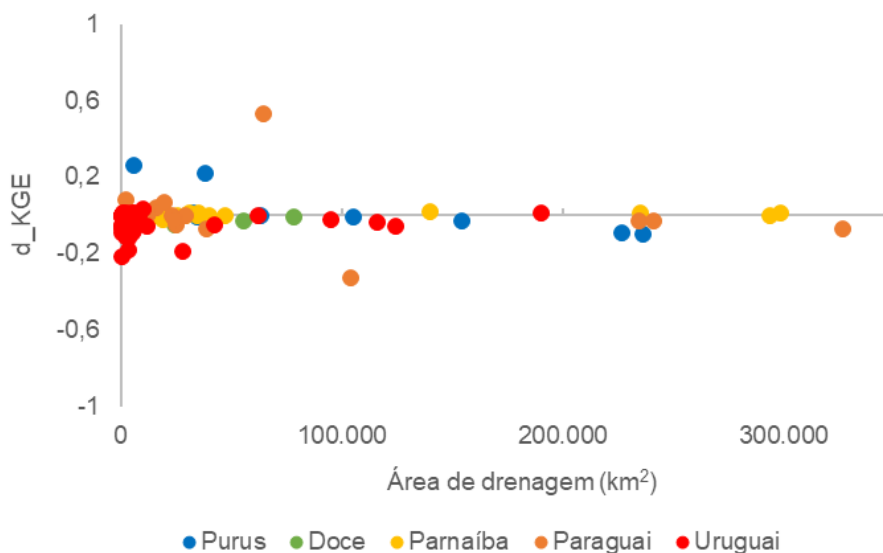
Fonte: a autora.

A diferença no desempenho do modelo MGB SA utilizando os dados GRWD e das EGs para toda bacia para fins de modelagem de vazão foi também analisada em um gráfico da diferença do KGE (d_KGE) versus a área drenagem de cada estação fluviométrica para todas as bacias estudadas (Figura 19). Observa-se que a diferença do desempenho da modelagem de vazão não segue uma tendência com a área de drenagem para nenhuma das bacias analisadas, sendo que os valores de d_KGE possuem pouca variação.

Na bacia do rio Purus, onde houve melhora na simulação da vazão com o uso de EGs para as RHHs, os maiores valores de d_KGE ocorreram nos locais mais próximos à foz, mesmo em menores áreas de drenagem. Isso ocorre devido às inundações mais expressivas nessa região e ao efeito de remanso apresentado pelo rio Purus e por seus afluentes próximos ao desague, sendo que nesses locais a

sensibilidade do modelo MGB SA ao aperfeiçoamento da representação dos canais é maior.

Figura 19 - Diferença do desempenho do MGB SA na modelagem da vazão utilizando os dados GRWD e as EGs para toda a bacia (d_KGE) em função da área de drenagem.



Fonte: a autora.

5.2.2. Modelagem dos dados de nível de água

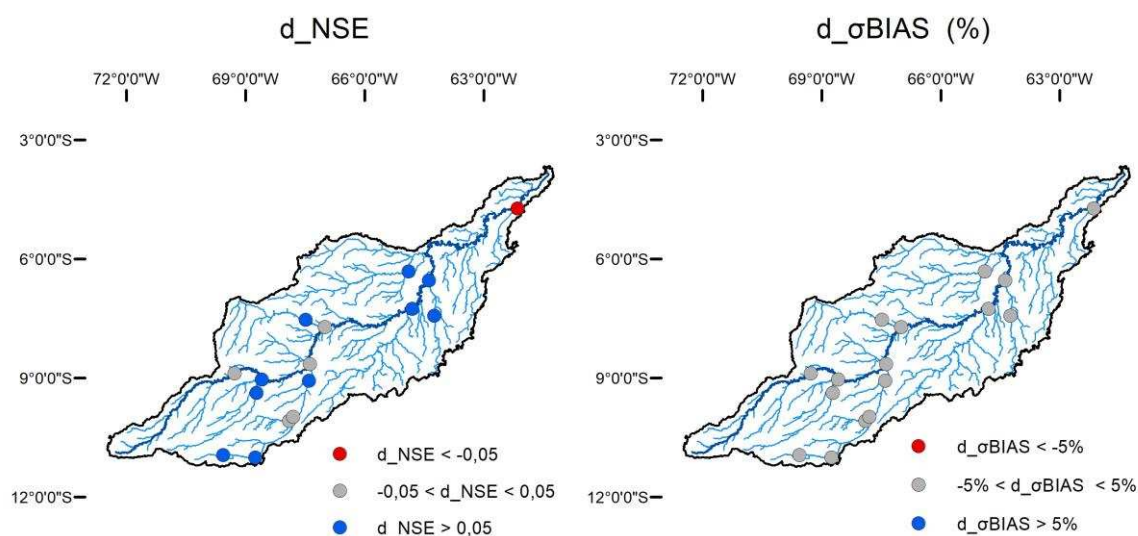
Bacia do rio Purus

A Figura 20 apresenta a diferença entre o desempenho do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs da bacia do rio Purus. Observa-se que utilizando as EGs nas RHHs houve uma melhora das estatísticas de desempenho para diversas localidades na bacia, quando comparado aos dados GRWD. Todos os locais, exceto os das estações de Rio Branco (13600002), Fazenda Santo Afonso (13580000), Manoel Urbano (13180000), Valparaíso-Montante (13710001), Seringal Fortaleza (13750000) e Arumã-Jusante (13962000), obtiveram melhora no índice NSE, porém não houve mudança significativa no σ BIAS para nenhuma das localidades analisadas.

Observa-se que houve melhora em um número maior de estações para modelagem de nível que para modelagem de vazão, devido ao fato de que ela é mais sensível aos dados geomorfológicos dos canais (Luo et al, 2017, Paiva et al. 2013). Como citado anteriormente, os dados GRWD superestimam a largura e subestimam a profundidade dos canais em relação às EGs, sendo que na maioria das

circunstâncias a redução da largura eleva o nível d'água no canal e vice-versa. Dessa forma, para uma mesma vazão, os dados de nível são subestimados com os dados GRWD em relação às EGs para as RHHs.

Figura 20 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Purus.



Fonte: a autora.

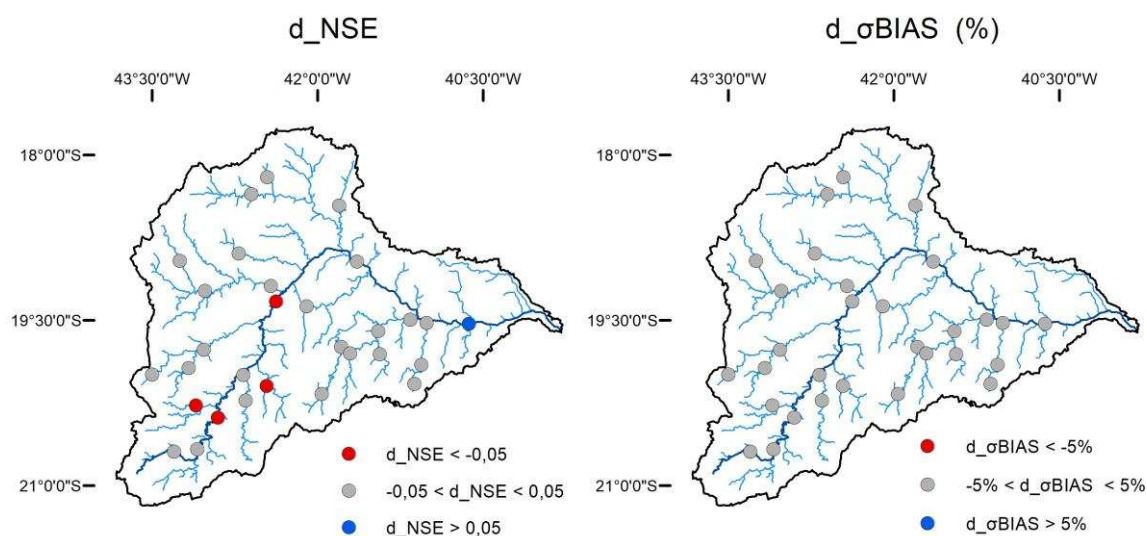
Bacia do rio Doce

A Figura 21 apresenta a diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para toda a bacia do rio do rio Doce. Observa-se que, utilizando as EGs para toda a bacia, não houve uma melhora significativa das estatísticas de desempenho para a quase totalidade das estações analisadas quando comparado aos dados GRWD. Não houve mudanças significativas da estatística $\sigma BIAS$ para nenhuma das localidades analisadas, enquanto que para a estatística NSE houve melhora apenas para o local da estação de Colatina (56994500), que é a estação mais próxima à foz, e piora para os locais das estações de Ponte Nova Jusante (56110005), Fazenda Ocidente (56337000), Instituto Florestal Raul Soares (56510000) e Belo Oriente (56719998).

Isso demonstra que as equações para toda a bacia também não proporcionaram melhoria do desempenho da modelagem de nível para a bacia do rio Doce em relação aos dados globais GRWD, devido à menor sensibilidade do modelo MGB SA às

alterações de largura e profundidade em rios de maior declividade e em regiões montanhosas, como a bacia do rio Doce. Dessa forma, a diferença entre as simulações utilizando as EGs e os dados GRWD é pequena frente a outras incertezas do modelo nessa bacia.

Figura 21 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para toda a bacia do rio do rio Doce.



Fonte: a autora.

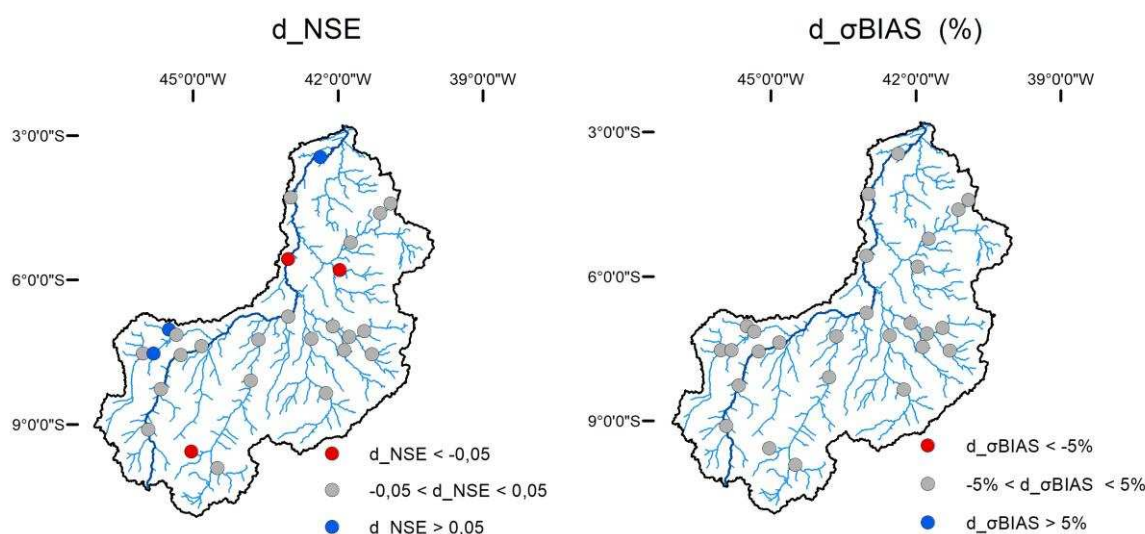
Bacia do rio Parnaíba

A Figura 22 apresenta a diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs da bacia do rio Parnaíba. Nota-se que utilizando as EGs para as RHHs não houve uma melhora significativa das estatísticas de desempenho para quase a totalidade das localidades analisadas quando comparado aos dados GRWD. Não houve mudanças significativas da estatística σ BIAS para nenhuma dos locais analisados, enquanto que para a estatística NSE houve melhora apenas para os locais das estações de Luizilândia (34879500), Neves (34145000) e Balsinhas (34142000) e piora para os locais das estações de Fazenda Veneza (34660000), Santa Cruz dos Milagres (34751000) e Contrato (União) (34230000).

Isso demonstra que as equações para toda a bacia também não proporcionaram melhoria do desempenho da modelagem de nível para a bacia do rio Parnaíba em relação aos dados globais GRWD, devido à menor sensibilidade do modelo MGB SA

às alterações de largura e profundidade em rios de maior declividade e em regiões montanhosas. Dessa forma, a diferença entre as simulações utilizando as EGs e os dados GRWD é pequena frente a outras incertezas do modelo nessa bacia.

Figura 22 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Parnaíba.



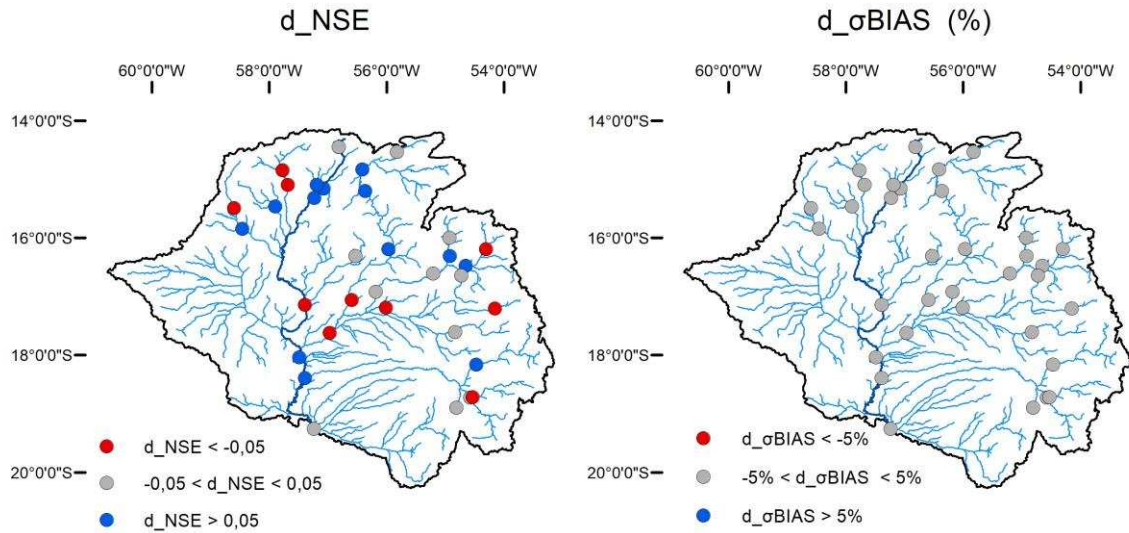
Bacia do rio Paraguai

A Figura 23 apresenta a diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para toda a bacia do rio Paraguai. Observa-se que os valores de NSE aumentaram em treze localidades, especialmente distribuídas na bacia, e diminuiu em outras dez. O índice σ BIAS não sofreu alteração em nenhuma das localidades analisadas.

Da mesma forma que para a vazão, as variações nas estatísticas não seguiram um padrão, melhorando para algumas estações e piorando em outras, o que demonstra que as EGs para toda a bacia não foram efetivas no aperfeiçoamento do desempenho da modelagem de nível em relação aos dados globais GRWD. Como ressaltado anteriormente, a bacia do rio Paraguai possui uma hidrodinâmica bastante complexa e muito difícil de simular, que decorre também da dificuldade de se representar a geomorfologia dos canais dessa região, uma vez que a drenagem em

grande parte da bacia é caracterizada por rios multicanaís, ou seja, com fluxos secundários na planície de inundação.

Figura 23 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para toda a bacia do rio do rio Paraguai.

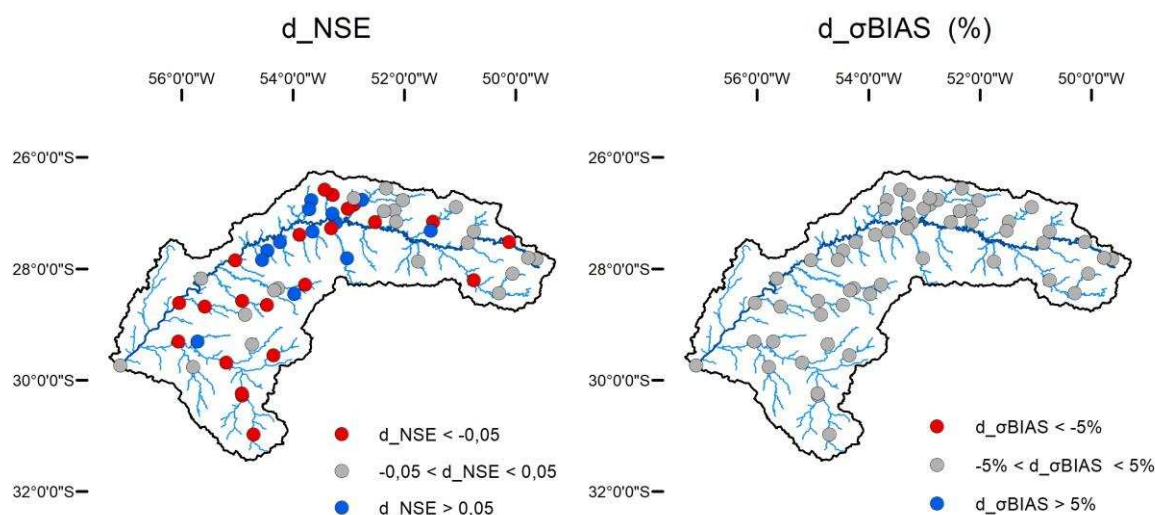


Fonte: a autora.

Bacia do rio Uruguai

A Figura 24 apresenta a diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs da bacia do rio Uruguai. Observa-se que, utilizando as EGs para as RHHs, houve melhora do NSE em treze localidades, principalmente na região central da bacia, porém na maioria dos locais houve piora dessa estatística (22 locais). O $\sigma BIAS$, no entanto, não sofreu alteração nos locais analisados.

Figura 24 - Diferença entre os desempenhos do MGB SA para as métricas de nível de água (anomalia) utilizando os dados GRWD e as EGs para as RHHs definidas pelo método da Conveniência Geográfica para a bacia do rio Uruguai.



Fonte: a autora.

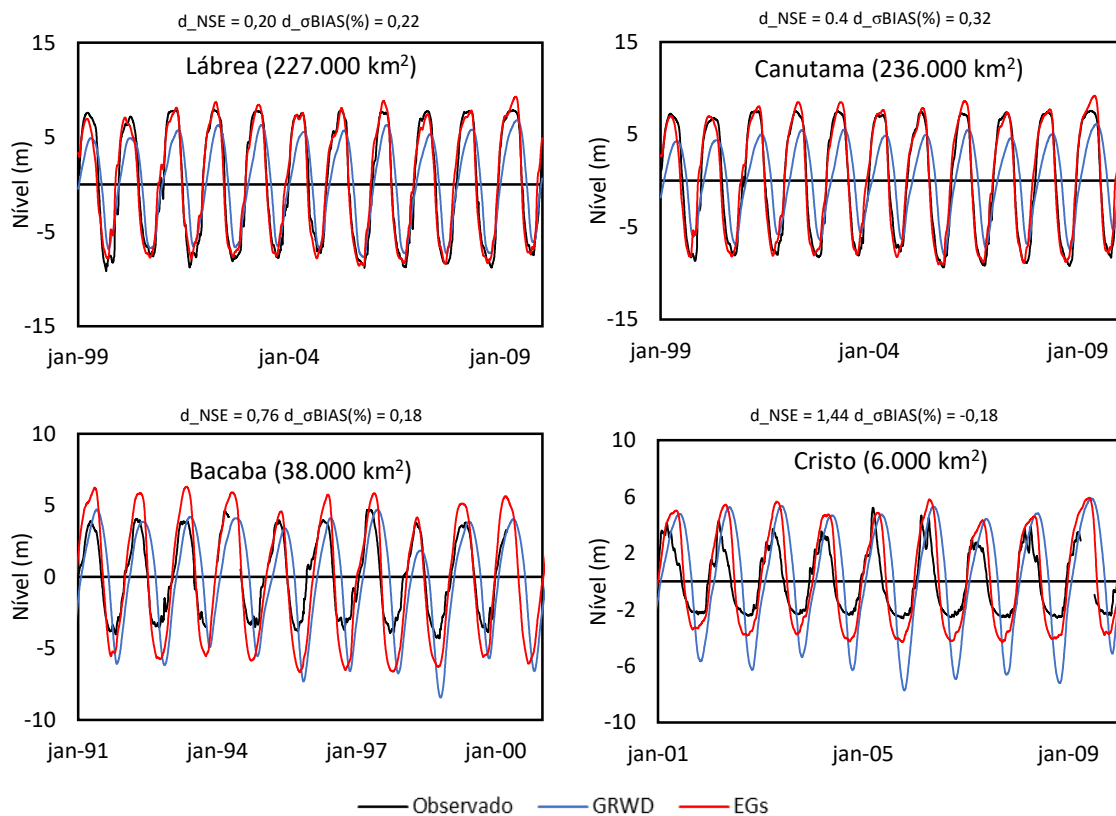
Cotogramas simulados

Como a bacia do rio Purus foi a única que apresentou melhoria de desempenho na modelagem de nível com o uso de EGs para as RHHs, ao invés dos dados GRWD, na Figura 25 são apresentados os cotogramas de anomalias de nível observadas e simuladas utilizando essas duas bases de dados para as estações fluviométricas que tiveram simulações com melhor desempenho na bacia do rio Purus. Nota-se que em todas as estações analisadas ocorreu uma melhora na representação temporal dos dados de nível quando utilizadas as EGs para as RHHs em comparação aos dados GRWD.

Nas estações de Lábrea e Canutama (estações localizadas no rio Purus), ocorreu uma melhora na simulação dos níveis (anomalias) máximos e mínimos, o que demonstra a eficácia do refinamento das EGs em relação aos dados GRWD para fins de representação da geometria dos canais dessas estações. Isso ocorre porque os dados GRWD superestimam a largura e subestimam a profundidade dos canais em relação às EGs, subestimando também a área da seção transversal, o que faz com que o extravasamento do rio para a planície de inundação ocorra antecipadamente, causando atenuação dos picos de nível d'água.

Já nas estações de Bacaba e Cristo as simulações de nível utilizando ambas as bases de dados geomorfológicos, GRWD e EGs, se mostraram ineficientes em representar os níveis de pico dos cotogramas em comparação aos dados observados. De acordo com Paiva (2009), isso ocorre porque em afluentes de grandes rios, onde os níveis d'água sejam controlados pela cheia de ambos os rios, os erros na estimativa dos níveis de fundo pelo modelo MGB podem causar erros associados à forma e ao tempo do cotograma no afluente.

Figura 25 - Comparação entre anomalias simuladas utilizando dados geomorfológicos de GRWD, e oriundos das EGs com as anomalias observadas do nível da água de estações da bacia do rio Purus.



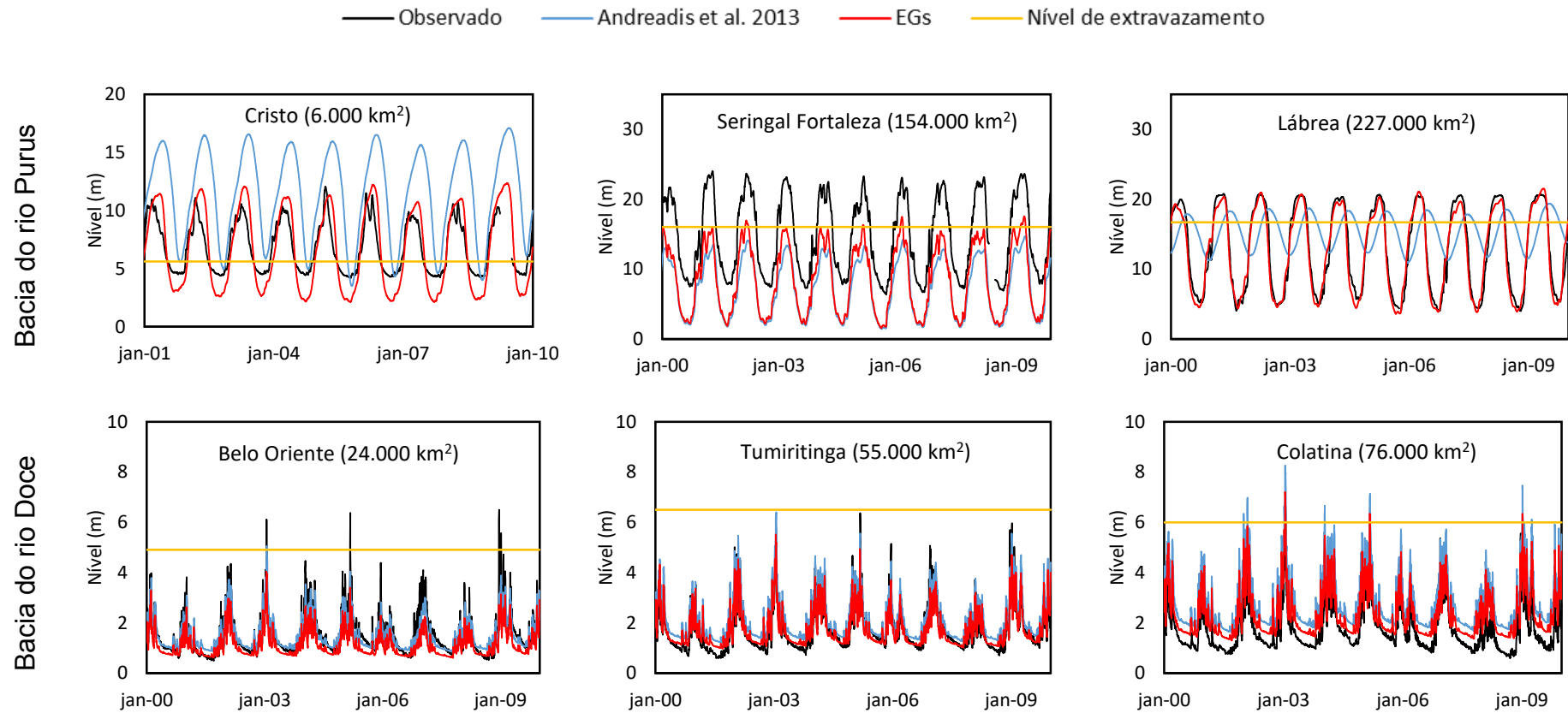
Fonte: a autora.

Na Figura 26 são apresentados, para as cinco bacias estudadas, os cotogramas de nível de água observados e simulados utilizando o MGB SA com as duas bases de dados geomorfológicos: GRWD e os dados obtidos através das EGs, além das cotas de extravasamento do canal. Observa-se que apenas para a bacia do rio Purus as inundações são recorrentes em locais com diferentes áreas de drenagem, ou seja, os níveis observados do rio ultrapassam o nível de extravasamento durante

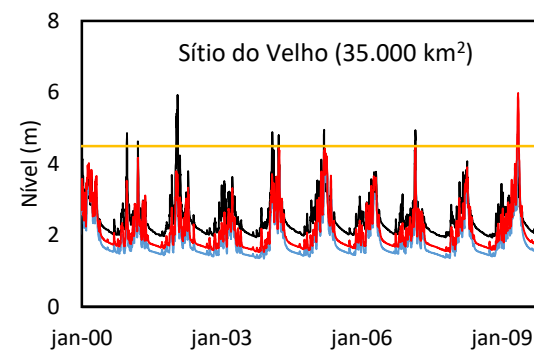
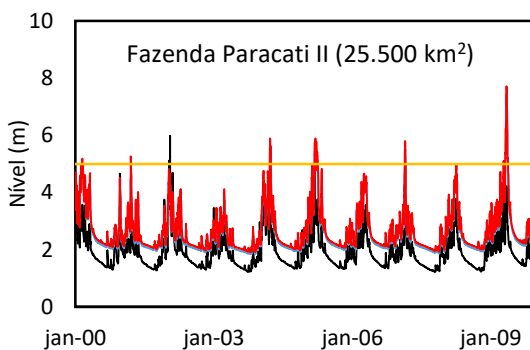
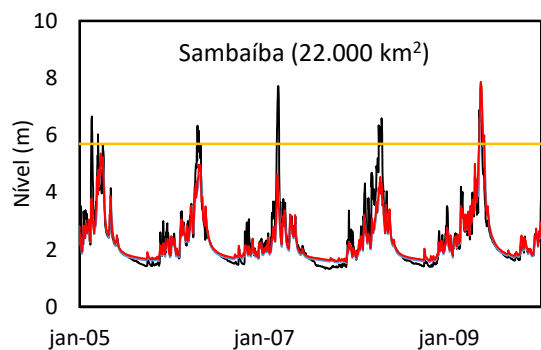
um determinado período do ano, normalmente entre janeiro e julho. Já nas demais bacias, na maior parte do tempo o nível do rio permanece abaixo da cota de extravasamento.

Isso explica porque o uso de EGs para as bacias dos rios Parnaíba e Doce não teve efeito significativo na modelagem de dados de vazão e nível, uma vez que o modelo MGB SA tem menor sensibilidade às alterações de largura e profundidade em seções transversais que não possuem planícies de inundação. Sendo assim, para essas bacias dados globais mais genéricos, como os dados GRWD, podem ser utilizados para aplicações regionais com relativa confiança.

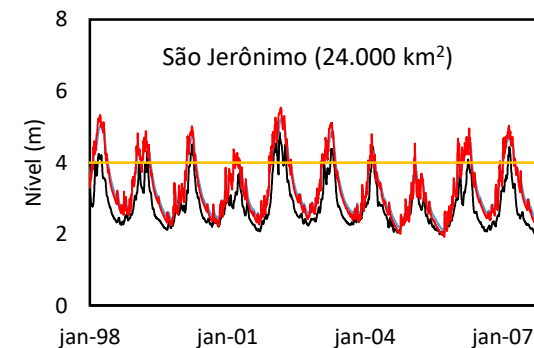
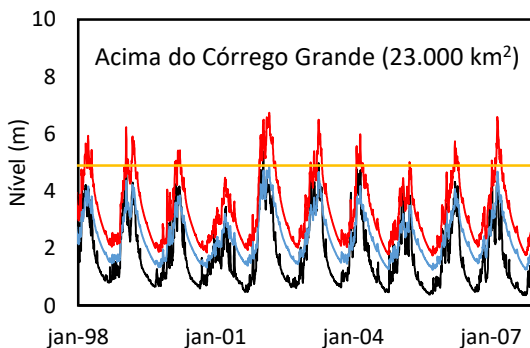
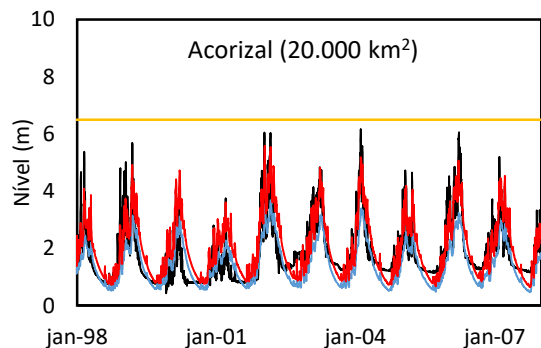
Figura 26 - Comparação entre níveis simulados utilizando os dados geomorfológicos GRWD e os oriundos das EGs com os níveis observados das estações fluviométricas das bacias analisadas.



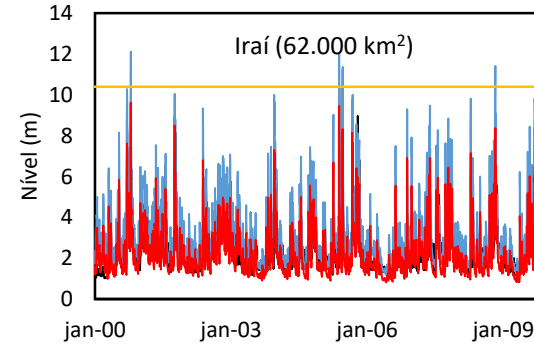
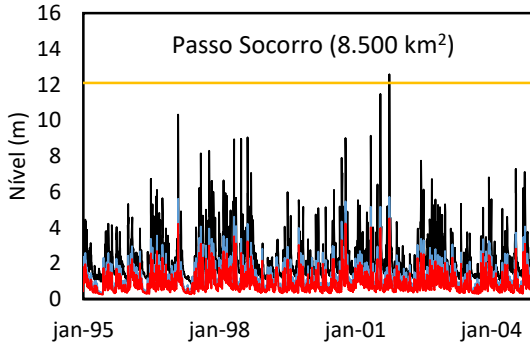
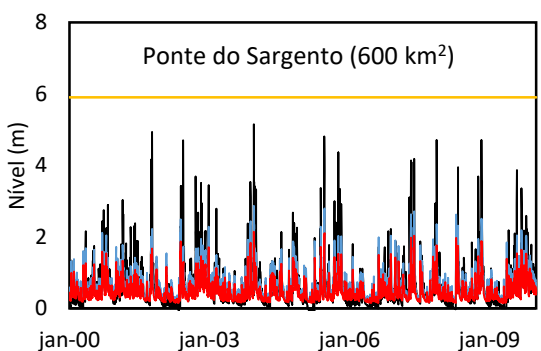
Bacia do rio Parnaíba



Bacia do rio Paraguai



Bacia do rio Uruguai

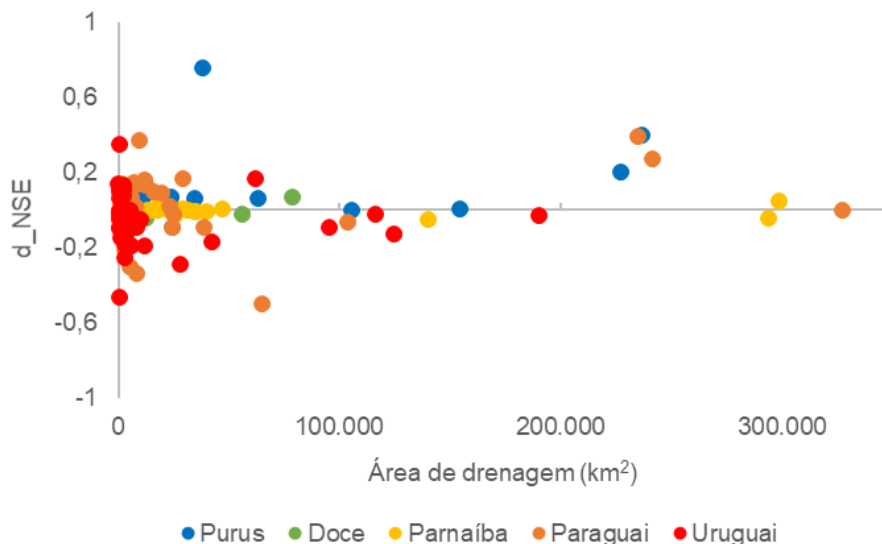


Fonte: a autora.

Para os dados de nível, a diferença de desempenho do modelo MGB SA utilizando os dados GRWD e as EGs foi também analisada em um gráfico da diferença do NSE plotado versus a área drenagem de cada estação fluviométrica para todas as bacias estudadas (Figura 27). A diferença do desempenho da modelagem de nível também não segue uma relação clara com a área de drenagem para nenhuma das bacias analisadas, nem mesmo na bacia do rio Purus, onde houve melhora no desempenho da modelagem de nível d'água com o uso das equações geomorfológicas refinadas.

Na bacia do rio Purus houve melhora na simulação de nível d'água na grande maioria dos locais, mesmo em menores áreas de drenagem. Como já mencionando anteriormente, isso ocorre porque, na maioria dos rios dessa bacia, as inundações são recorrentes, sendo o fenômeno de extravasamento do rio para as áreas de inundação muito expressivo. Logo, o refinamento da geometria do canal aumenta ou diminui a área da planície de inundação, o que tem como consequência a melhoria dos valores nível d'água simulados em quase todas as localidades da bacia.

Figura 27 - Diferença do desempenho do MGB SA na modelagem de nível utilizando os dados GRWD e as EGs para toda bacia (d_NSE) em função da área de drenagem.



Fonte: a autora.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O método de análise de cluster K-means se mostrou eficiente no processo de definição das Regiões Hidrologicamente Homogêneas com base na geomorfologia de canais apenas para a bacia do rio Purus, onde a divisão com base apenas nas coordenadas geográficas foi capaz de representar as variações da geomorfologia fluvial da bacia;
- O método da Conveniência Geográfica permitiu a definição de regiões hidrologicamente homogêneas para as bacias hidrográficas do rio Purus, do rio Parnaíba e do rio Uruguai, por conseguir ser sensível aos padrões diferentes de relevo, regimes de precipitação e regimes de vazão;
- As equações geomorfológicas para toda bacia obtidas para as cinco bacias hidrográficas estudadas melhoraram as estimativas de largura e profundidade em comparação aos dados dos bancos globais GRWD e GRWL;
- As equações geomorfológicas obtidas para as Regiões Hidrologicamente Homogêneas proporcionaram melhores estimativas de largura e profundidade para as bacias dos rios Purus, Parnaíba e Uruguai quando comparadas aos dados genéricos dos bancos globais GRWD e GRWL;
- O uso de equações geomorfológicas para o rio principal nas bacias do rio Doce e do rio Paraguai não proporcionaram melhoria expressiva nas estimativas de largura e profundidade dos canais destas bacias;
- O uso de equações geomorfológicas mais refinadas proporcionou melhora no desempenho da modelagem de vazão e nível com o modelo MGB SA apenas na bacia do rio Purus, devido ao fato de que o aprimoramento da representação da geomorfologia de canais apresenta efeitos maiores em rios de baixa declividade em regiões com grandes planícies de inundação, como na Bacia Amazônica;
- O uso de equações geomorfológicas mais refinadas para a bacia do rio Purus proporcionou melhora no desempenho da modelagem dos picos de nível d'água em relação aos dados GRWD, uma vez que estes

subestimam a área da seção transversal dos canais, causando atenuação dos picos de nível d'água;

- O uso de equações geomorfológicas mais refinadas para as bacias dos rios Parnaíba e Doce não teve efeito significativo na modelagem de dados de vazão e nível, uma vez que o modelo MGB SA tem menor sensibilidade às alterações de largura e profundidade em seções transversais de rios de maior declividade, em regiões montanhosas e que não possuem planícies de inundação;
- O uso de equações geomorfológicas mais refinadas para a bacia do rio Paraguai não teve efeito significativo na modelagem de dados de vazão e nível, principalmente na região do Pantanal, onde a hidrodinâmica é bastante complexa e muito difícil de simular, que faz com que a diferença entre as simulações seja pequena frente a outras incertezas do modelo para sua aplicação nessa região;
- A diferença de desempenho nas modelagens de vazão e nível com o uso das equações geomorfológicas não possui relação direta com a área de drenagem das bacias estudadas, sendo que a melhoria de desempenho está mais relacionada à presença de planícies de inundação e efeitos de remanso nas seções analisadas; e
- Os dados globais mais genéricos GRWD podem ser utilizados com relativa confiança para modelagem de vazão e nível com o modelo MGB SA em bacias com rios mais declivosos, em regiões montanhosas, enquanto as equações geomorfológicas mais refinadas devem ser utilizadas para aplicações de modelagem em bacias com presença de grandes planícies de inundação e com hidrodinâmica simples.

REFERÊNCIAS

- Allen, G. H.; Pavelsky, T. M. Global extent of rivers and streams. **Science**, v. 361, n. 6402, p. 585-588, 2018.
- Alcamo, J.; Döll, P.; Henrichs, T.; Kaspar, F.; Lehner, B.; Rösch, T.; Siebert, S. Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. **Hydrological Sciences Journal**, 48(3), 317-337, 2003.
- Almeida Neto, J. O.; Cota, G. E. M.; Mendes, L. C.; Magalhães, A. P.; Felipe, M. F. Considerações sobre o ano hidrológico 2013-2014 e os seus reflexos nos caudais fluviais da bacia do rio Doce. **Revista Geografias**, p. 26-45, 2016.
- Alvarenga, S. M.; Brasil, A. E.; Pinheiro, R.; Kux, H. J. H. **Estudo geomorfológico aplicado à Bacia do Alto Paraguai e Pantanaís Mato-grossenses**. Salvador: Projeto RADAMBRASIL, Boletim Técnico; Série Geomorfológica, 89-183 p, 1984.
- ANA. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Agência Nacional de Águas. Brasília, 134 p., 2005.
- ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2015**. Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce, Rompimento da barragem em Mariana/MG. Agência Nacional de Águas. Brasília, 50 p., 2016.
- Andreadis, K. M.; Schumann, G. J. P.; Pavelsky, T. A simple global river bankfull width and depth database. **Water Resources Research**, v. 49, n. 10, p. 7164-7168, 2013.
- Assine M.L.; Soares P.C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, 114, pp. 23-34, 2004.
- Bates, P. D., Horritt M. S., Fewtrell T. J. A Simple Inertial Formulation of The Shallow Water Equations For Efficient Two-Dimensional Flood Inundation Modelling. **J. Hydrol.**, 387, 33–45, 2010.
- Beck, H. E.; van Dijk, A. I. J. M.; Levizzani, V.; Schellekens, J.; Miralles, D. G.; Martens, B.; de Roo, A. MSWEP: 3- hourly 0.25° global gridded precipitation (1979–2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data, **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 21, 589–615, 2017a.
- Beck, H. E.; Vergopolan, N.; Pan, M., Levizzani, V.; van Dijk, A. I. J. M.; Weedon, G. P.; Brocca, L.; Pappenberger, F.; Huffman, G. J.; Wood, E. F. Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydro- logical modeling, **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 21, 6201–6217, 2017b.
- Beighley, R. E.; Eggert, K. G.; Dunne, T.; He, Y.; Gummadi, V.; Verdin, K. L. Simulating hydrologic and hydraulic processes throughout the Amazon River Basin. **Hydrological Processes**, v. 23, n. 8, p. 1221-1235, 2009.

Bell, V. A.; Kay, A. L.; Jones, R. G.; Moore, R. J. Development of a high resolution grid-based river flow model for use with regional climate model output. **Hydrology and Earth System Sciences**, 11(1), 532-549, 2007.

Beskow, S.; Mello, C. R.; Faria, L. C.; Simões, M. C.; Caldeira, T. L.; Nunes, G. S. Índices de sazonalidade para regionalização hidrológica de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, pp. 748 - 754, 2014.

Beven, K; Kirkby, M. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, Oxford, GB, v. 24, p. 43-69, 1979.

Bieger, K.; Rathjens, H.; Allen, P. M.; Arnold, J. G. Development and evaluation of bankfull hydraulic geometry relationships for the physiographic regions of the United States. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 51, n. 3, p. 842-858, 2015.

Bierkens, M. F. P. Global hydrology 2015: State, trends, and directions. *Water Resources Research*, v. 51, n. 7, p. 4923-4947, 2015.

Bormann, H. Impact of spatial data resolution on simulated catchment water balances and model performance of the multi-scale TOPLATS model. **Hydrol. Earth Syst. Sci.** 10 (2), 165-179, 2006.

Bravo, J. M.; Allasia, D., Paz, A. R.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. Coupled hydrologic-hydraulic modeling of the Upper Paraguay River basin. **Journal of hydrologic engineering**, v. 17, n. 5, p. 635-646, 2011.

Bravo, J. M.; Collischonn, B.; Allasia, D.; Collischonn, W.; Villanueva, A.; Tucci. Estimativa da perda ou ganho lateral dos rios no Pantanal. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul (AguaSul)**, 2005.

Buffon, F. T.; Rolim, F. E.; Marcuzzo, F. F. N. Características das seções transversais na modelagem da propagação do escoamento na bacia do rio Uruguai. Em: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu: ABRH, 2019.

Burek, P.; van der Knijff, J.; de Roo, A. LISFLOOD Distributed Water Balance and Flood Simulation Model - Revised User Manual 2013, **JRC Technical Reports**. Joint Research Centre of the European Commission: Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.

Castellarin, A.; Burn, D. H.; Brath, A. Assessing the effectiveness of hydrological similarity measures for flood frequency analysis. **Journal of Hydrology**, v. 241, n. 3, p. 270-285, 2001.

Chanson, H. **The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction**. Butterworth-Heinemann, 2nd edition, Oxford, UK, 630 pages, 2004.

Clarke, R. T.; Tucci, C. E. M.; Collischonn, W. Variabilidade temporal no regime hidrológico da bacia do rio Paraguai. **Revista brasileira de recursos hídricos**, v. 8,

n. 1, p. 201-211, 2003.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba. **Plano de Ação para a Bacia do Rio Parnaíba** – Planap. Relatório Preliminar. Brasília: 74p., 2005.

Coe, M. T.; Costa, M. H.; Howard, E. A. Simulating the surface waters of the Amazon River basin: impacts of new river geomorphic and flow parameterizations. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 14, p. 2542-2553, 2007.

Coelho, A. L. N. Situação Hídrico-Geomorfológica da Bacia do Rio Doce com Base nos Dados da Série Histórica de Vazões da Estação de Colatina-ES. **Caminhos da Geografia**, p. 56-79, 2006.

Collischonn, W.; Allasia, D.G.; Silva, B.C.; Tucci, C.E.M. Pontes. **Hydrological Sciences Journal**, 52, 878-895, 2007.

Collischonn, W.; Tucci, C. E. M.; Clarke, R. T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? **Journal of Hydrology**, v. 245, n. 1-4, p. 218-238, 2001.

Consórcio ORICONsul – ECOPLAN – SKILL. **Diagnóstico da Região da Bacia Do Rio Uruguai - Relatório Final do Componente 1**. Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável da Região da Bacia do Rio Uruguai. Florianópolis/SC — Porto Alegre/RS, 2008.

Dalagnol, R.; Borma, L. D. S.; Mateus, P.; Rodriguez, D. A. Assessment of climate change impacts on water resources of the Purus Basin in the southwestern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 47, n. 3, p. 213-226, 2017.

Dalton, L.; Ballarin, V.; Brun, M. Clustering algorithms: on learning, validation, performance, and applications to genomics. **Current Genomics**, v. 10, n. 6, pp. 430-445, 2009.

De Paula Filho, F.J. **Avaliação Integrada da Bacia De Drenagem do Rio Parnaíba Através de Fatores de Emissão de Cargas de Nitrogênio e Fósforo e Índices de Qualidade de Águas**. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 190 p., 2014.

Decharme, B.; Alkama, R.; Papa, F.; Faroux, S.; Douville, H.; Prigent, C. Global off-line evaluation of the ISBA-TRIP flood model. **Climate Dynamics**, 38(7-8), 1389-1412, 2012.

Diniz, R. B. N.; Soares, V. G.; Anjos, L. F. C. Uso de Técnicas de Mineração de Dados na Identificação de Áreas Hidrologicamente Homogêneas no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n.1, pp. 65-75, 2012.

Donnelly, C.; Andersson, J. C.; Arheimer, B. Using flow signatures and catchment similarities to evaluate the E-HYPE multi-basin model across Europe. **Hydrological Sciences Journal**, 61(2), 255-273, 2016.

Dunne, T.; Leopold, L. B. Water in environmental planning. Macmillan, 1978.

Ercan, K.; Mehmet, C.; Osman, A. Hydrologic homogeneous regions using monthly streamflow in Turkey. **Earth Sciences Research Journal**, v. 12, n. 2, p. 181-193, 2008.

Essery, R.L.H., Best, M.J., Betts, R.A., Cox, P.M., Taylor, C.M. Explicit Representation of Subgrid Heterogeneity in a GCM Land Surface Scheme. **Journal of Hydrometeorology**, 4(3), 530-543, 2003.

Euclides, H. P.; Ferreira, P. A.; Ribeiro, C. A. A. S.; Faria Filho, R.F.; Leite, C. V.; Santos, A. P.; Altoé, D. R.; Santos, S. A.; Oliveira, E. P.; Nunes, D. M.; Ferreira, P. H. S.; Viana, D. C. **Atlas Digital das Águas de Minas**. 3 Ed. (website). Programa de pesquisa e desenvolvimento HIDROTEC, Fundação Rural Mineira (RURALMINAS), Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2014. Disponível em: www.atlasdasaguas.ufv.br/home.html. Acesso em: outubro de 2017.

Euclides, H. P.; Ferreira, P. A.; Rubert, O. A. V.; Santos, R. M. Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto São Francisco a Montante da Barragem de Três Marias, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 2, pp. 81-105, 2001.

Everitt, B. S.; Landau, S.; Leese, M.; Stahl, D. **Cluster Analysis**. 5th Edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2011.

Everitt, B. S.; Landau, S.; Leese, M.; Stahl, D. **Cluster Analysis**. 5th Edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2011.

Fagundes, H. D. O., Paiva, R. C. D. D., Fan, F. M., & Buarque, D. C. Simulação hidrossedimentológica preliminar na Bacia do Rio Doce com o Modelo MGB-SED. In **II Congresso Internacional de Hidrossedimentologia** (2.: 2017: Foz do Iguaçu). Anais. Foz do Iguaçu: Interciência, 2017.

Fan, F. M.; Buarque, D. C.; Pontes, P. R. M.; Collischonn, W. Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul, **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília, 2015.

Fayal, M. A. de A. Previsão de vazão por redes neurais artificiais e transformada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 158p, 2008.

Filizola, N.; Guyot, J. L.; Guimarães, V. D. S.; Molinier, M.; Oliveira, E. D.; Freitas, M. A. V. Caracterização hidrológica da bacia Amazônica. **Amazônia-Uma perspectiva interdisciplinar**, p. 33-53, 2002.

Filizola, N.; Guyot, J.; Beisl, C.; Miranda, F. P. O fluxo de matéria em suspensão na Amazônia Ocidental como marcador da dinâmica fluvial. W.C. De Sousa, A.V. Waichman, P.A. Sinisgalli, d.A. De Angelis, C.F. Romeiro, A.R.E. Manaus (Eds.), Rio Purus: águas, território e sociedade na Amazônia Sul-Ocidental, Chapter 6, 2011.

Fleischmann, A. S.; Siqueira, V. A.; Paris, A.; Collischonn, W.; Paiva, R. C. D.; Pontes,

P. R. M.; Crétaux, J.-F.; Bergé-Nguyen, M.; Biancamaria, S.; Gosset, M.; Calmant, S.; Tanimoun, B. A. Modeling hydrologic and hydrodynamic processes in basins with semi-arid wetlands, **Journal of Hydrology**, 561, 943–959, 2018.

Frasson, R. P. D. M.; Pavelsky, T. M.; Fonstad, M. A.; Durand, M. T.; Allen, G. H.; Schumann, G.; Lion, C.; Beighley, R. E.; Yang, X. Global relationships between river width, slope, catchment area, meander wavelength, sinuosity, and discharge. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 6, p. 3252-3262, 2019.

Freeze, R. A.; Harlan, R. L. Blueprint for a physically-based, digitally simulated hydrologic response model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, NL, v. 9, p. 237-258, 1969.

Getirana, A. C.; Boone, A.; Yamazaki, D.; Decharme, B.; Papa, F.; Mognard, N. The hydrological modeling and analysis platform (HyMAP): Evaluation in the Amazon basin. **Journal of Hydrometeorology**, 13(6), 1641-1665, 2012.

Gosling, S.N., Arnell, N.W. Simulating current global river runoff with a global hydrological model: model revisions, validation, and sensitivity analysis. **Hydrological Processes**, 25, 1129–1145, 2011.

Goyal, M. K.; Gupta, V. Identification of Homogeneous Rainfall Regimes in Northeast Region of India using Fuzzy Cluster Analysis. **Water Resources Management**, v. 28, n. 13, pp. 4491-4511, 2014.

GREHYS - Groupe de recherche en hydrologie statistique. Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. **Journal of Hydrology**, v. 186, pp. 63-84, 1996.

Guimarães, M. B. A Análise Hidrossedimentológica No Planejamento De Bacias Hidrográficas: Caso Da Bacia Do Rio Doce ES-MG Brasil. In.: **I Congresso Internacional de Hidrossedimentologia**. Foz do Iguaçu, 2015.

Guimberteau, M.; Drapeau, G.; Ronchail, J.; Sultan, B.; Polcher, J.; Martinez, J. M.; Prigent, C.; Guyot, J.; Cochonneau, G.; Villar, J. C. E.; Filizola, N.; Fraizy, P.; Lavado, W.; Oliveira, E.; Pombosa, R.; Noriega, L.; Vauchel, P. Discharge simulation in the sub-basins of the Amazon using ORCHIDEE forced by new datasets. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 3, p. 11171-11232, 2012.

Gupta, H. V.; Sorooshian, S.; Yapo, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **Journal of Hydrologic Engineering**, 4(2), 135-143, 1999.

Haddeland, I.; Clark, D.B.; Franssen, W.; Ludwig, F., Voß, F.; Arnell, N.W.; Bertrand, N.; Best, M.; Folwell, S.; Gerten, D.; Gomes, S. Multimodel estimate of the global terrestrial water balance: setup and first results. **Journal of Hydrometeorology**, 12(5), pp.869-884, 2011.

Hanasaki, N., Kanae, S., Oki, T., Masuda, K., Motoya, K., Shirakawa, N., Shen, Y., Tanaka, K. An integrated model for the assessment of global water resources - Part 1:

Model description and input meteorological forcing. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 12, 1007-1025, 2008a.

Hanasaki, N., Kanae, S., Oki, T., Masuda, K., Motoya, K., Shirakawa, N., Shen, Y., Tanaka, K. An integrated model for the assessment of global water resources - Part 2: Applications and assessments. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.12 1027-1037, 2008b.

Hosking, J. R. M.; Wallis, J. R. **Regional frequency analysis-an approach based on L-moments**. Cambridge University Press, Cambridge, 2005.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. **Manuais técnicos em geociências**, v. 1, 2012.

IBGE. **Mapa Bioma: Base de biomas do IBGE (1ª aproximação)**. Escala 1: 5.000.000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004.

Ilorme, F.; Griffis, V. W. A novel procedure for delineation of hydrologically homogeneous regions and the classification of ungauged sites for design flood estimation. **Journal of Hydrology**. v. 492, pp. 151-162, 2013.

INMET. Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010. Instituto Nacional de Meteorologia, edição digital, 747p., 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 15 de outubro de 2019.

Inocêncio, N.R. Hidrografia. In: **Geografia do Brasil: região centro-oeste**. IBGE, Rio de Janeiro, RJ, 1977.

Kauffeldt, A.; Wetterhall, F.; Pappenberger, F.; Salamon, P.; Thielen, J. Technical review of large-scale hydrological models for implementation in operational flood forecasting schemes on continental level. **Environmental Modelling and Software**. Vol. 75, 68-76. 2016.

Klein, M. Drainage area and the variation of channel geometry downstream. **Earth Surface Processes and Landforms**, 6.6: 589-593, 1981.

Koirala, S., Yeh, P.J.F., Hirabayashi, Y., Kanae, S., Oki, T. Global-scale land surface hydrologic modeling with the representation of water table dynamics. **J. Geophys. Res. Atmos.**, 119 (1), 2014.

Krause, P.; Boyle, D. P.; Bäse, F. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. **Advances in Geosciences**, v. 5, p. 89-97, 2005.

Krysanova, V.; Wechsung, F.; Arnold, J.; Srinivasan, W., J. **SWIM (Soil and Water Integrated Model), User Manual, PIK Reports**. Potsdam Institute for Climate Impact Research: Potsdam, Germany, p. 239, 2000.

Latrubesse, E. M. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. **Geomorphology**, v. 101, n. 1-2, p. 130-145, 2008.

Latrubesse, E. M.: Large rivers, megafans and other Quaternary avulsive fluvial systems: A potential “who’s who” in the geological record. **Earth-Science Reviews**, 146, 1–30, 2015.

Latuf, M.; Amaral, E. Assessment of suspended sediment discharge in the Purus River basin, Brazil. **International journal of river basin management**, v. 14, n. 4, p. 413-429, 2016.

Leopold, L. B.; Maddock, T. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. US Government Printing Office, 1953.

Leopold, L. B.; Wolman, M. G. **River channel patterns: braided, meandering, and straight**. US Government Printing Office, 1957.

Liang, X.; Wood, E.; Lettenmaier, D. P. Surface soil moisture parameterization of the VIC-2L model: Evaluation and modification. **Elsevier Science – Global and Planetary Change**, 13. 195 – 206, 1995.

Lins, R. C.; Andrade, G. O. Aspectos hidrográficos da bacia do Parnaíba. *Ciência & Trópico*, 1975.

Lohmann, D., Raschke, E., Nijssen, B., Lettenmaier, D.P. Regional scale hydrology: I. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model. **Hydrol. Sci. J.** 43 (1), 131-141, 1998.

Lohmann, D.A.G., Nolte-Holube, R., Raschke, E. A large-scale horizontal routing model to be coupled to land surface parametrization schemes. **Tellus A**, 48 (5), 708-721, 1996.

Luo, X.; Hong-Yi, L.; Leung, L. R.; Tesfa, T. K.; Getirana, A.; Papa, F.; Hess, L. L. Modeling surface water dynamics in the Amazon Basin using MOSART-Inundation v1.0: impacts of geomorphological parameters and river flow representation. **Geoscientific Model Development**, v. 10, n. 3, p. 1233, 2017.

MacQueen, J. **Some methods for classification and analysis of multivariate observations**, in Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability (L. LeCam and J. Neymen, eds) Vol. 1, 281–297. University of California Press, Berkeley, 1967.

MacQueen, J. **Some methods for classification and analysis of multivariate observations**, in Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability (L. LeCam and J. Neymen, eds) Vol. 1, 281–297. University of California Press, Berkeley, 1967.

Maechler, M.; Rousseeuw, P.; Struyf, A.; Hubert, M.; Hornik, K. Finding Groups in Data": Cluster Analysis Extended Rousseeuw et al. **R Packag. version 2.0**, v. 6, 2019.

Maimon, O.; Rokach, L. Data Mining and Knowledge Discovery Handbook. Springer, 2 Ed, 2010.

Mcdonnell, J. J.; Woods, R. On the need for catchment classification. **Journal of**

Hydrology, v. 299, pp. 2-3, 2004.

Meade, R. H.; Rayol, J. M.; Da Conceição, S. C.; Natividade, J. R. Backwater effects in the Amazon River basin of Brazil. **Environmental Geology and Water Sciences**, v. 18, n. 2, p. 105-114, 1991.

Medina-Cobo, M. T.; García-Marín, A. P.; Estévez, J.; Jiménez-Hornero, F. J.; Ayuso-Muñoz, J. L. Obtaining Homogeneous Regions by Determining the Generalized Fractal Dimensions of Validated Daily Rainfall Data Sets. **Water Resources Management**, v. 31, n. 7, p. 2333-2348, 2017.

Melo, E. C. Fatores de controle dos fluxos fluviais de material em suspensão em diferentes cenários climáticos na bacia do Rio Solimões. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente). Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM, 166 p., 2012.

Mendonça, F.; Danni-Oliveira, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo**. Oficina de Textos, 206 p., 2007.

Miller, W. A.; Cunge, J. A. Em: Mahmood, K.; Yevjevich, V. (eds). **Unsteady flow in open channels**. Fort. Collins: Water Resources Publications. v.1, Capítulo 5, 1975.
Milly, P.C.D., Shmakin, A.B. Global Modeling of Land Water and Energy Balances. Part I: The Land Dynamics (LaD) Model. **Journal of Hydrometeorology**, 3(3) 283-299, 2002.

Miranda, A. C. R. **Regiões hidrologicamente homogêneas na Amazônia com base nas precipitações mensais**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 147 p., 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da Região Hidrográfica do Uruguai**. Brasília: MMA, 2006a.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Documento Base de Referência. Brasília. Brasília: MMA, Cap. 5, p. 125-282, 2003.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba**. Brasília: MMA, 184 p., 2006b.

Motovilov, Y. G.; Gottschalk, L.; Engeland, K.; Rodhe, A. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 98, p. 257-277, 1999.

Mulvihill, C. I.; Baldigo B.P.; Miller, S. J.; DeKoskie, D.; DuBois, J. Bankfull Discharge and Channel Characteristics of Streams in New York State. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2009-5144, 51 pp., 2009.

Naghetini, M; Pinto, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Serviço Geológico do Brasil - CPRM: Belo Horizonte, Brasil, 552p, 2007.

Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V.: River flow forecasting through conceptual models, Part

I - A discussion of principles, **Journal of Hydrology**, 10, 282–290, 1970.

Nathan, R. J.; McMahon, T. A. Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalisation. **Journal of Hydrology**, v. 121, n. 1-4, p. 217-238, 1990.

Neal, J. Schumann, G.; Bates, P. A subgrid channel model for simulating river hydraulics and floodplain inundation over large and data sparse areas. **Water Resources Research**, v. 48, n. 11, 2012.

Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. **Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation - version 2009**, Texas Water Resources Institute Technical Report. Texas A&M University System: College Station, Texas, p. 618, 2011.

New, M.; Lister, D.; Hulme, M.; Makin, I. A high-resolution data set of surface climate over global land areas, **Clim. Res.**, 21, 1–25, 2002.

Ngo-Duc, T.; Oki, T.; Kanae, S. A variable streamflow velocity method for global river routing model: model description and preliminary results. **Hydrol. Earth Syst. Sci., Discuss.**, 4(6), 4389-4414, 2007.

Oki, T. and Sud, Y. C. Design of Total Runoff Integrating Pathways (TRIP)—A Global River Channel Network. **Earth Interactions**, 2(1), 1-37, 1998.

Oleson, K.W.; Lawrence, D.M.; Bonan, G.B.; Drewniak, B.; Huang, M.; Koven, C.D.; Levis, S.; Li, F.; Riley, W.J.; Subin, Z.M.; Swenson, S.C.; Thornton, P.E.; Bozbiyik, A.; Fisher, R.; Kluzek, E.; Lamarque, J.-F.; Lawrence, P.J.; Leung, L.R.; Lipscomb, W.; Muszala, S.; Ricciuto, D.M.; Sacks, W.; Sun, Y.; Tang, J.; Yang, Z.-L. Technical Description of version 4.5 of the Community Land Model (CLM), Ncar Technical Note NCAR/TN-503+STR. **National Center for Atmospheric Research: Boulder, CO**, p. 422, 2013.

Paiva, R. C. D. **Hydrologie du bassin amazonien: compréhension et prévision fondées sur la modélisation hydrologique-hydrodynamique et la télédétection**. Diss. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2012.

Paiva, R. C. D.; Buarque, D. C.; Collischonn, W.; Bonnet, M. P.; Frappart, F.; Calmant, S.; Bulhões Mendes, C. A. Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. **Water Resources Research**, v. 49, n. 3, p. 1226- 1243, 2013.

Paiva, R. C. D.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. Large scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS based approach. **Journal of Hydrology**, v. 406, n. 3, p. 170-181, 2011.

Paiva, R. D. **Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica de Grandes Bacias. Estudo de caso: bacia do rio Solimões**. Tese de Doutorado. MSc dissertation, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brazil), 182, 2009.

Paz, A.R.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. ; Padovani, C. R. Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil). **Hydrological Processes**, v. 25, p. 1498-1516, 2011.

Paz, A. R.; Collischonn, W.; Bravo, J. M.; Bates, P. D.; Baugh, C. The influence of vertical water balance on modelling Pantanal (Brazil) spatio-temporal inundation dynamics. **Hydrological Processes**, v.28, p. 3539–3553, 2014.

PCBAP. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP**. Projeto Pantanal, Programa Nacional do Meio Ambiente. Brasília: PNMA, vol. 1,1997.

Pedrollo, M. C. R.; Sotério, P. W.; Germano, A. O. Estudo Técnico Para Instalação E Operação De Um Sistema de Alerta Hidrológico Na Bacia Do Rio Uruguai. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, 2005.

Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 4, n. 2, p. 439-473, 2007.

Pinto, E. J. De A.; Azambuja, A. M. S. De; Farias, J. A. M.; Pickbrenner, K.; Salgueiro, J. P. De B.; Sousa, H. R. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. Brasília: CPRM; Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. 2011.

PIRH. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce: Relatório Final-Volume I**. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010.

PNRH. **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Informações: Região Hidrográfica do Parnaíba**. I Reunião com consultores regionais. Brasília: v 1.1, junho, 2005.

Pontes, P.R.M.; Fan, F.M.; Fleischmann, A.S.; de Paiva, R.C.D.; Buarque, D.C.; Siqueira, V.A.; Jardim, P.F.; Sorribas, M.V.; Collischonn, W. MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. **Environmental Modelling & Software**, 94, 1-20, 2017.

Pontes, R. M. P. **Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica integrada da Bacia do Rio Prata**. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil), 194 p., 2016.

Pruski, F. F.; Nunes, A. D. A.; Pruski, P. L.; Rodriguez, R. D. G. Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable. **Journal of Hydrology**, v. 476, pp. 52- 71, 2013.

Pruski, F. F.; Nunes, A.; Rego, F. S., Souza, M. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 1, n. 1, pp. 51-59, 2012.

Pruski, F. F.; Nunes, A.; Rego, F. S., Souza, M. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 1, n. 1, pp. 51-59, 2012.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R

Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014.

Rao, A. R.; Srinivas, V. V. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. **Journal of Hydrology**, v. 318, pp. 37-56, 2006.

Renssen, H.; Knoop, J. M. A global river routing network for use in hydrological modeling. **Journal of Hydrology**, v. 230, n. 3-4, p. 230-243, 2000.

Ríos-Villamizar, E. A.; Piedade, M. T.; Junk, W. J.; Waichman, A. V. Surface water quality and deforestation of the Purus river basin, Brazilian Amazon. **International Aquatic Research**, v. 9, n. 1, p. 81-88, 2017.

Rokach, L. A survey of clustering algorithms. **Data mining and knowledge discovery handbook**, p. 269-298, 2010.

Samaniego, L.; Cuntz, M.; Craven, J.; Dalmaso, G.; Kumar, R.; Mai, J.; Musuuza, J.; Prykhodko, V.; Schäfer, D.; Schneider, C.; Schrön, M.; Spieler, D.; Thober, S.; Zink, M. Multiscale Hydrologic Model - mHM - Documentation for version 5.1, In: Samaniego, L. (Ed.). **Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ**, p. 432, 2014.

Serrão, E. A. O; Wanzeler, R. T. S.; Santos, C. A.; Gonçalves, L. D. J. M.; de Lima, A. M. M.; da Rocha, E. J. P. Avaliação estatística entre as estimativas de precipitação da constelação gpm com trmm: uma análise a bacia hidrográfica do rio Solimões. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016.

Singh, V. P. On the theories of hydraulic geometry. **International Journal of Sediment Research**, v. 18, n. 3, p. 196-218, 2003.

Siqueira, V. A.; Paiva, R. C. D. D.; Fleischmann, A. S.; Fan, F. M.; Ruhoff, A. L.; Pontes, P. R. M.; Paris, A.; Calmant, S.; Collischonn, W. Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America. **Hydrology and Earth System Sciences**. Göttingen: Copernicus. Vol. 22, n. 9, p. 4815-4842, 2018a.

Siqueira, V. A.; Paiva, R. C. D. D.; Fleischmann, A. S.; Fan, F. M.; Ruhoff, A. L.; Pontes, P. R. M.; Paris, A.; Calmant, S.; Collischonn, W. Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America. Supplementary Material. **Hydrology and Earth System Sciences**. Göttingen: Copernicus. Vol. 22, n. 9, p. 4815-4842, 2018b.

Sitch, S.; Smith, B.; Prentice, I.C.; Arneth, A.; Bondeau, A.; Cramer, W.; Kaplan, J.O.; Levis, S.; Lucht, W.; Sykes, M.T.; Thonicke, K.; Venevsky, S. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model. **Global Change Biology**, 9(2) 161-185, 2003.

Sousa, H. T.; Pruski, F. F.; Bof, L. H. N.; Cecon, P. R.; Souza, J. R. C. **SISCAH 1.0: Sistema computacional para análises hidrológicas**. Brasília, DF: ANA; Viçosa, MG: UFV, 2009.

Stacke, T.; Hagemann, S. Development and evaluation of a global dynamical wetlands extent scheme. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 16(8) 2915-2933, 2012.

Tan, P.; Steinbach, M.; Kumar, V. **Introduction to Data Mining**. Pearson Addison Wesley, 769 p., 2006.

Thompson, J.R.; Sorenson, H.R.; Gavin, H.; Refsgaard, A. Application of the coupled MIKE SHE/ MIKE SHE 11 modeling system to a lowland wet grassland in southeast England. **Journal of Hydrology**, v. 293, n. 1-4, p. 151-179. 2004.

Todini, E. Hydrological catchment modelling: past, present and future. **Hydrology and Earth System Sciences**, Oxford, GB, v. 11, n. 1, p. 468-482, 2007.

Todini, E. The ARNO rainfall—runoff model. **Journal of Hydrology**, v. 175, n. 1, p. 339-382, 1996.

Tucci, C. E. **Modelos Hidrológicos**. UFRGS, 1998.

Tucci, C. E. M. **Modelos hidrológicos distribuídos**. Rhama, Porto Alegre, 2010.

Van Beek, L. P. H.; Bierkens, M. F. P. **The Global Hydrological Model PCR-GLOBWB: Conceptualization, Parameterization and Verification**, Report Department of Physical Geography, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands. 2009.

Villar, J. C. E.; Ronchail, J.; Guyot, J. L.; Cochonneau, G.; Naziano, F.; Lavado, W.; Oliveira, E.; Pombosa, R; Vauchel, P.. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 29, n. 11, p. 1574-1594, 2009.

Widén-Nilsson, E., Gong, L., Halldin, S., Xu, C.-Y. Model performance and parameter behavior for varying time aggregations and evaluation criteria in the WASMOD-M global water balance model. **Water Resour. Res.** 45, 2009.

Wigmosta, M. S.; Vail, L. W; Lettenmaier, D. P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. **Water Resources Research**, 30(6), 1665-1679, 1994.

Wisser, D.; Fekete, B.M.; Vorosmarty, C.J.; Schumann, A.H. Reconstructing 20th century global hydrography: a contribution to the Global Terrestrial Network- Hydrology (GTN-H). **Hydrology and Earth System Sciences**, 14(1), 1-24, 2010.

Wood, E. F.; Roundy, J. K.; Troy, T. J.; Van Beek, L. P. H.; Bierkens, M. F.; Blyth, E., ..., Gochis, D. Hyperresolution global land surface modeling: Meeting a grand challenge for monitoring Earth's terrestrial water. *Water Resources Research*, v. 47, n. 5, 2011.

Yamazaki, D.; de Almeida, G. A. M.; Bates, P. D. Improving computational efficiency in global river models by implementing the local inertial flow equation and a vector-based river network map. **Water Resour. Res.**, v.49, 1–15, 2013.

Yamazaki, D.; Kanae, S.; Kim, H.; Oki, T. A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model. **Water Resources Research**, v.

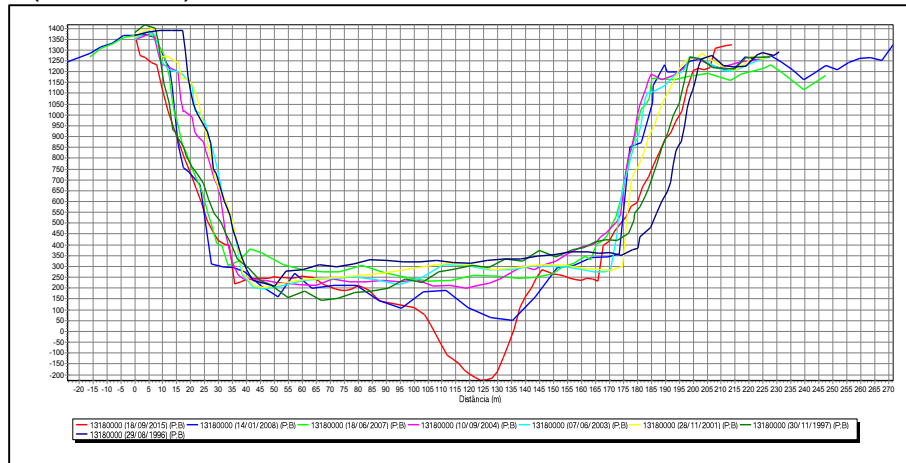
47, n. 4, 2011.

Yang, Z.-L., Cai, X., Zhang, G., Tavakoly, A.A., Jin, Q., Meyer, L.H., Guan, X. The Community Noah Land Surface Model with Multi-parameterization Options (Noah-MP) e Technical Description. **Center for Integrated Earth System Science**. Department of Geological Sciences, The University of Texas at Austin, Austin, TX, USA, p. 72, 2011.

APÊNDICES

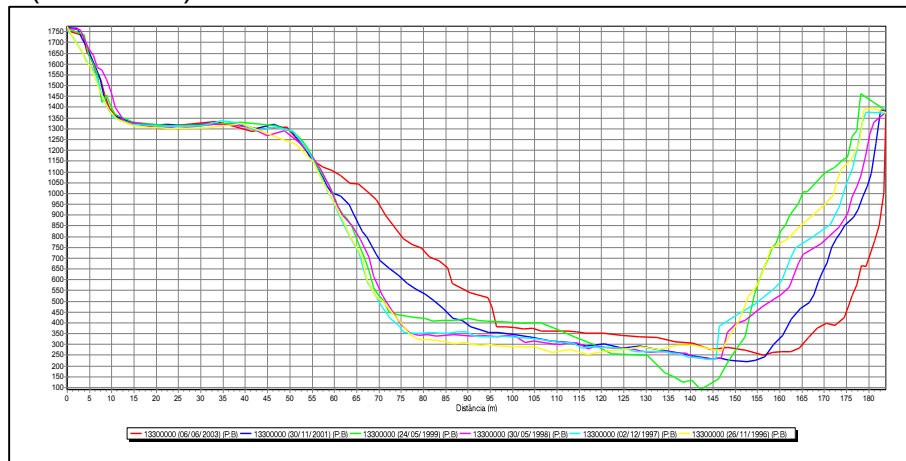
APÊNDICE A - Gráficos dos perfis transversais das estações fluviométricas analisadas neste estudo

Figura A1 - Gráfico de perfis transversais da estação de Manoel Urbano (13180000).



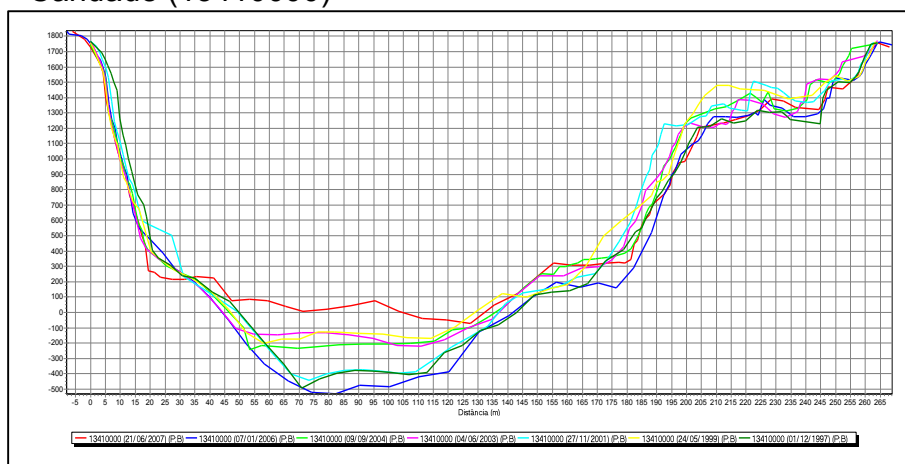
Fonte: a autora.

Figura A2 - Gráfico de perfis transversais da estação de Seringal São José (13300000).



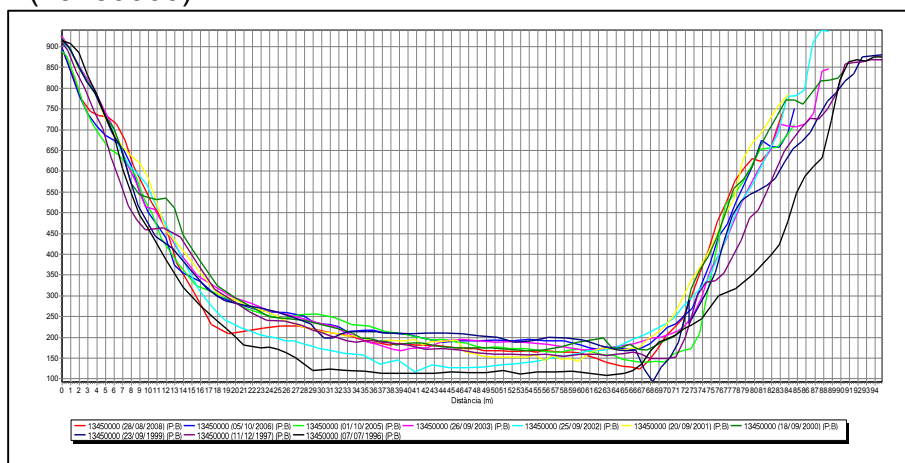
Fonte: a autora.

Figura A3 - Gráfico de perfis transversais da estação de Seringal da Caridade (13410000)



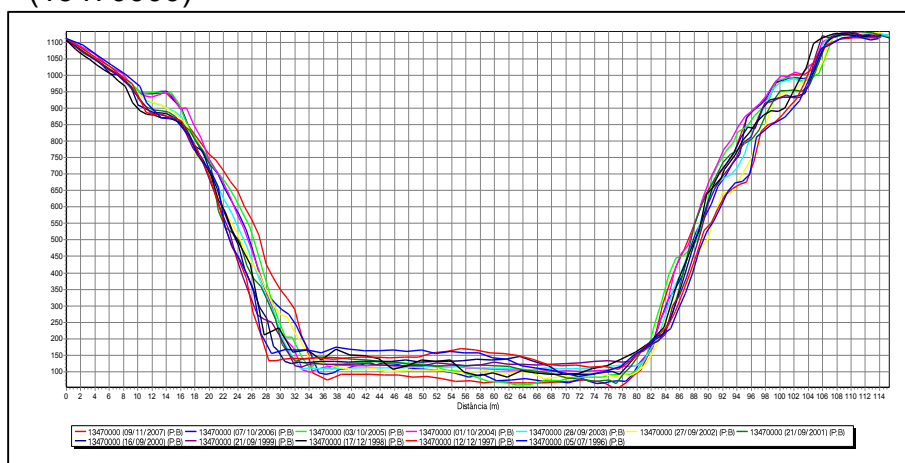
Fonte: a autora.

Figura A4 - Gráfico de perfis transversais da estação de Assis Brasil (13450000)



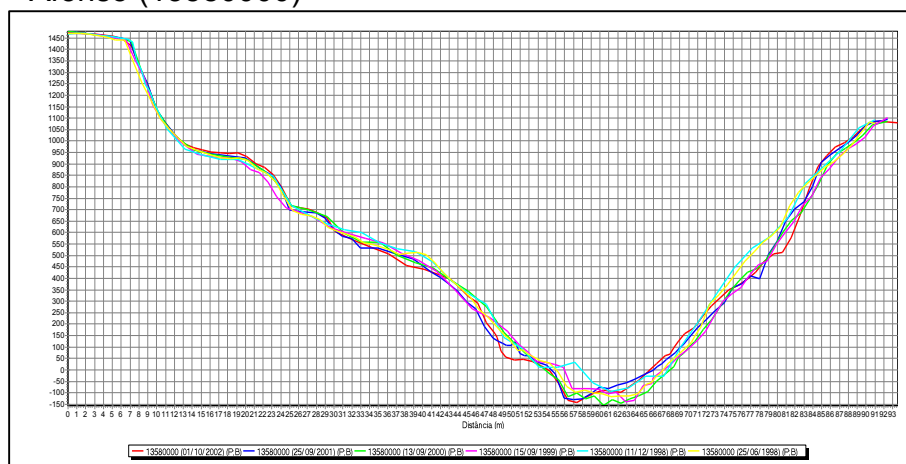
Fonte: a autora.

Figura A5 - Gráfico de perfis transversais da estação de Brasília (13470000)



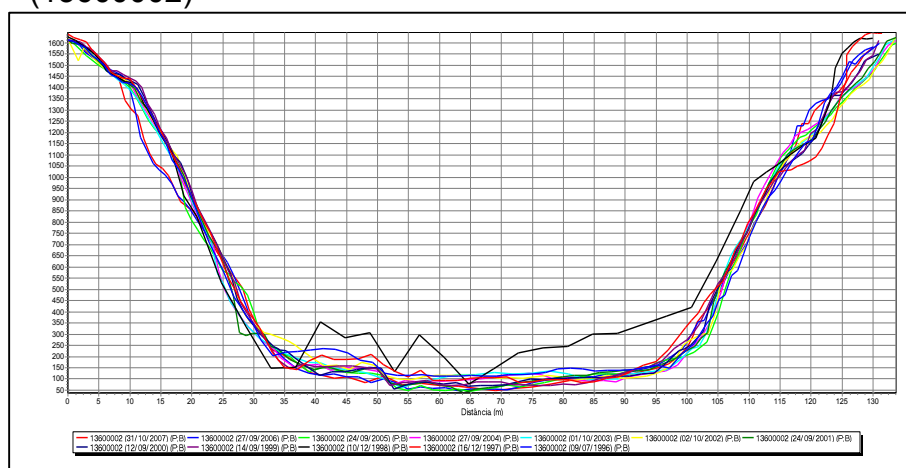
Fonte: a autora.

Figura A6 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Santo Afonso (13580000)



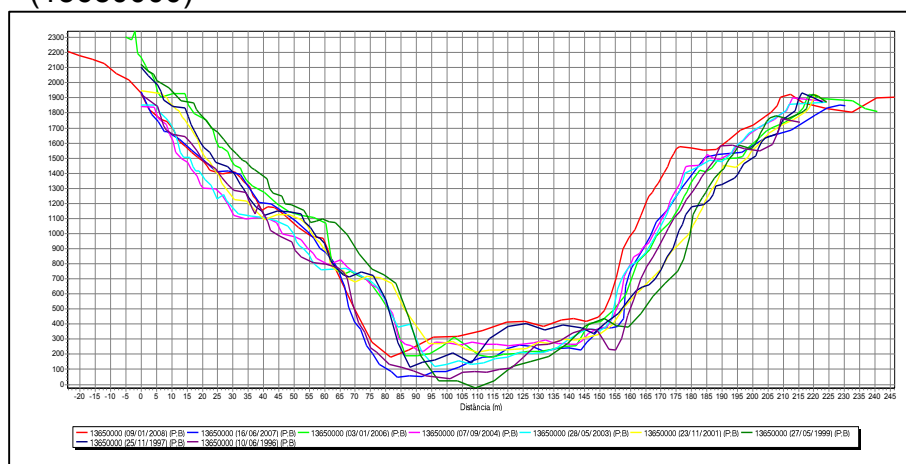
Fonte: a autora.

Figura A7 - Gráfico de perfis transversais da estação de Rio Branco (13600002)



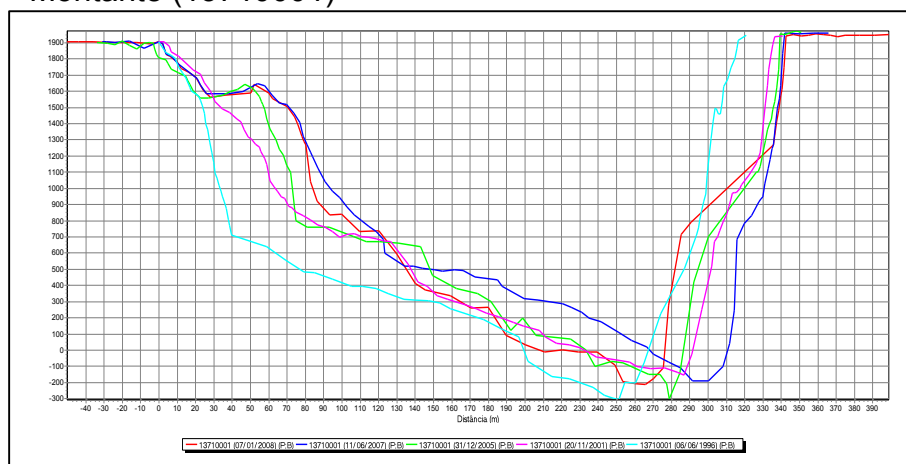
Fonte: a autora.

Figura A8 - Gráfico de perfis transversais da estação de Floriano Peixoto (13650000)



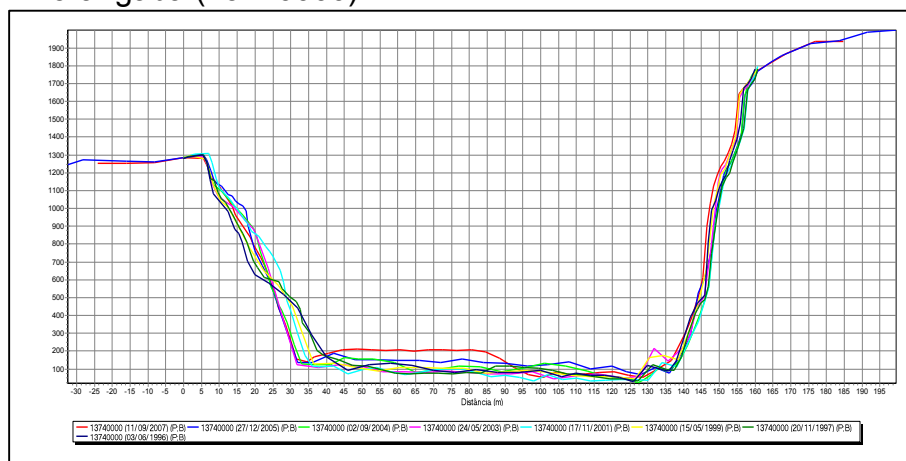
Fonte: a autora.

Figura A9 - Gráfico de perfis transversais da estação de Valparaíso – Montante (13710001)



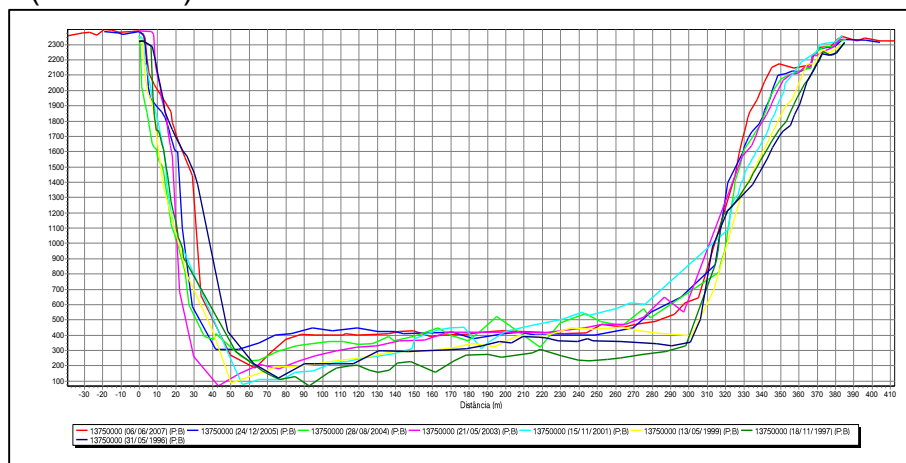
Fonte: a autora.

Figura A10 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Borangaba (13740000)



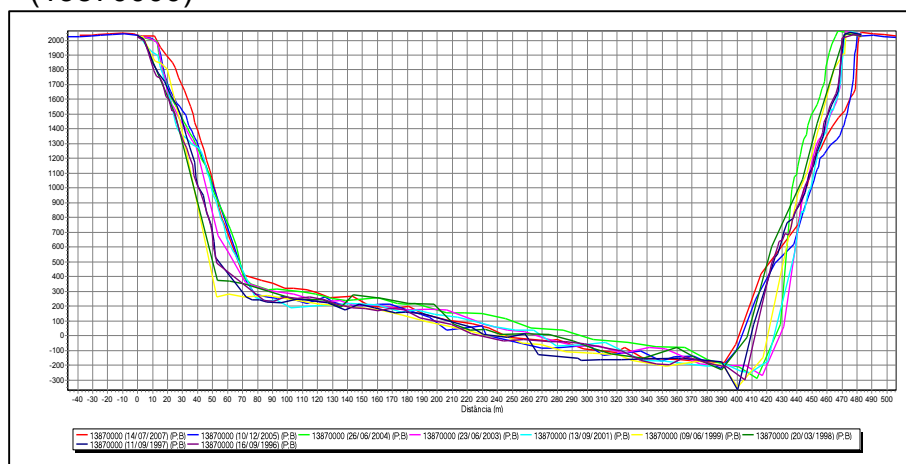
Fonte: a autora.

Figura A11 - Gráfico de perfis transversais da estação de Seringal Fortaleza (13750000)



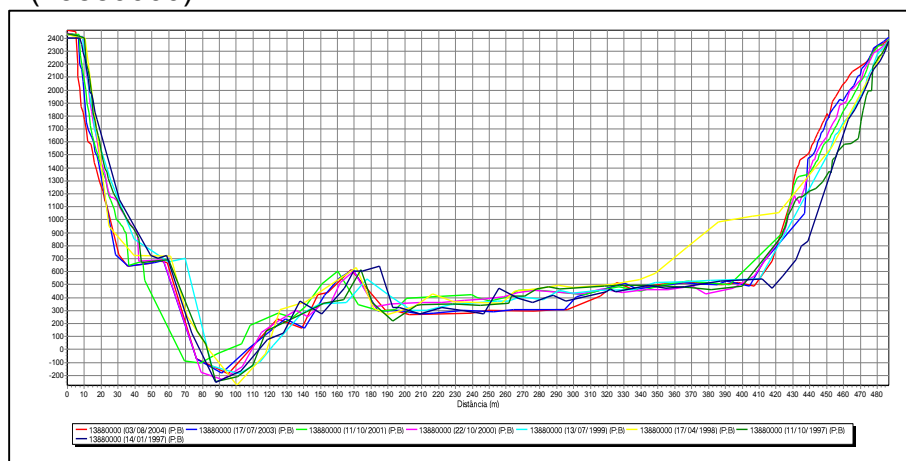
Fonte: a autora.

Figura A12 - Gráfico de perfis transversais da estação de Lábrea (13870000)



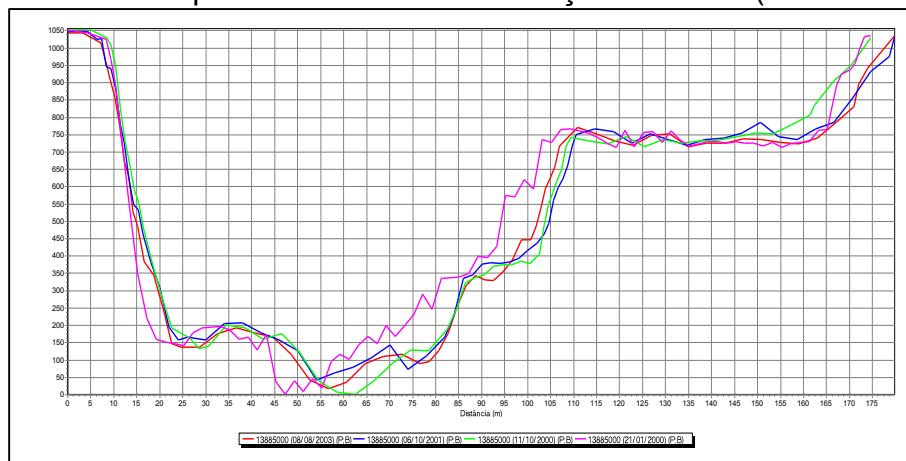
Fonte: a autora.

Figura A13 - Gráfico de perfis transversais da estação de Canutama (13880000)



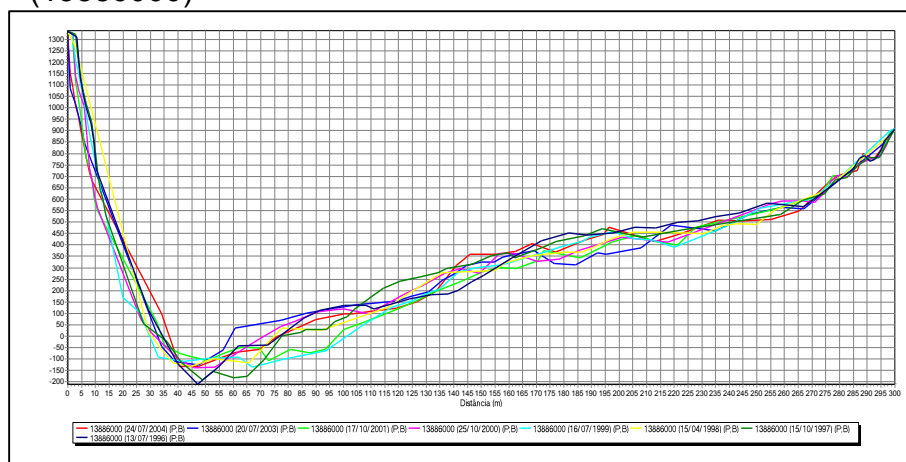
Fonte: a autora.

Figura A14 - Gráfico de perfis transversais da estação de Cristo (13885000)



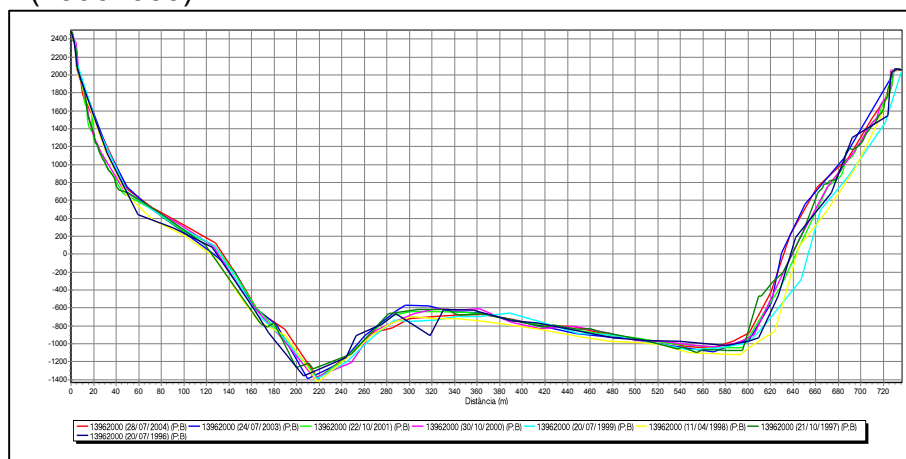
Fonte: a autora.

Figura A15 - Gráfico de perfis transversais da estação de Bacaba (13886000)



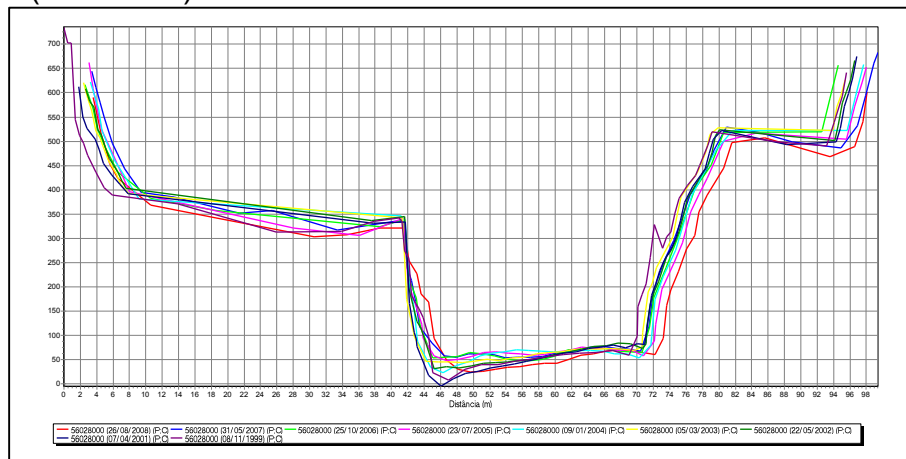
Fonte: a autora.

Figura A16 - Gráfico de perfis transversais da estação de Arumã - Jusante (13962000)



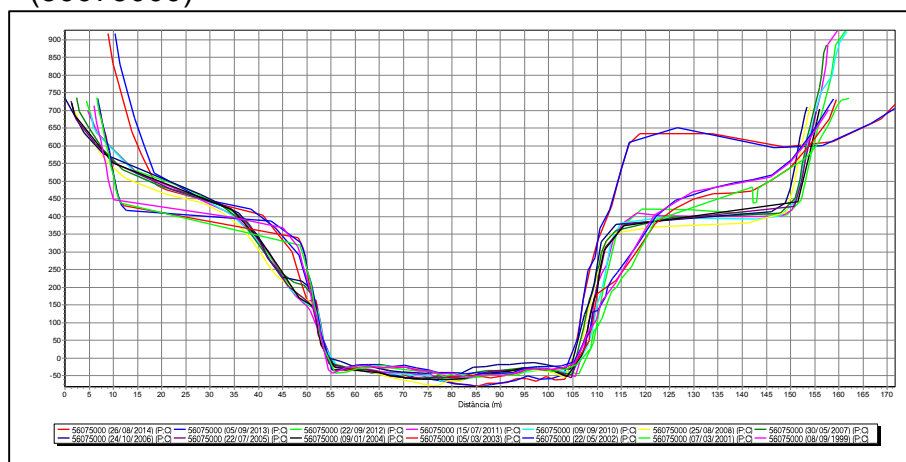
Fonte: a autora.

Figura A17 - Gráfico de perfis transversais da estação de Piranga (56028000)



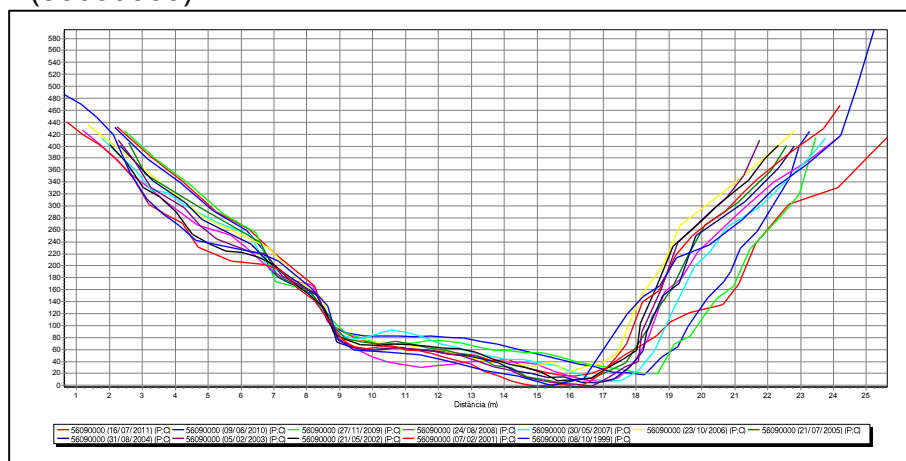
Fonte: a autora.

Figura A18 - Gráfico de perfis transversais da estação de Porto Firme (56075000)



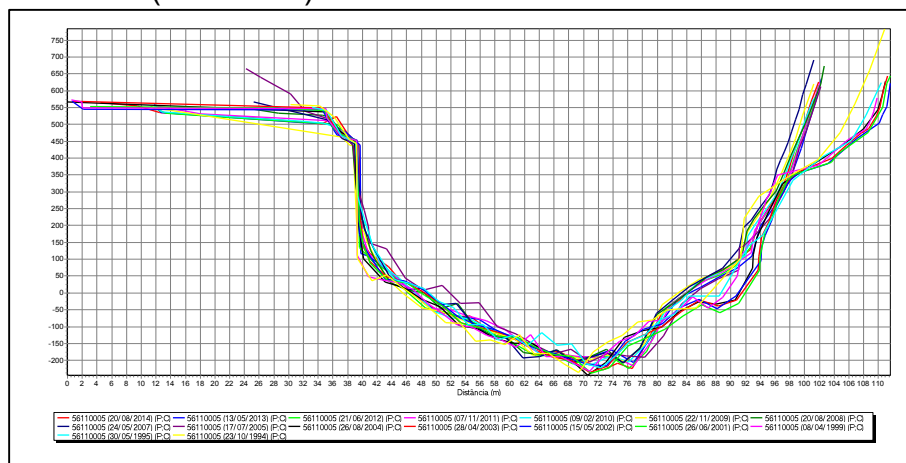
Fonte: a autora.

Figura A19 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Varginha (56090000)



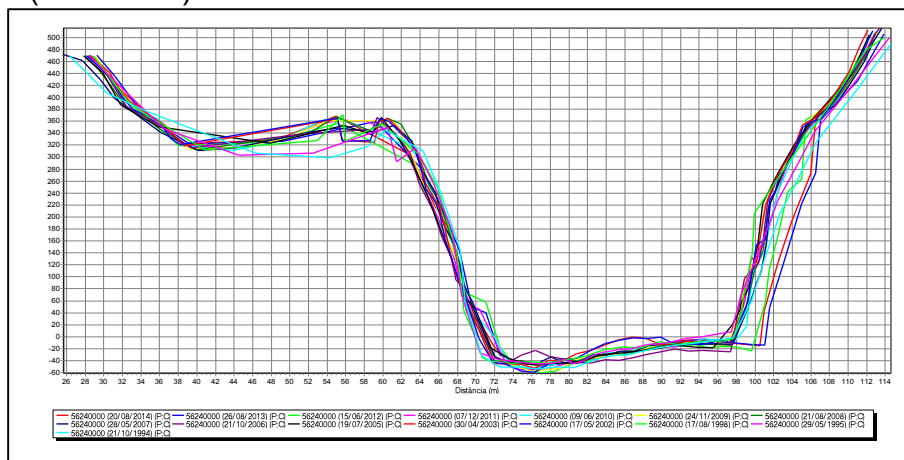
Fonte: a autora.

Figura A20 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ponte Nova Jusante (56110005)



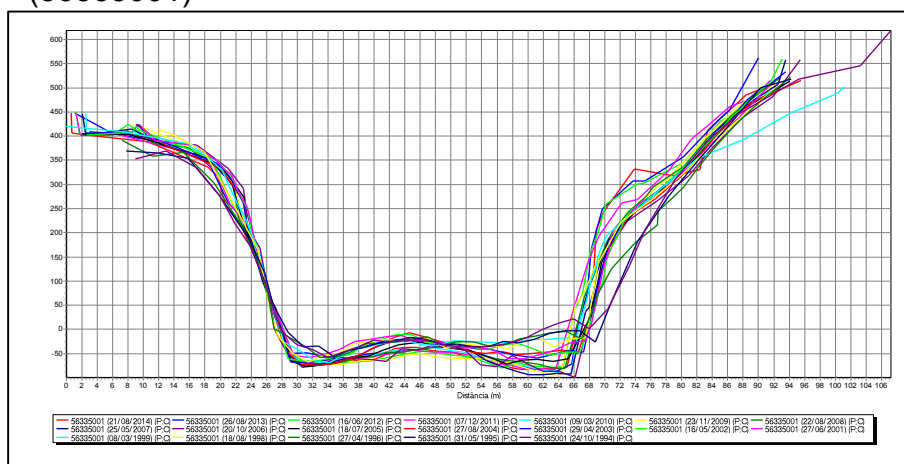
Fonte: a autora.

Figura A21 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Paraíso (56240000)



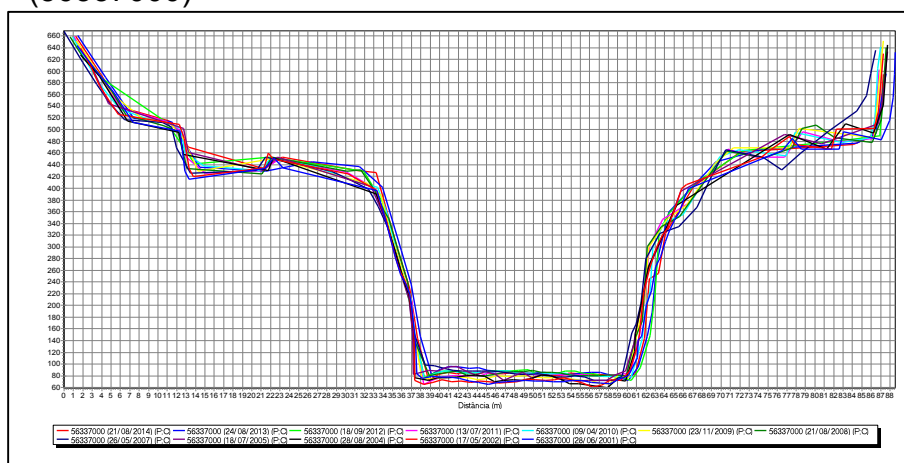
Fonte: a autora.

Figura A22 - Gráfico de perfis transversais da estação de Acaiaca Jusante (56335001)



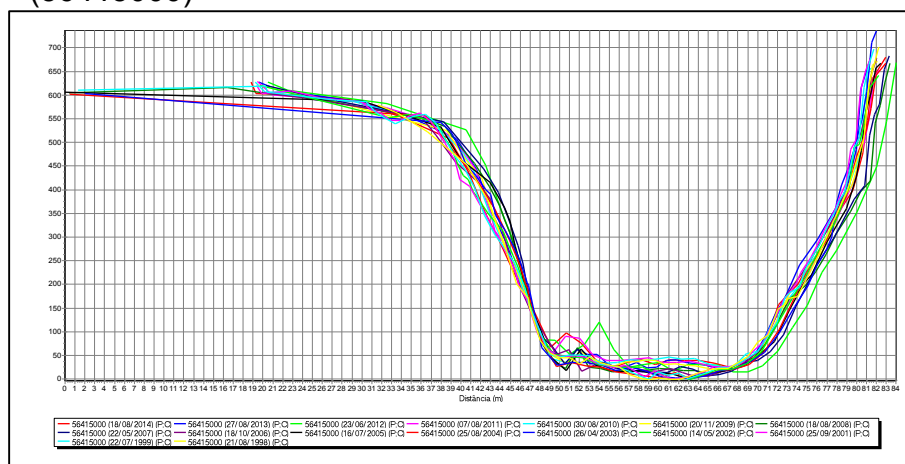
Fonte: a autora.

Figura A23 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Ocidente (56337000)



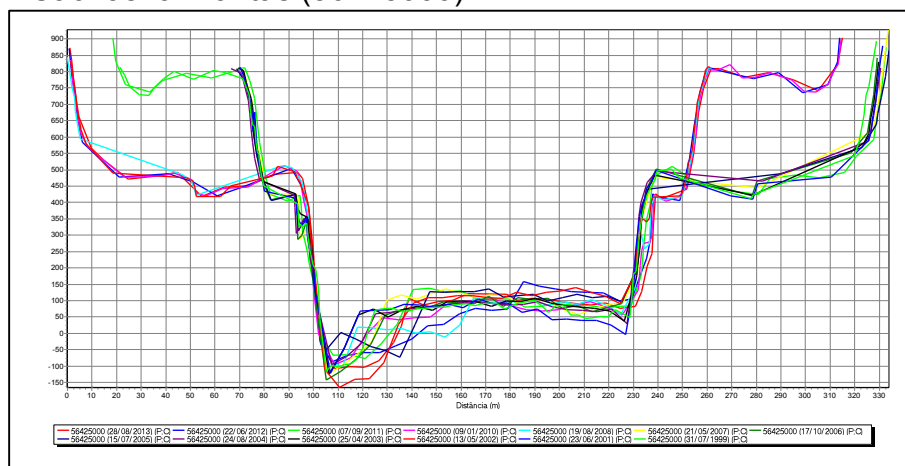
Fonte: a autora.

Figura A24 - Gráfico de perfis transversais da estação de Rio Casca (56415000)



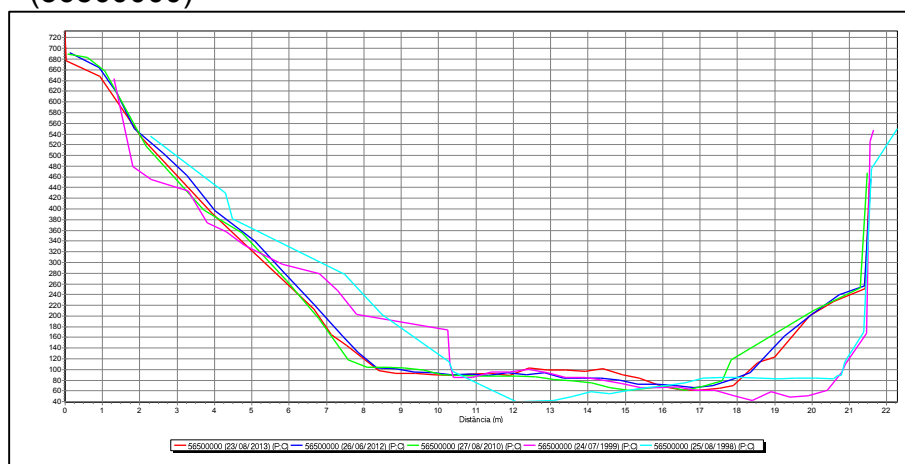
Fonte: a autora.

Figura A25 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Cachoeira D'antas (56425000)



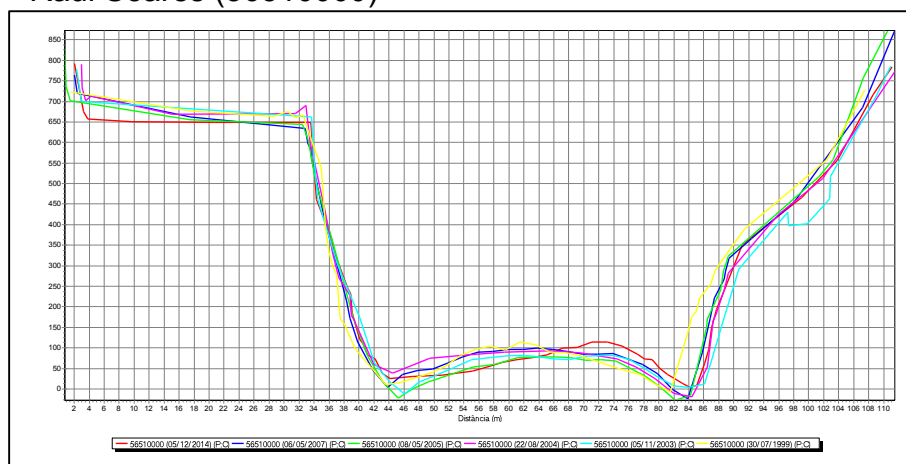
Fonte: a autora.

Figura A26 - Gráfico de perfis transversais da estação de Abre Campo (56500000)



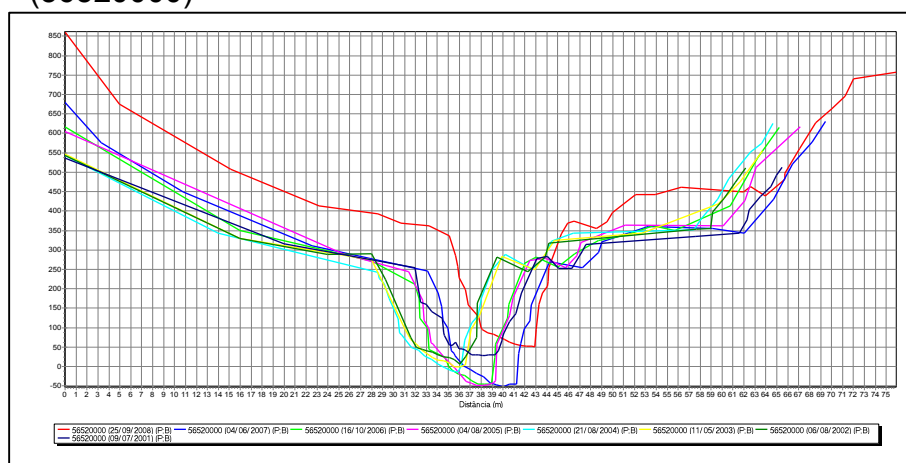
Fonte: a autora.

Figura A27 - Gráfico de perfis transversais da estação de Instituto Florestal Raul Soares (56510000)



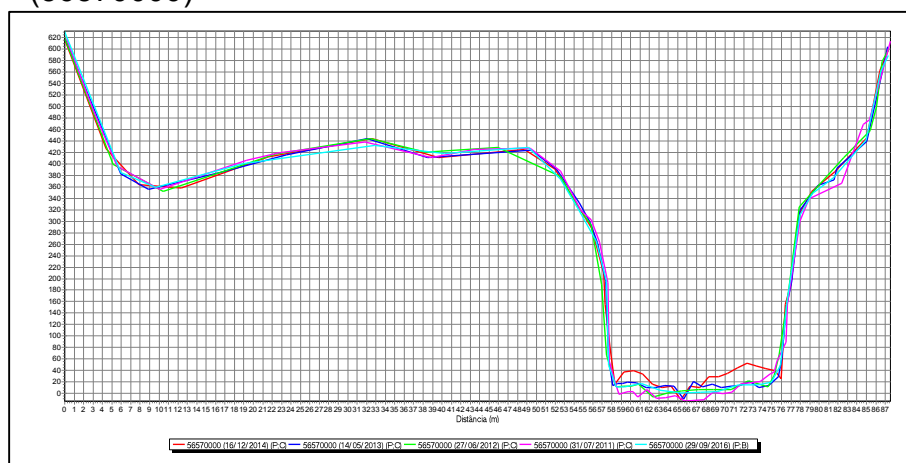
Fonte: a autora.

Figura A28 - Gráfico de perfis transversais da estação de Vermelho Velho (56520000)



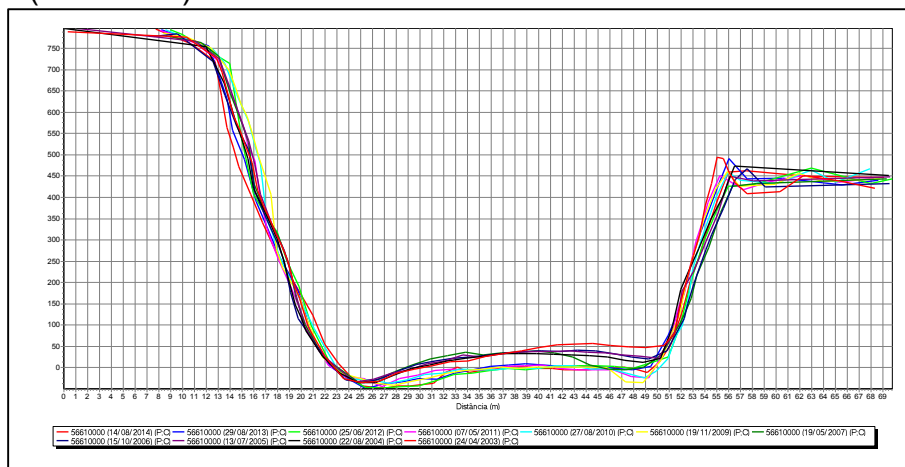
Fonte: a autora.

Figura A29 - Gráfico de perfis transversais da estação de Pingo D'água (56570000)



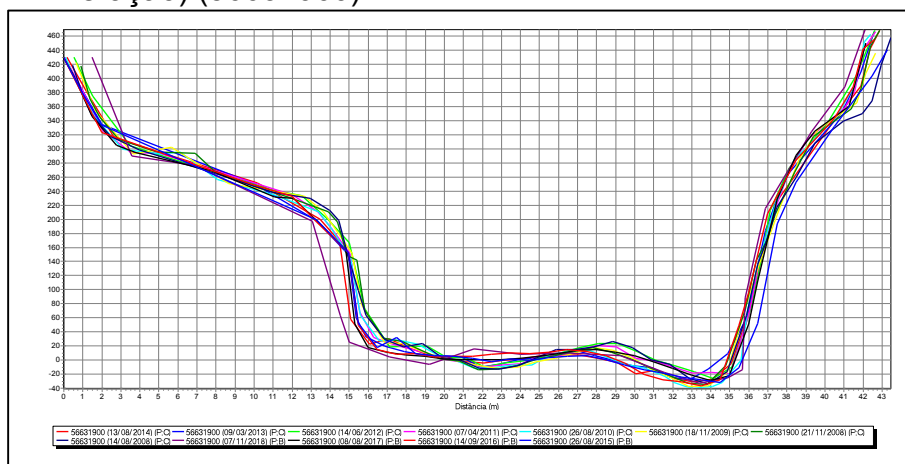
Fonte: a autora.

Figura A30 - Gráfico de perfis transversais da estação de Rio Piracicaba (56610000)



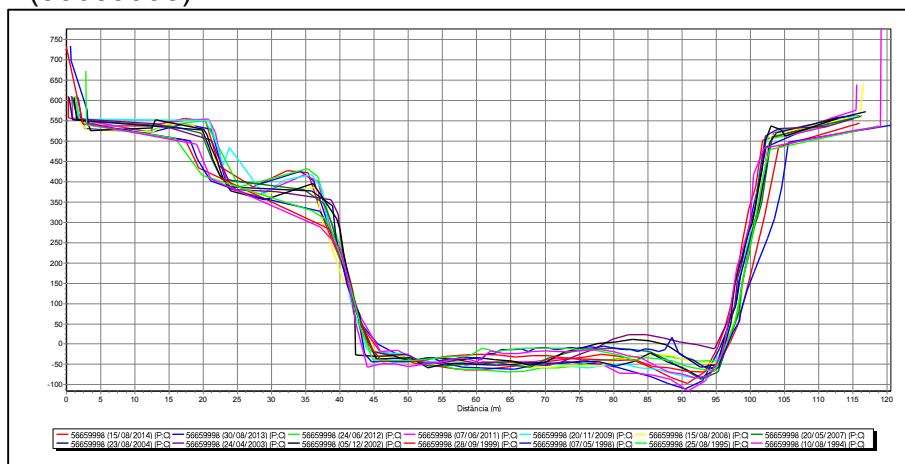
Fonte: a autora.

Figura A31 - Gráfico de perfis transversais da estação de ETA (São Bento Mineração) (56631900)



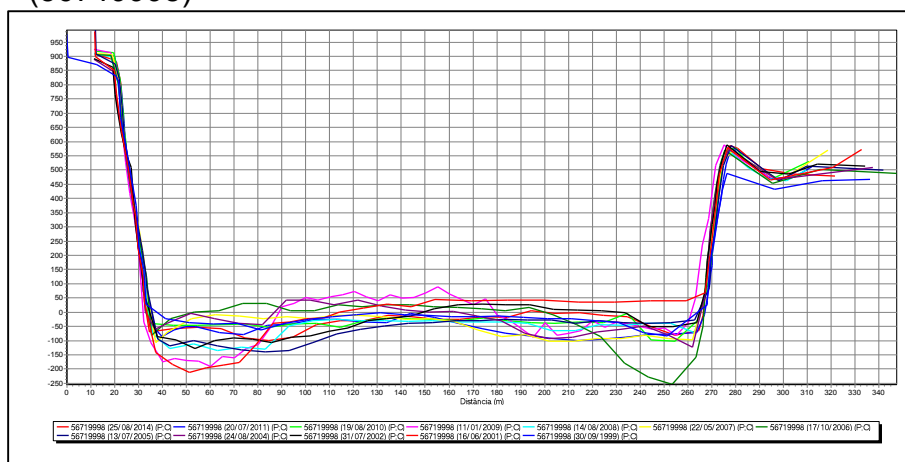
Fonte: a autora.

Figura A32 - Gráfico de perfis transversais da estação de Nova Era IV (56659998)



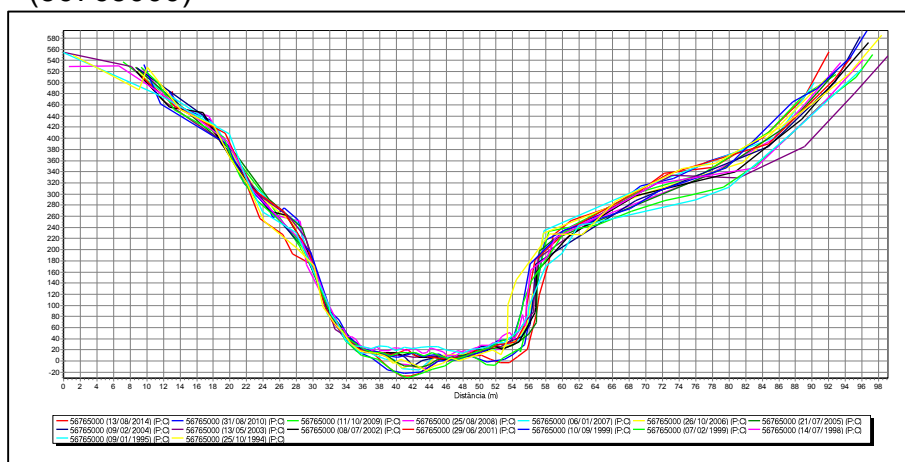
Fonte: a autora.

Figura A33 - Gráfico de perfis transversais da estação de Belo Oriente (56719998)



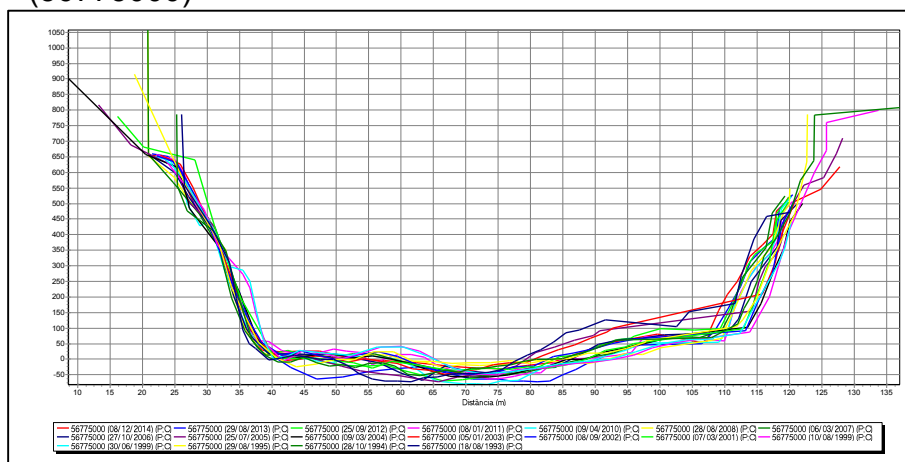
Fonte: a autora.

Figura A34 - Gráfico de perfis transversais da estação de Dom Joaquim (56765000)



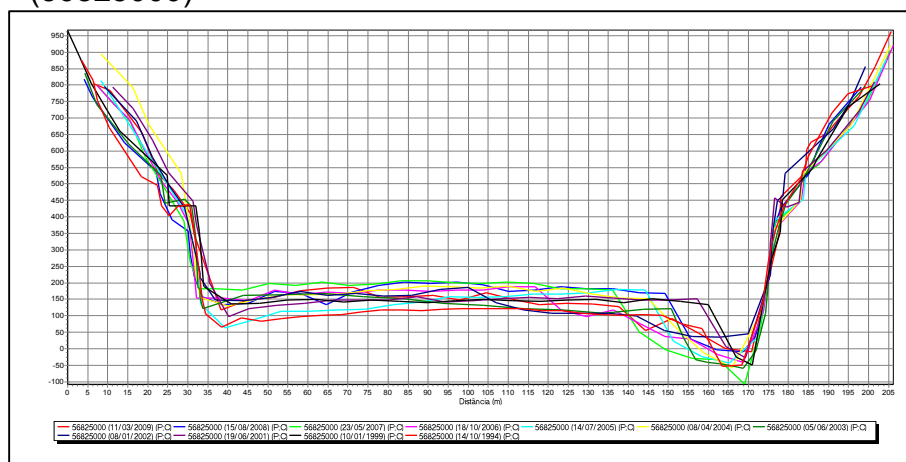
Fonte: a autora.

Figura A35 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ferros (56775000)



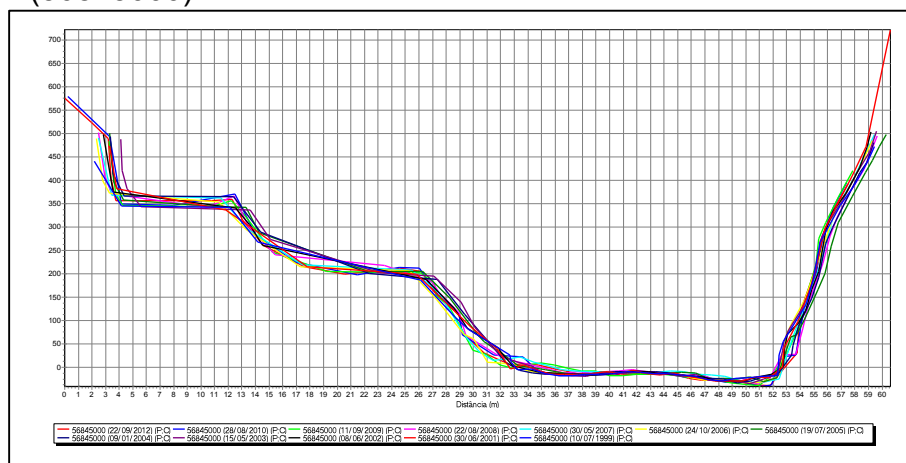
Fonte: a autora.

Figura A36 - Gráfico de perfis transversais da estação de Naque Velho (56825000)



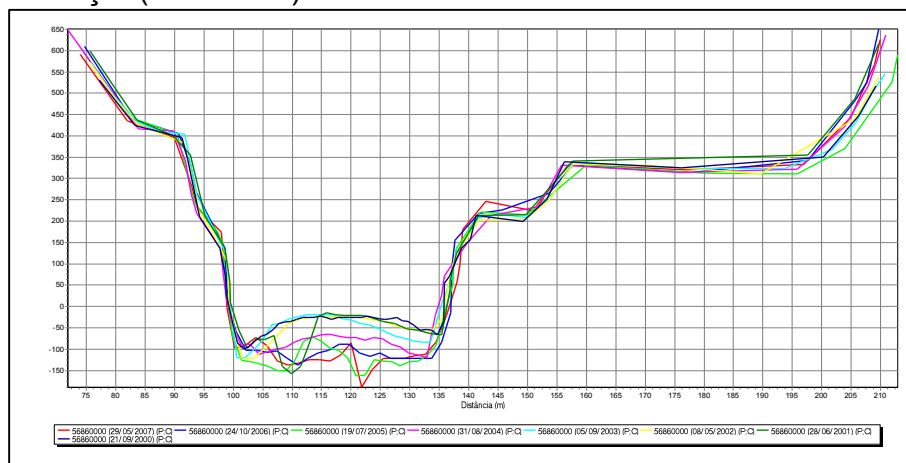
Fonte: a autora.

Figura A37 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Corrente (56845000)



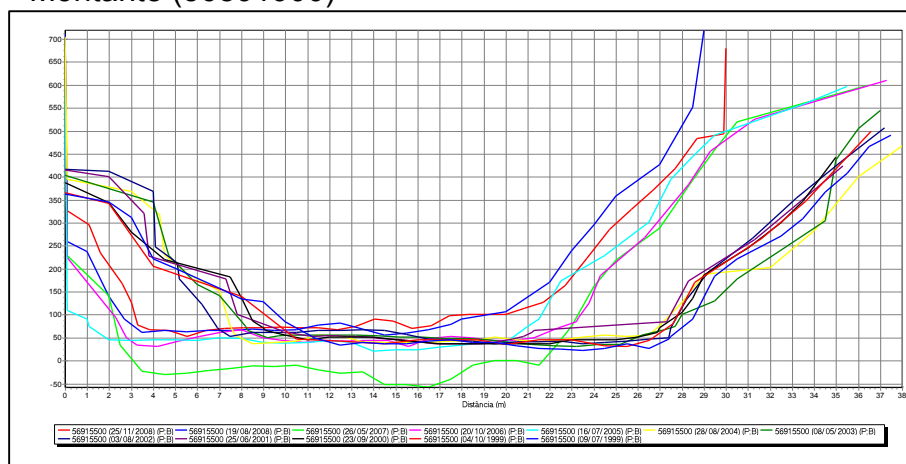
Fonte: a autora.

Figura A38 - Gráfico de perfis transversais da estação de São Pedro Do Suaçuí (56860000)



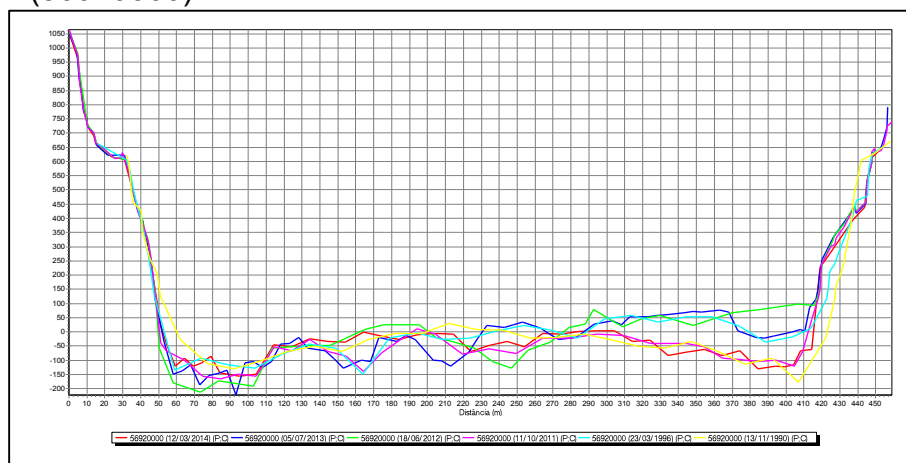
Fonte: a autora.

Figura A39 - Gráfico de perfis transversais da estação de Vila Matias Montante (56891900)



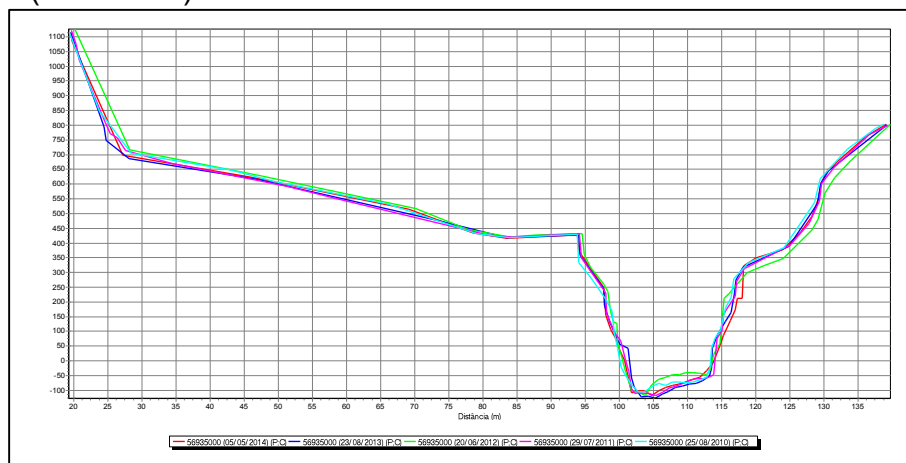
Fonte: a autora.

Figura A40 - Gráfico de perfis transversais da estação de Tumiritinga (56920000)



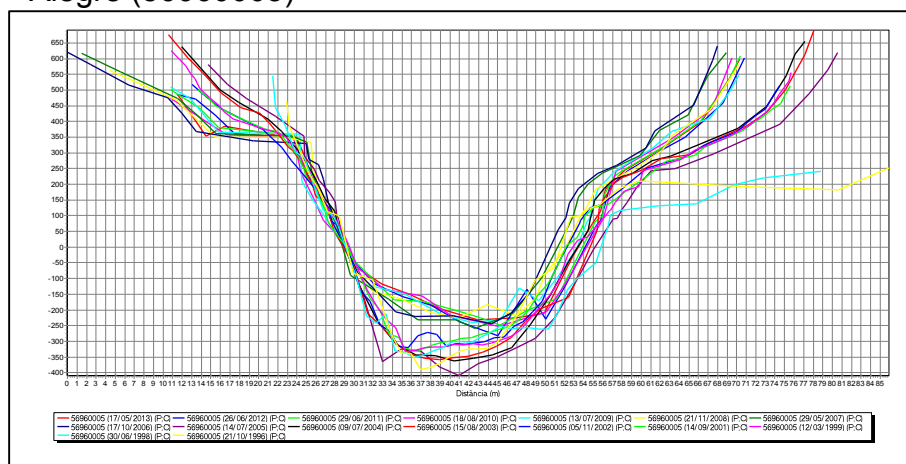
Fonte: a autora.

Figura A41 - Gráfico de perfis transversais da estação de Dom Cavati (56935000)



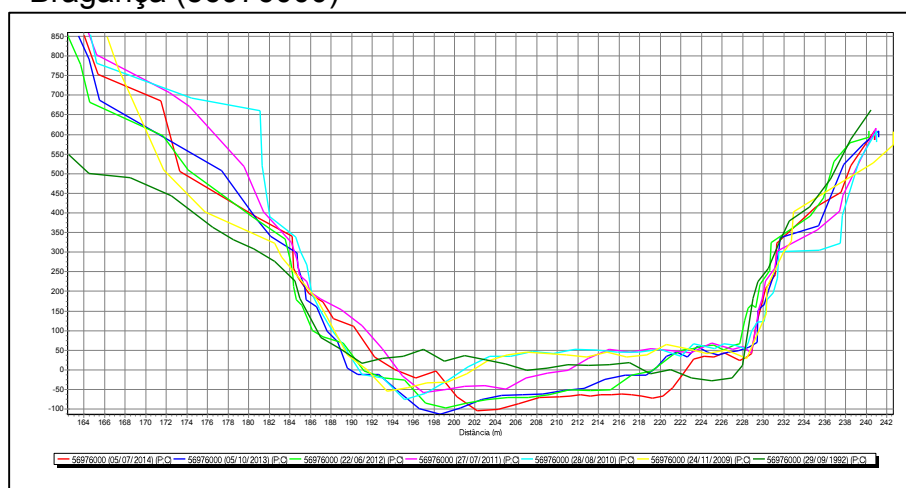
Fonte: a autora.

Figura A42 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Vargem Alegre (56960005)



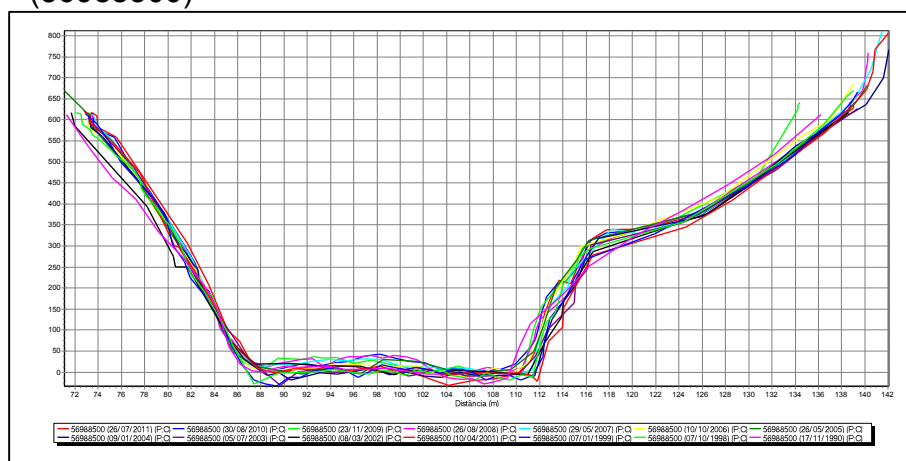
Fonte: a autora.

Figura A43 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Bragança (56976000)



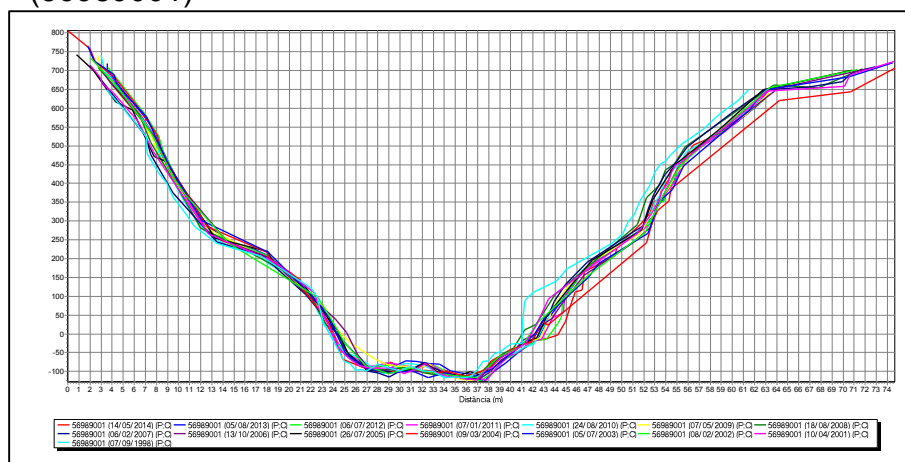
Fonte: a autora.

Figura A44 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ipanema (56988500)



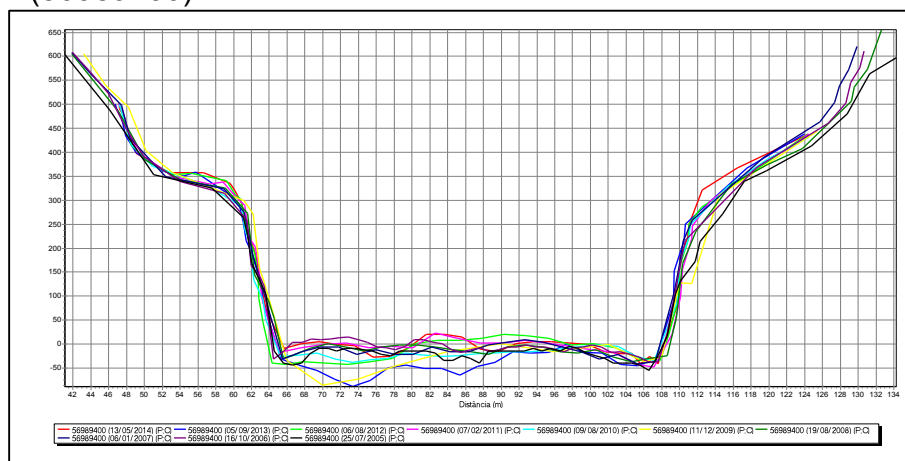
Fonte: a autora.

Figura A45 - Gráfico de perfis transversais da estação de Mutum (56989001)



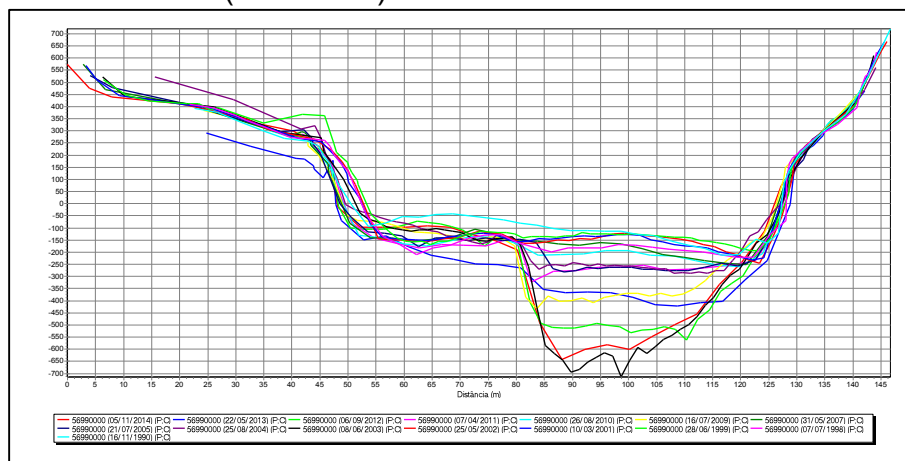
Fonte: a autora.

Figura A46 - Gráfico de perfis transversais da estação de Assarai Montante (56989400).



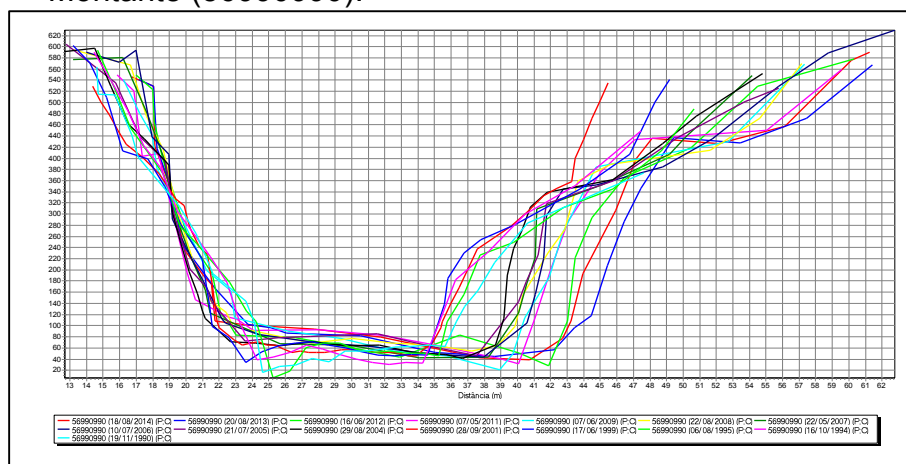
Fonte: a autora.

Figura A47 - Gráfico de perfis transversais da estação de São Sebastião da Encruzilhada (56990000).



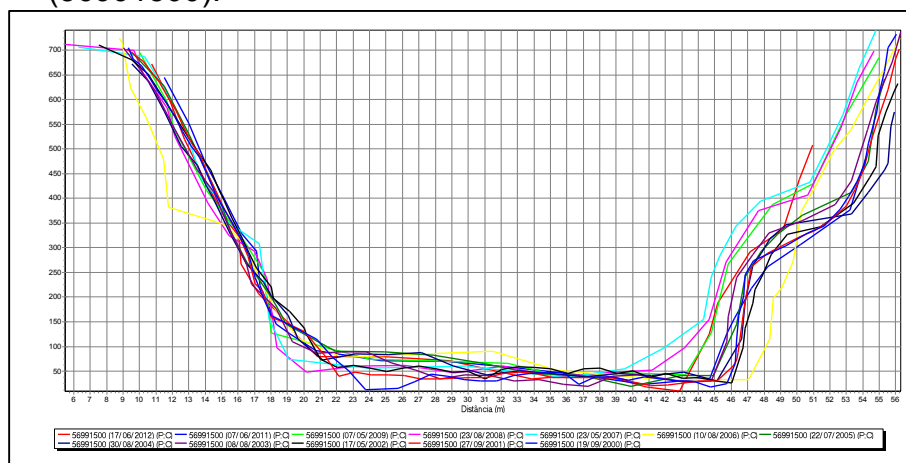
Fonte: a autora.

Figura A48 - Gráfico de perfis transversais da estação de Afonso Cláudio Montante (56990990).



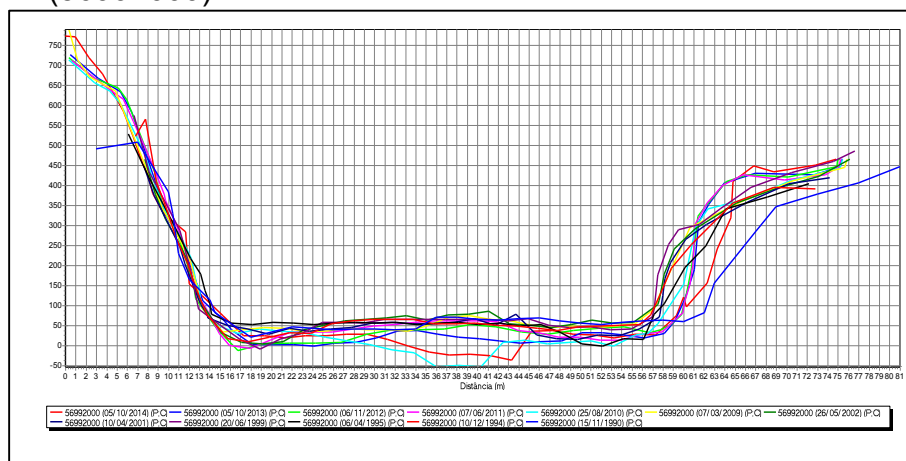
Fonte: a autora.

Figura A49 - Gráfico de perfis transversais da estação de Laranja da Terra (56991500).



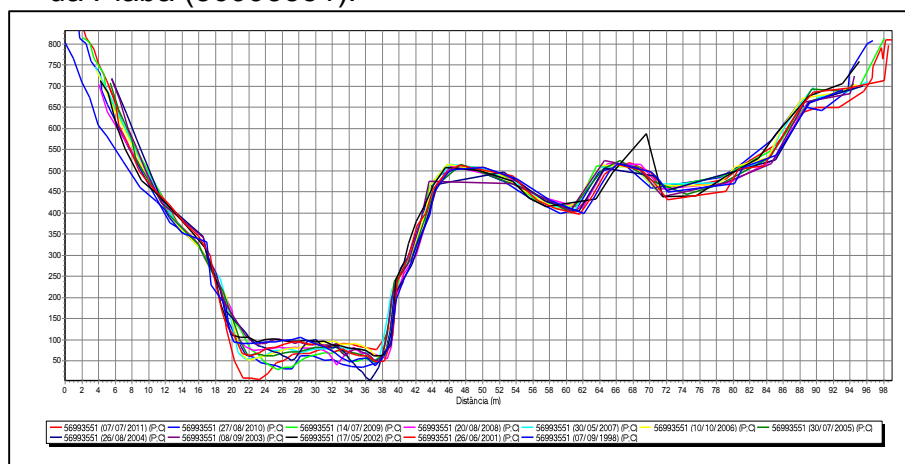
Fonte: a autora.

Figura A50 - Gráfico de perfis transversais da estação de Baixo Guandu (56992000).



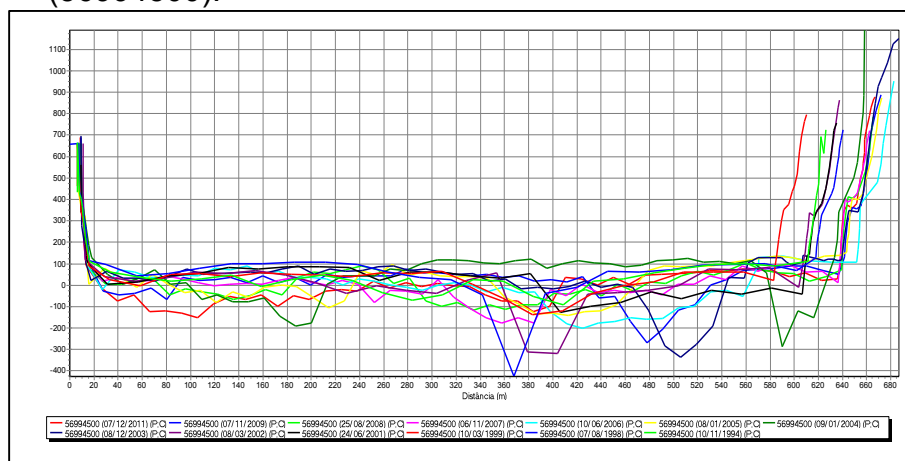
Fonte: a autora.

Figura A51 - Gráfico de perfis transversais da estação de Jusante Córrego da Piaba (56993551).



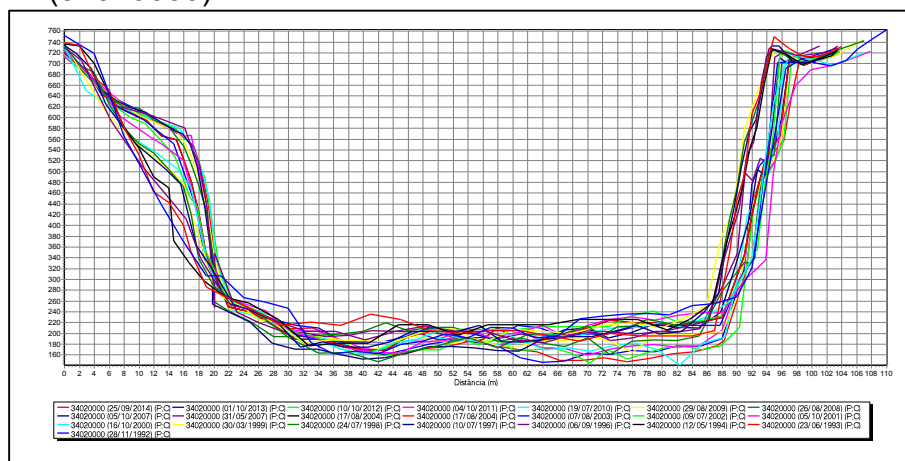
Fonte: a autora.

Figura A52 - Gráfico de perfis transversais da estação de Colatina (56994500).



Fonte: a autora.

Figura A53 - Gráfico de perfis transversais da estação de Alto Parnaíba (34020000).



Fonte: a autora.

Figura A54 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Paracati II (34040500).

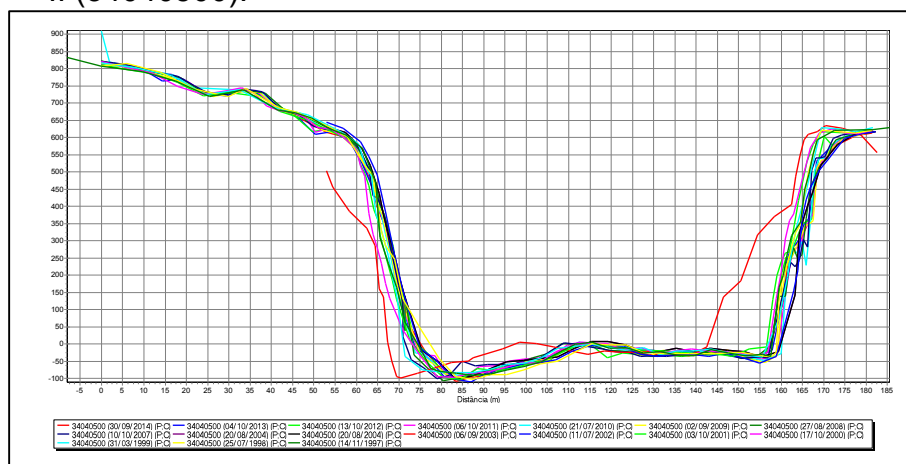


Figura A55 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ribeiro Gonçalves (34060000).

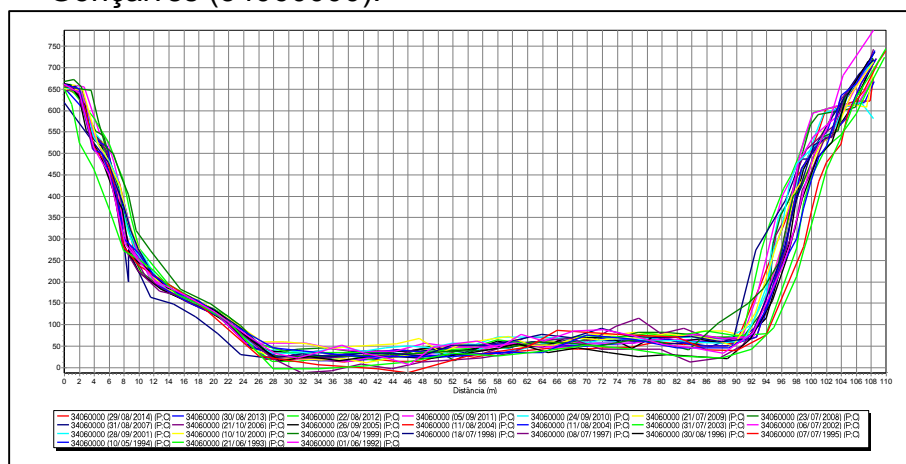


Figura A56 - Gráfico de perfis transversais da estação de Sítio do Velho (34070000).

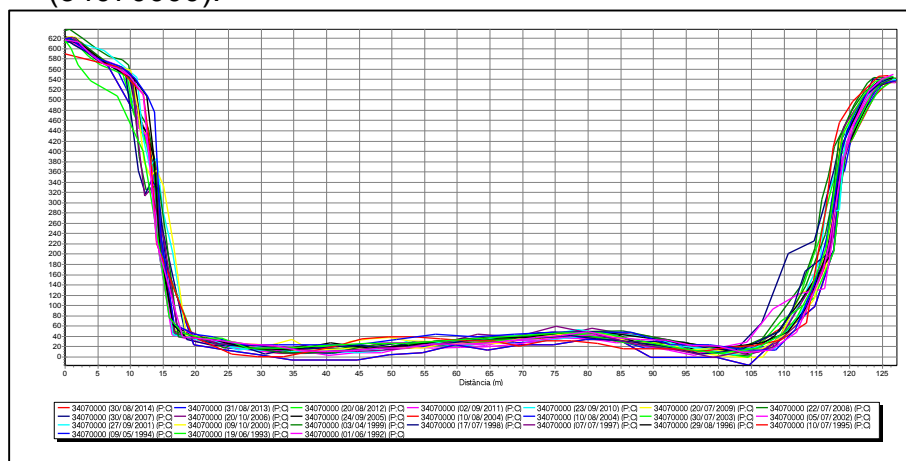


Figura A57 - Gráfico de perfis transversais da estação de Balsas (34130000).

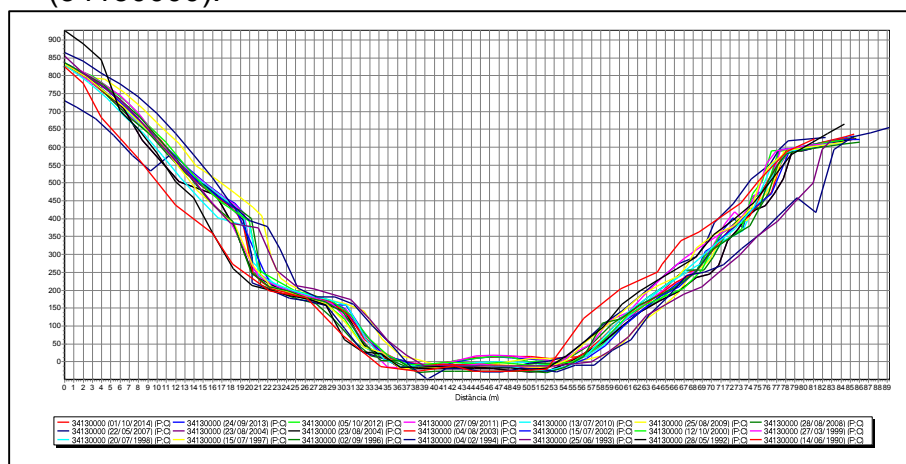


Figura A58 - Gráfico de perfis transversais da estação de Maravilha BR-230 (34140000).

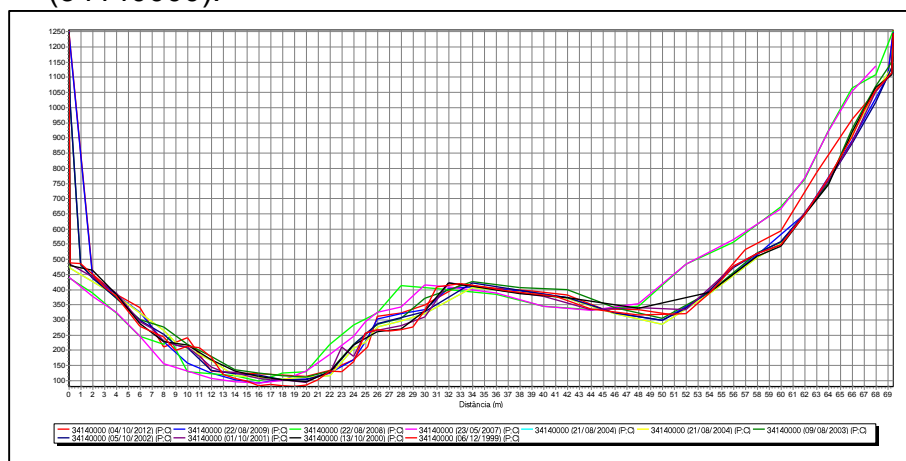


Figura A59 - Gráfico de perfis transversais da estação de Balsinhas BR-324 (34142000).

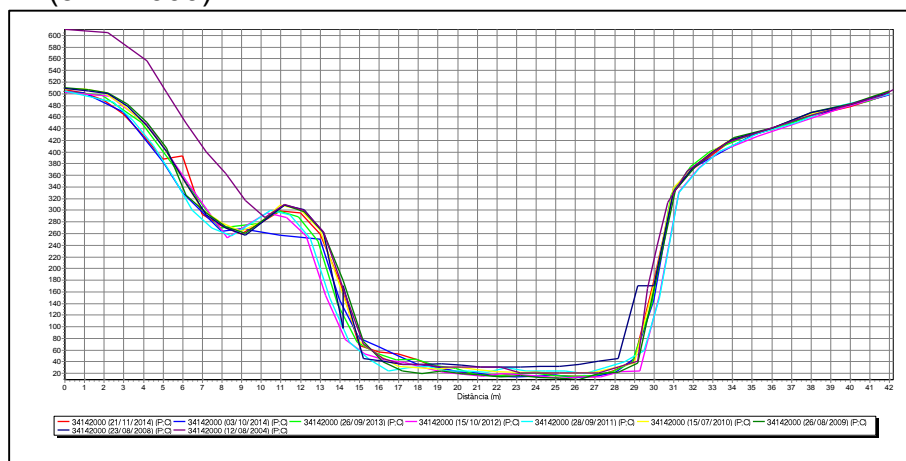
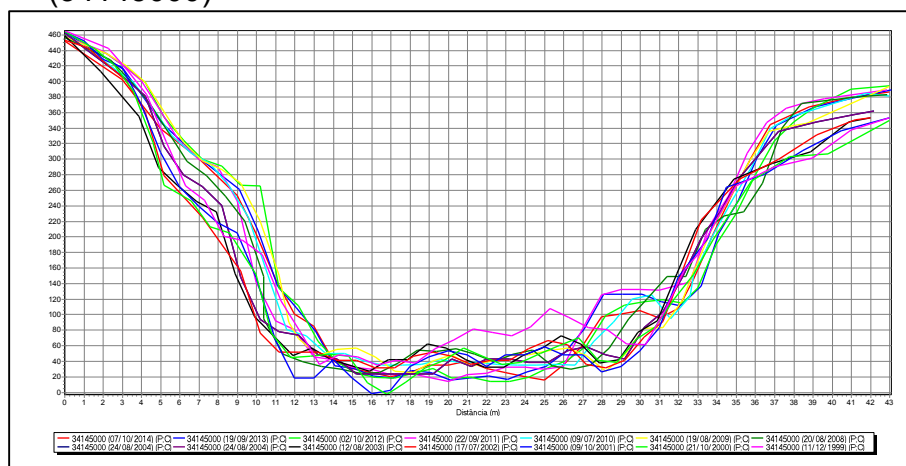
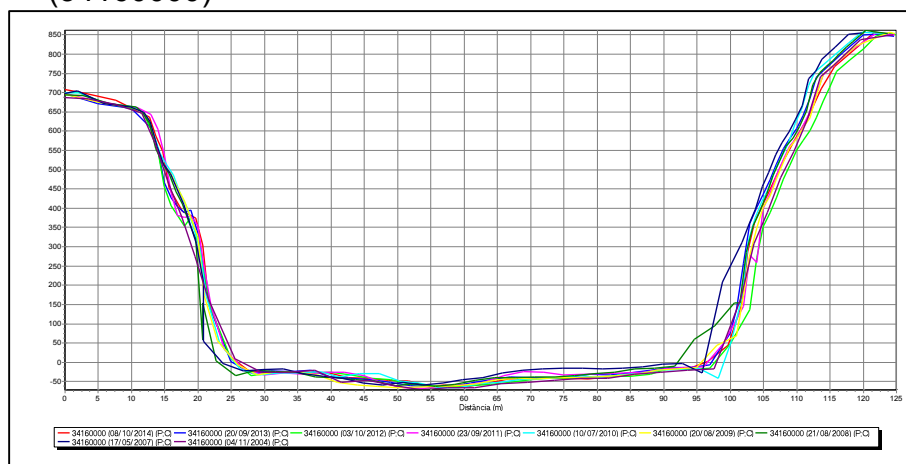


Figura A60 - Gráfico de perfis transversais da estação de Neves BR-230 (34145000)



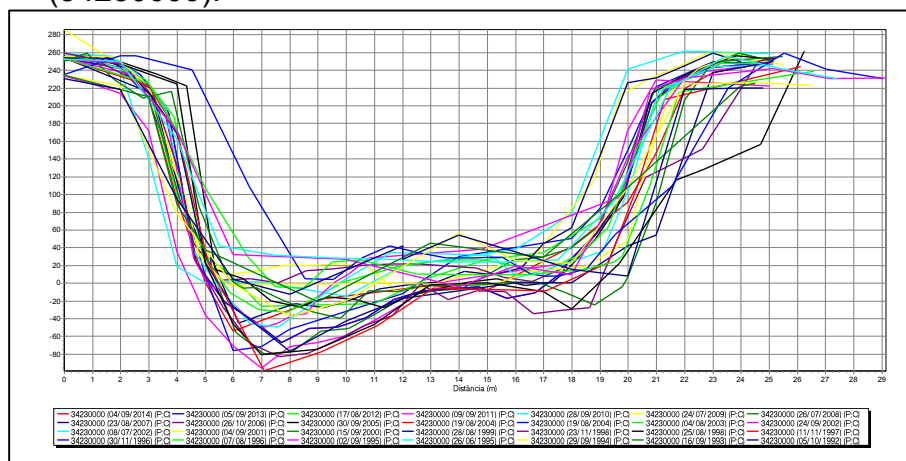
Fonte: a autora.

Figura A61 - Gráfico de perfis transversais da estação de Sambaíba (34160000)



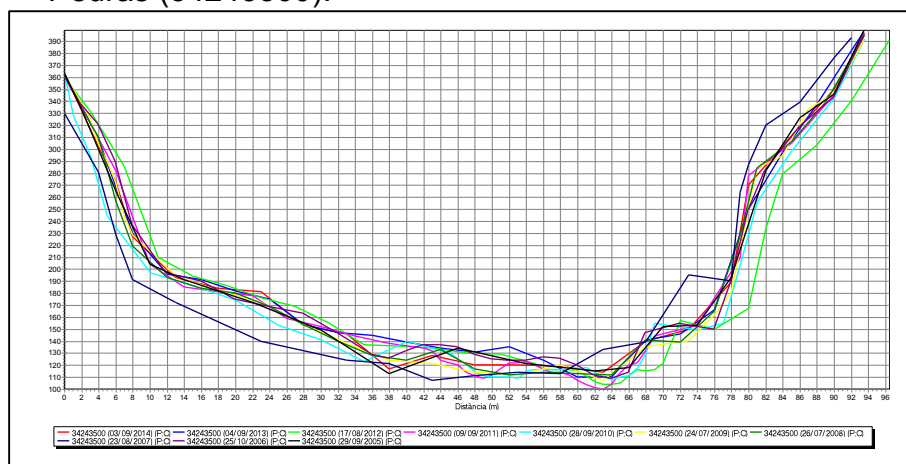
Fonte: a autora.

Figura A62 - Gráfico de perfis transversais da estação de Contrato (União) (34230000).



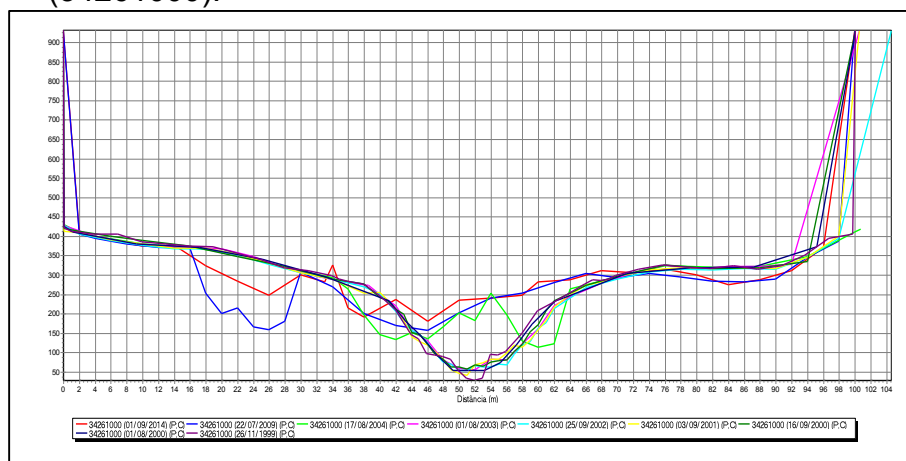
Fonte: a autora.

Figura A63 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passagem das Pedras (34243500).



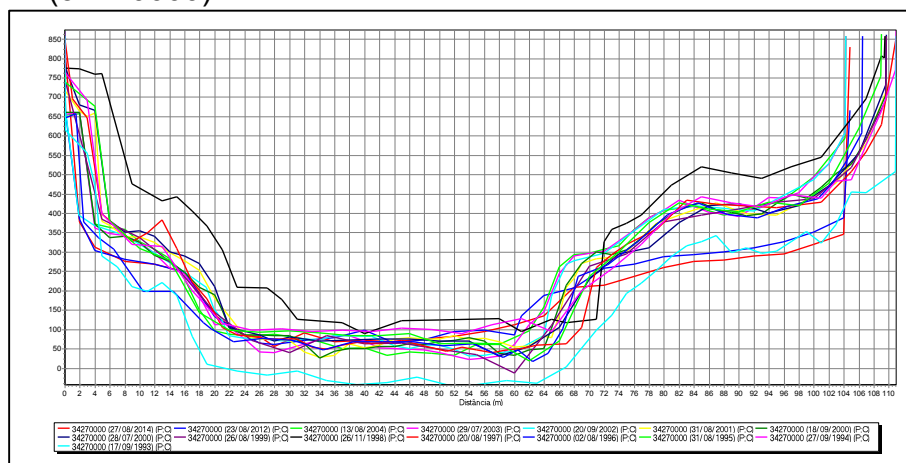
Fonte: a autora.

Figura A64 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ponte BR-324 (34261000).



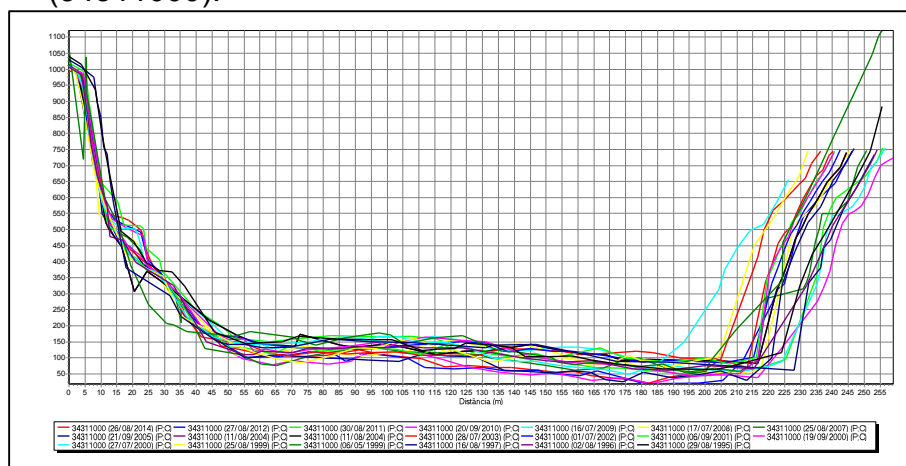
Fonte: a autora.

Figura A65 - Gráfico de perfis transversais da estação de Barra do Lance (34270000).



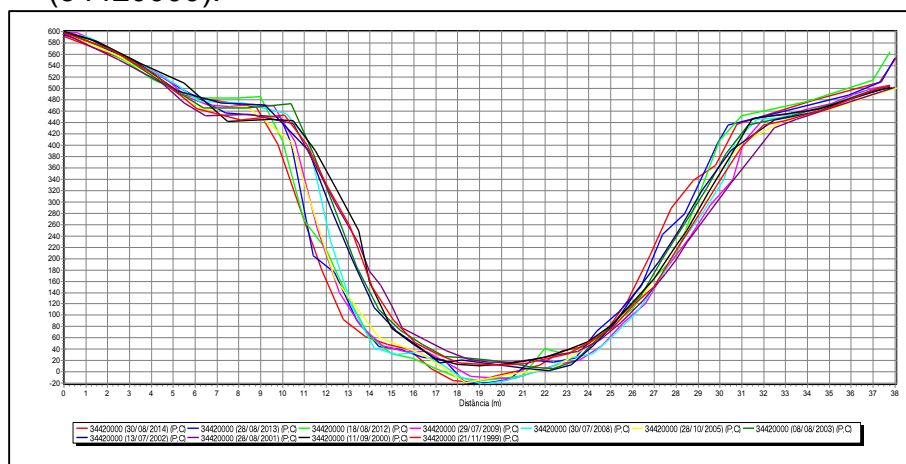
Fonte: a autora.

Figura A66 - Gráfico de perfis transversais da estação de Barão de Grajaú (34311000).



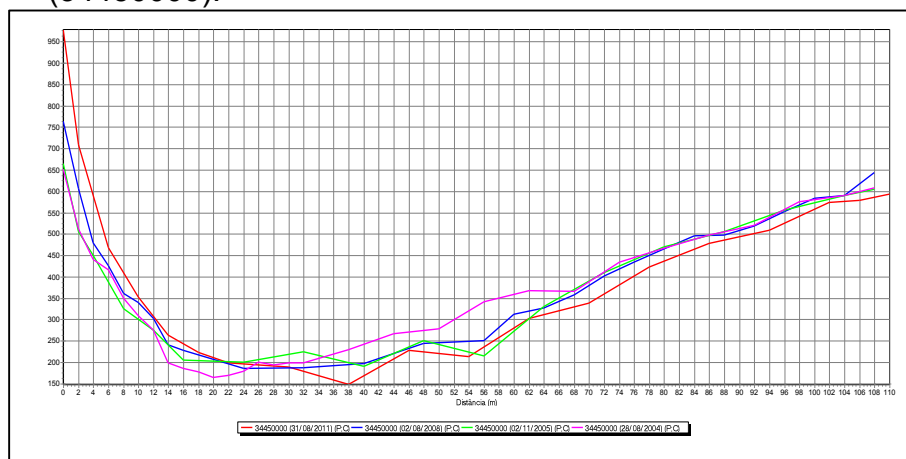
Fonte: a autora.

Figura A67 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Tapagé (34420000).



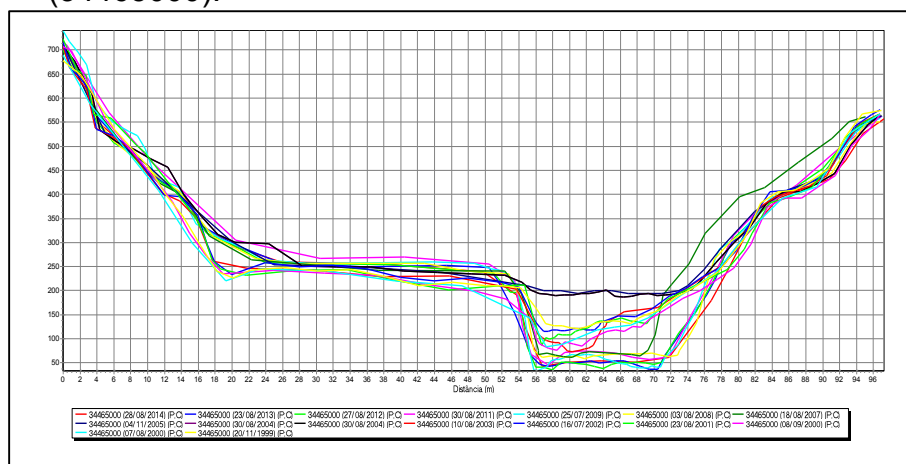
Fonte: a autora.

Figura A68 - Gráfico de perfis transversais da estação de Maria Preta (34450000).



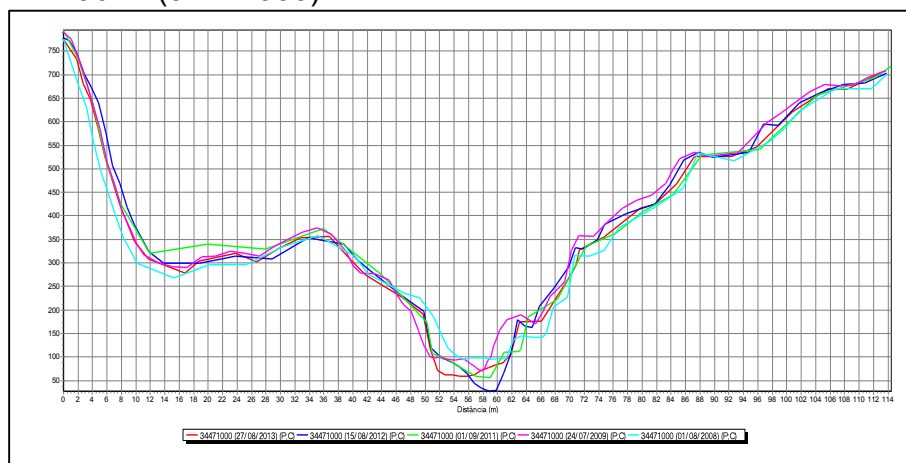
Fonte: a autora.

Figura A69 - Gráfico de perfis transversais da estação de Picos (34465000).



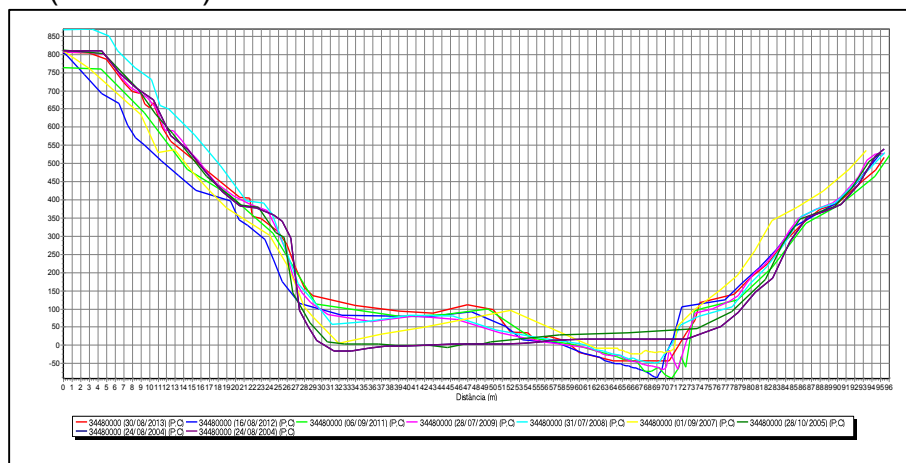
Fonte: a autora.

Figura A70 - Gráfico de perfis transversais da estação de Santa Cruz do Piauí II (34471000).



Fonte: a autora.

Figura A71 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Talhada (34480000).



Fonte: A autora.

Figura A72 - Gráfico de perfis transversais da estação de São João do Piauí (34564000)

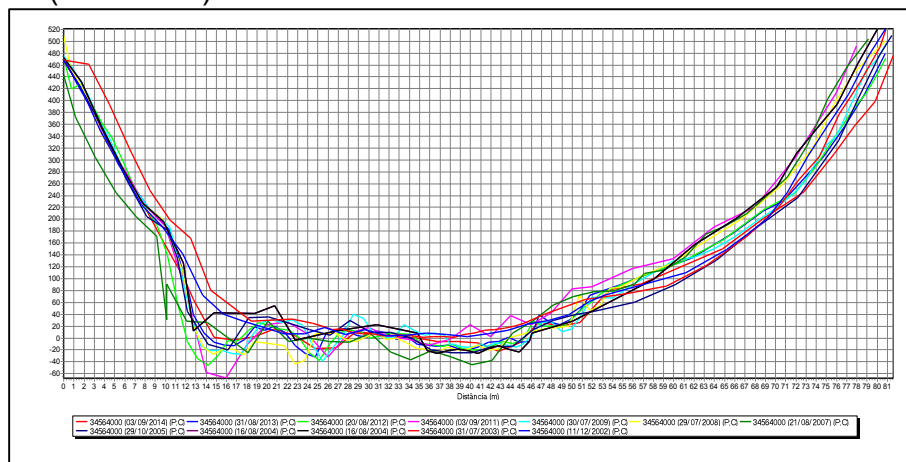


Figura A73 - Gráfico de perfis transversais da estação de São Francisco do Piauí (34571000)

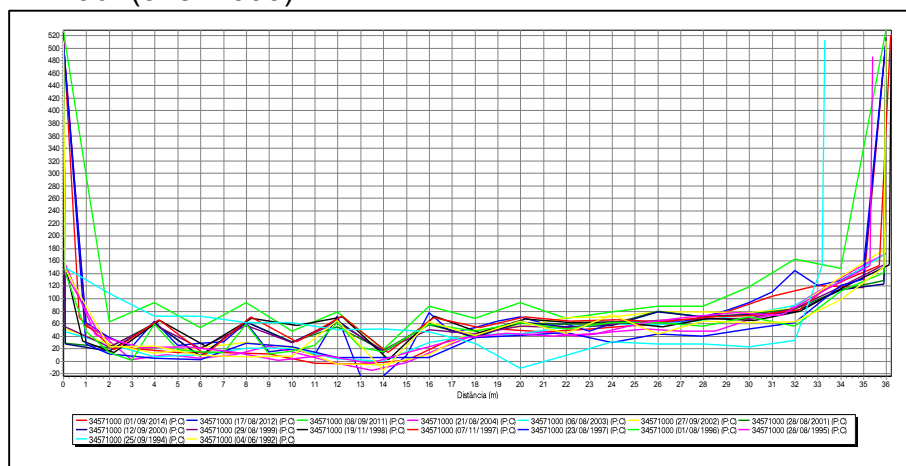


Figura A74 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Veneza (34660000)

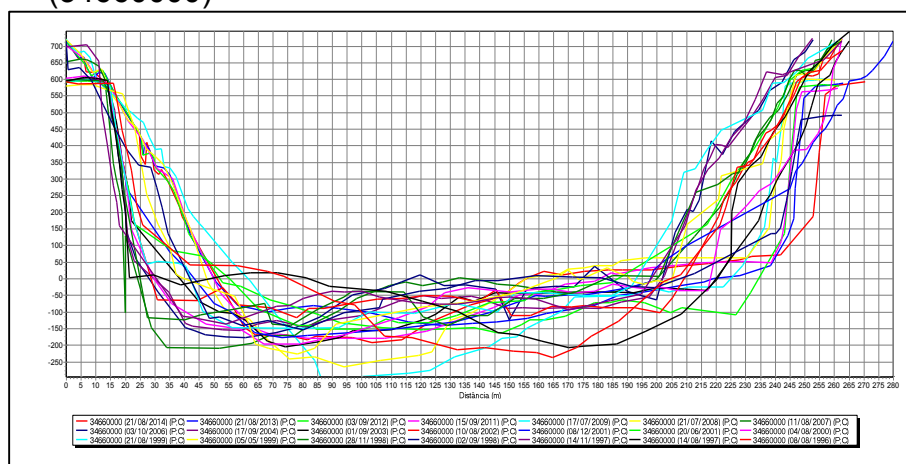


Figura A75 - Gráfico de perfis transversais da estação de Croatá (34730000)

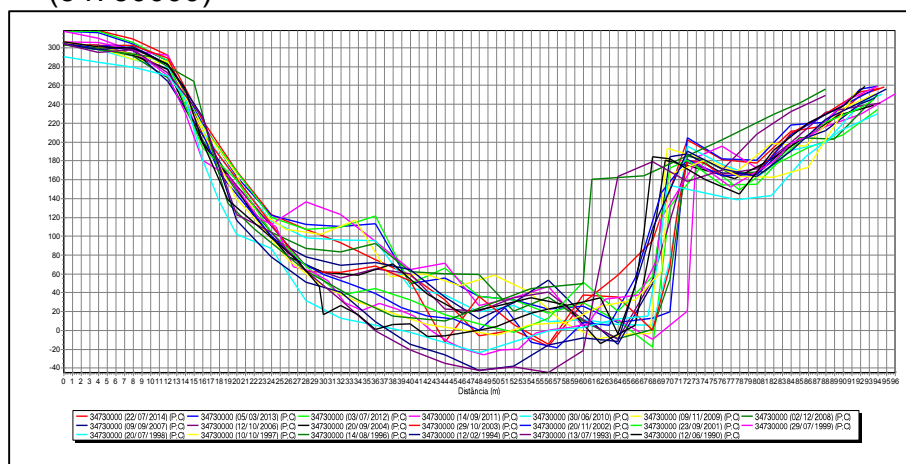


Figura A76 - Gráfico de perfis transversais da estação de Saudoso (34740000)

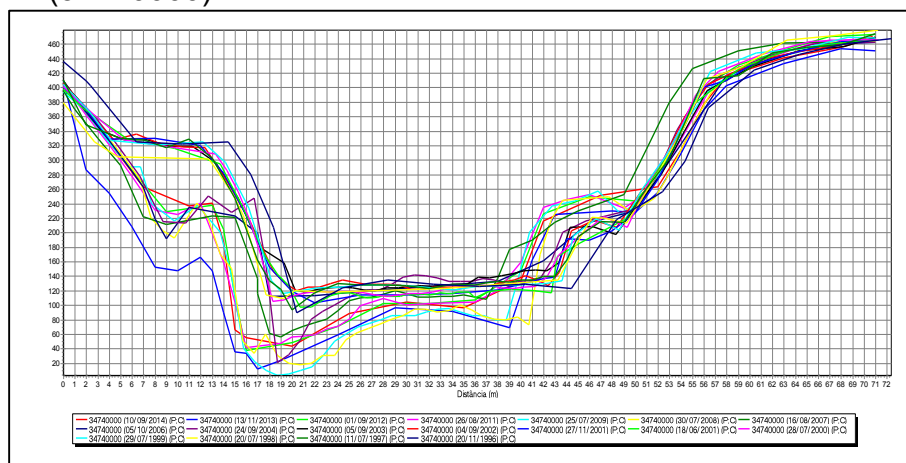


Figura A77 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Boa Esperança (34750000)

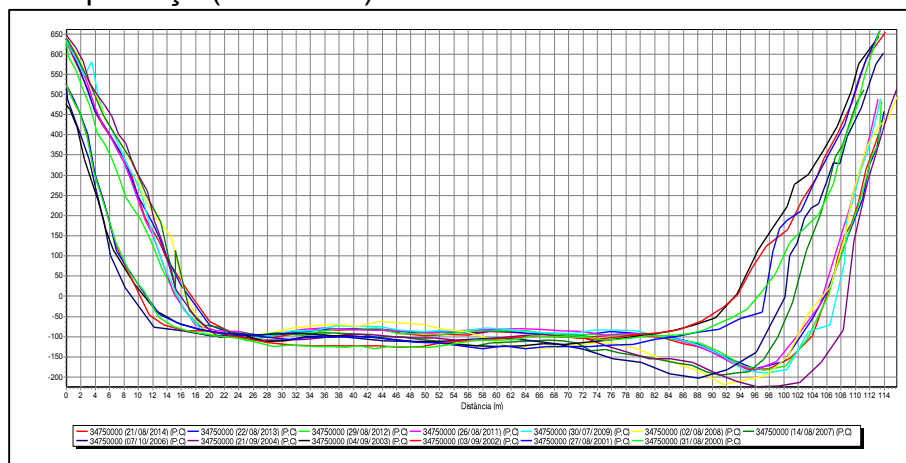
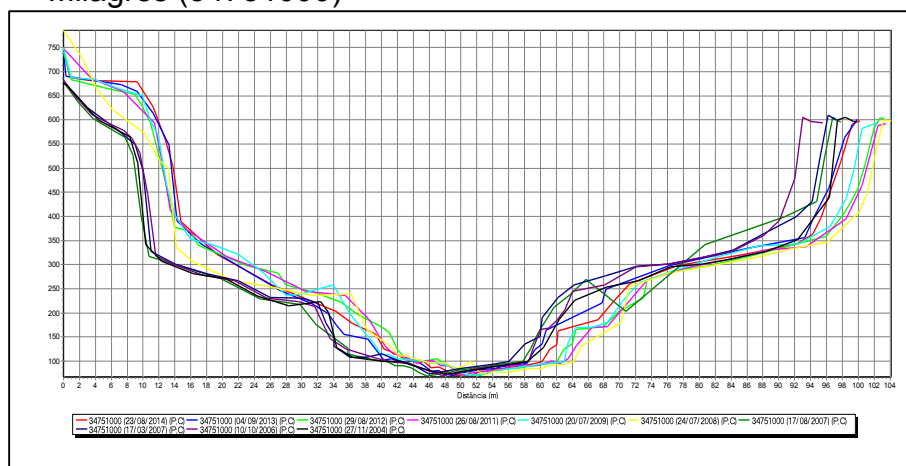
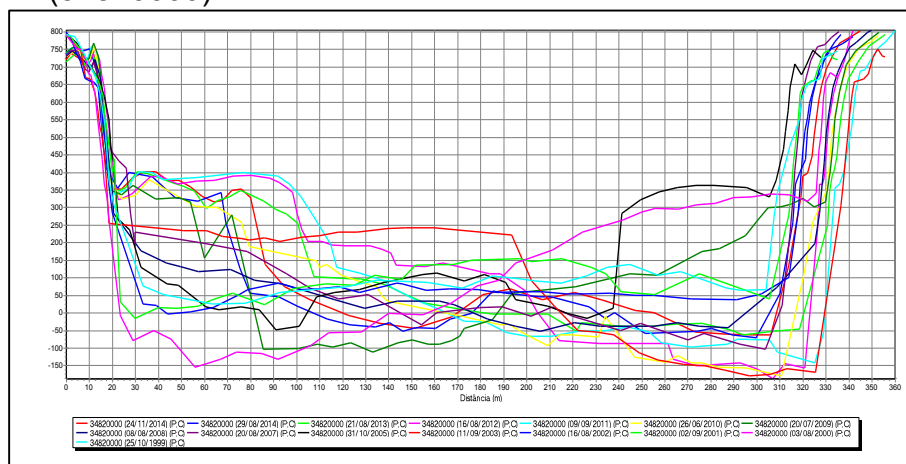


Figura A78 - Gráfico de perfis transversais da estação de Santa Cruz dos Milagres (34751000)



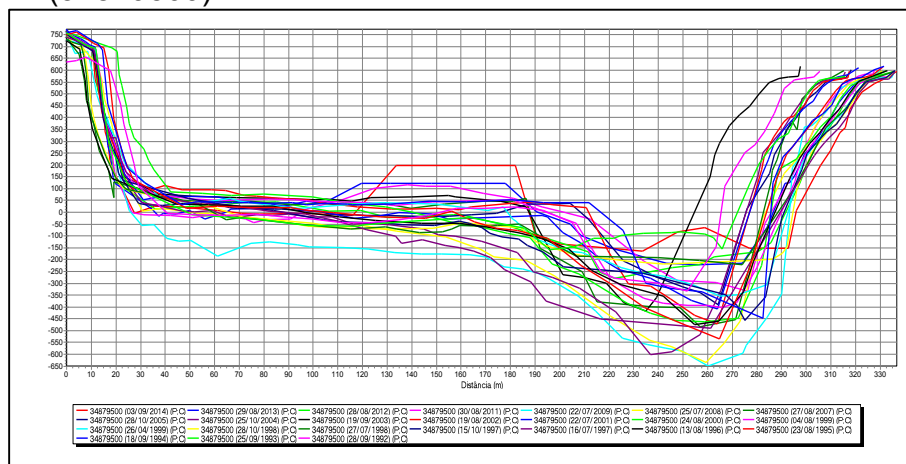
Fonte: A autora.

Figura A79 - Gráfico de perfis transversais da estação de Coelho Neto (34820000)



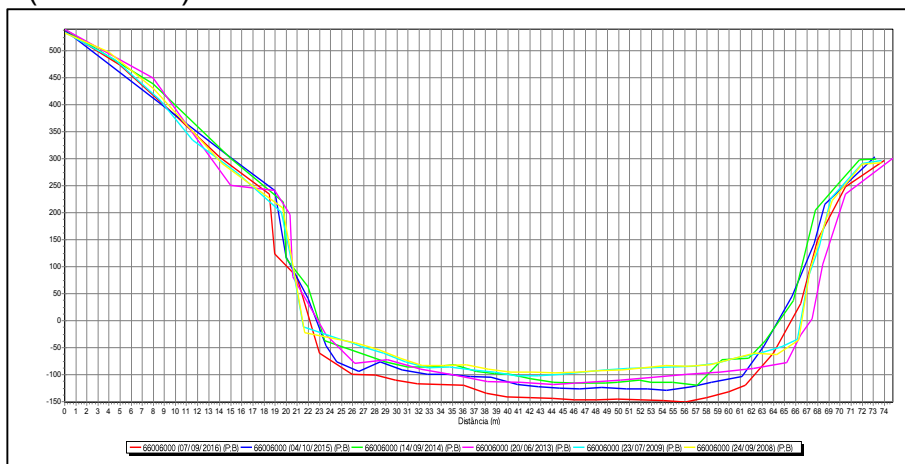
Fonte: A autora.

Figura A80 - Gráfico de perfis transversais da estação de Luzilândia (34879500)



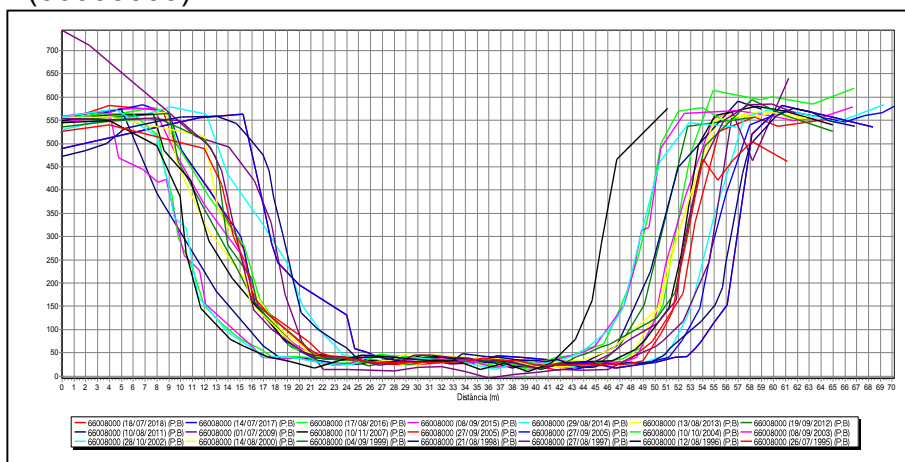
Fonte: A autora.

Figura A81 - Gráfico de perfis transversais da estação de Nortelândia (66006000)



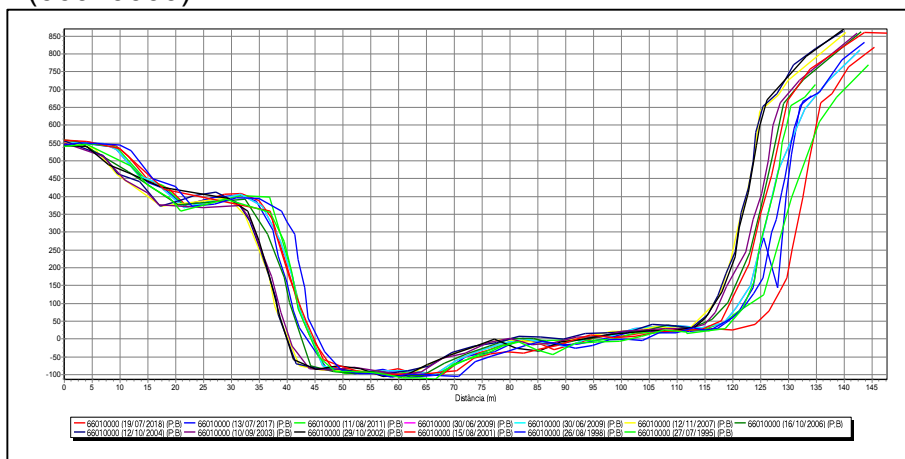
Fonte: A autora.

Figura A82 - Gráfico de perfis transversais da estação de Jauquara (66008000)



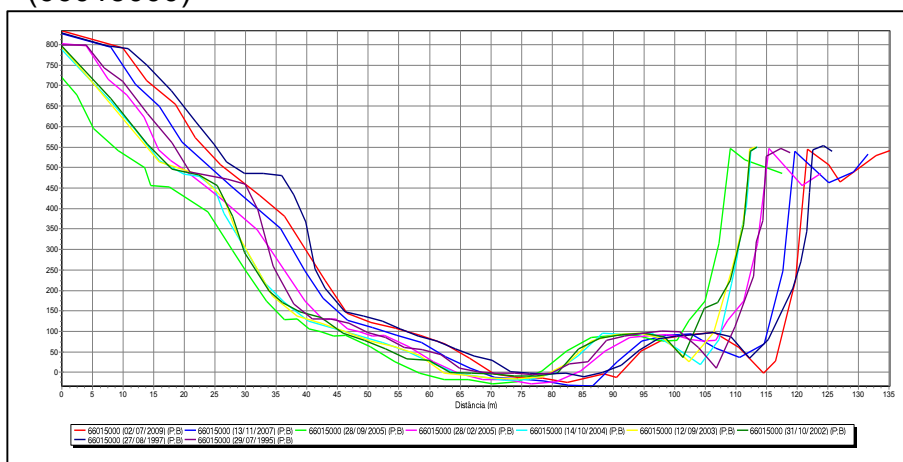
Fonte: A autora.

Figura A83 - Gráfico de perfis transversais da estação de Barra do Bugres (66010000)



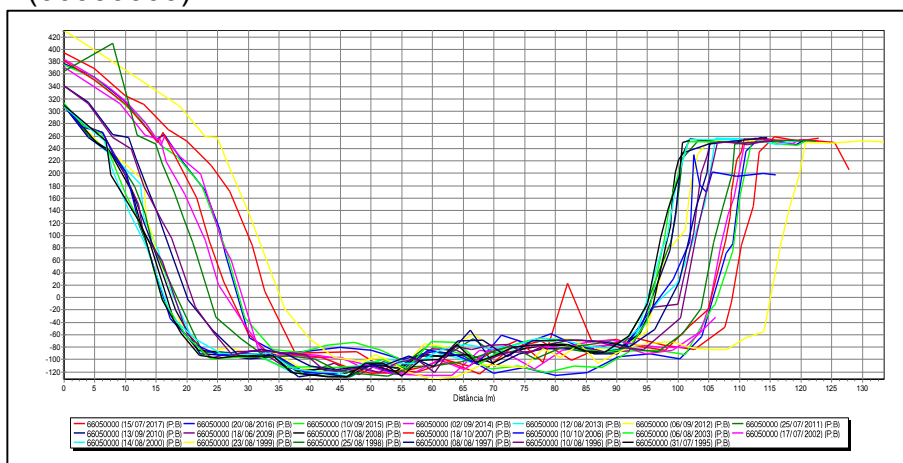
Fonte: A autora.

Figura A84 - Gráfico de perfis transversais da estação de Porto Estrela (66015000)



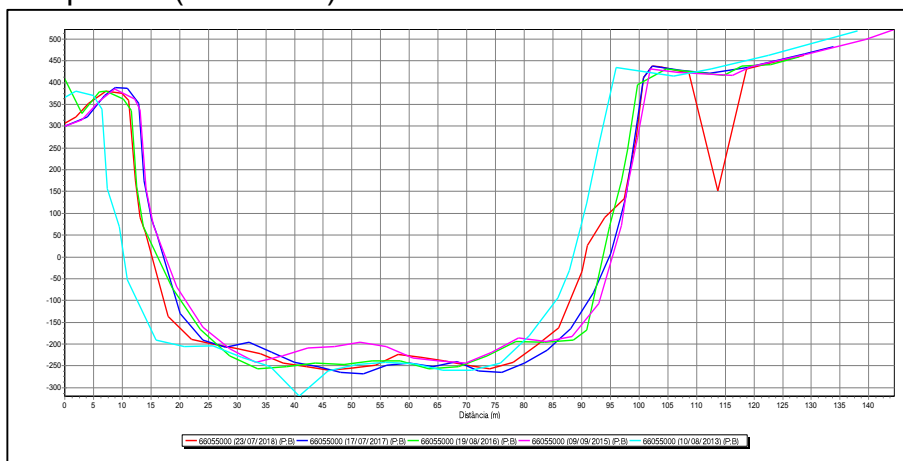
Fonte: A autora.

Figura A85 - Gráfico de perfis transversais da estação de Tapirapuã (66050000)



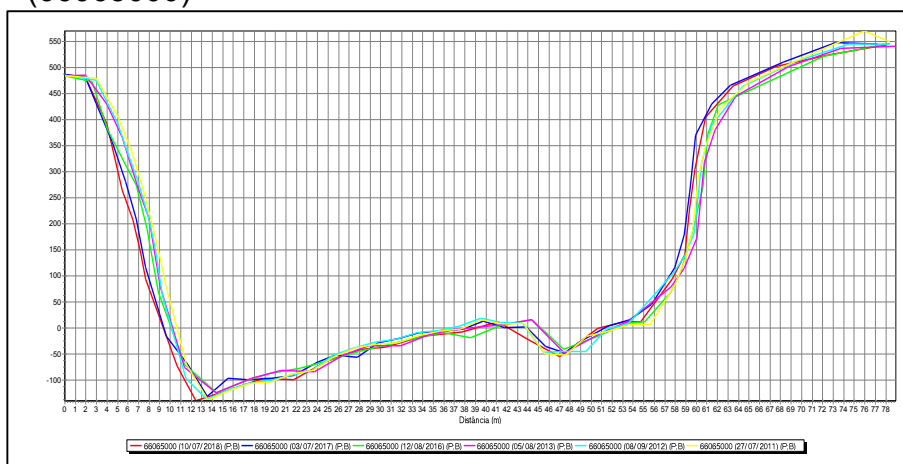
Fonte: A autora.

Figura A86 - Gráfico de perfis transversais da estação de São José do Sepotuba (66055000)



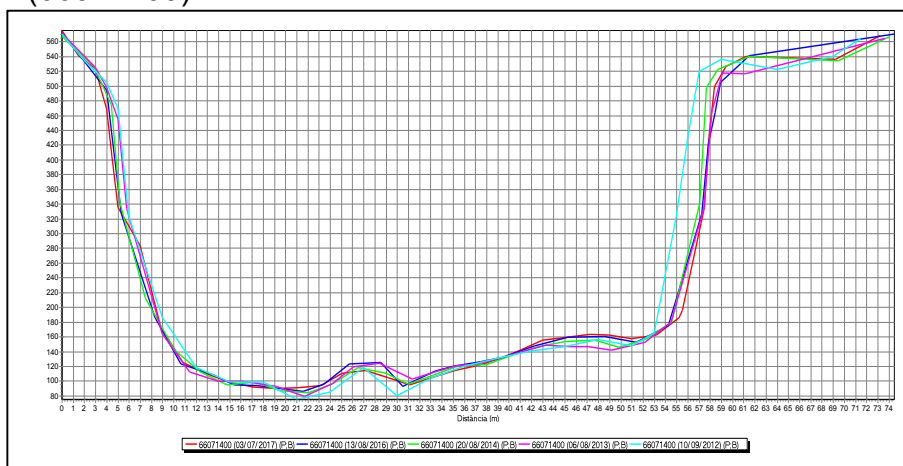
Fonte: A autora.

Figura A87 - Gráfico de perfis transversais da estação de Estrada MT-125 (66065000)



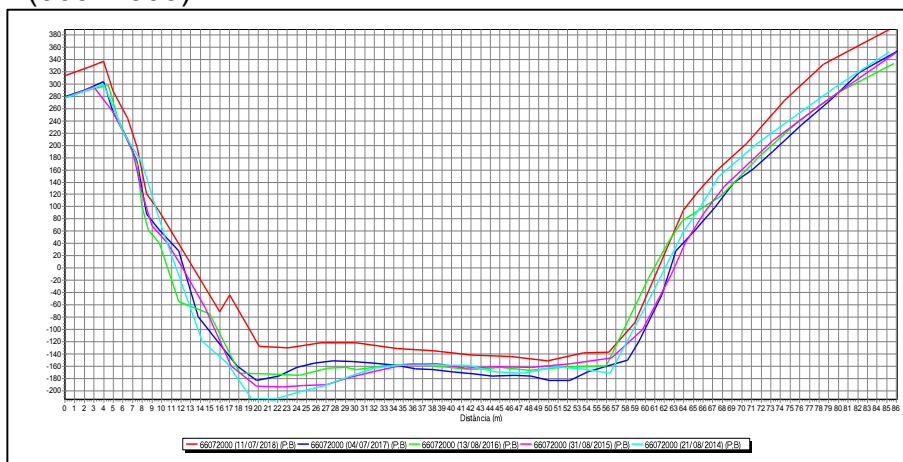
Fonte: A autora.

Figura A88 - Gráfico de perfis transversais da estação de Água Suja (66071400)



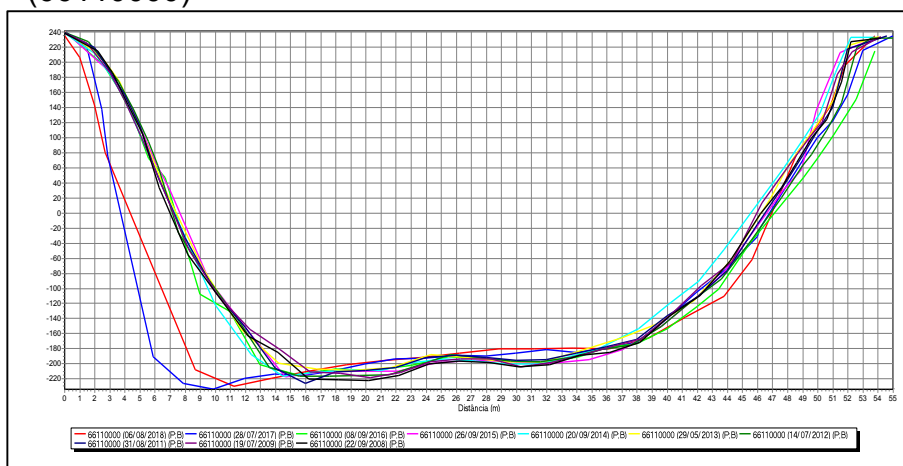
Fonte: A autora.

Figura A89 - Gráfico de perfis transversais da estação de Porto Esperidião (66072000)



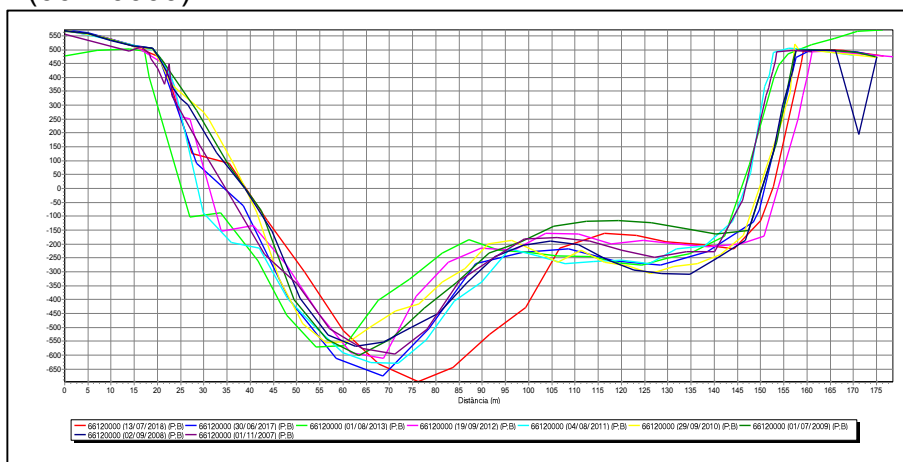
Fonte: A autora.

Figura A90 - Gráfico de perfis transversais da estação de Perto de Poconé (66110000)



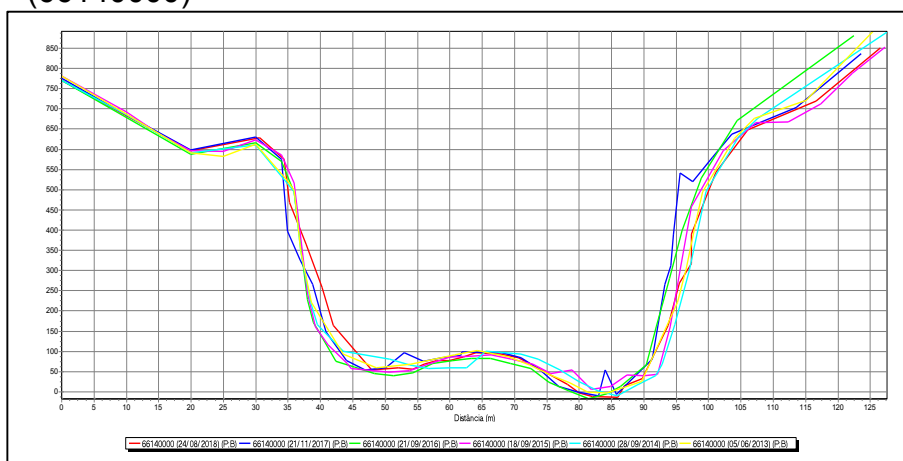
Fonte: A autora.

Figura A91 - Gráfico de perfis transversais da estação de Porto Conceição (66120000)



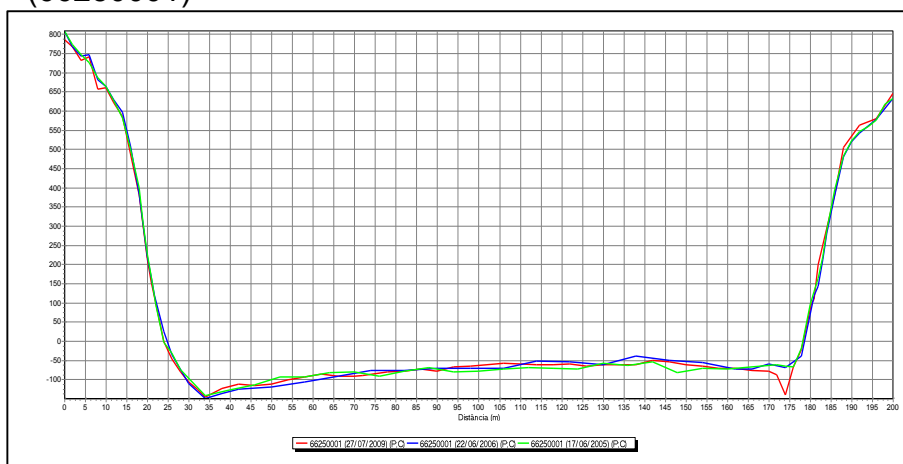
Fonte: A autora.

Figura A92 - Gráfico de perfis transversais da estação de Marzagão (66140000)



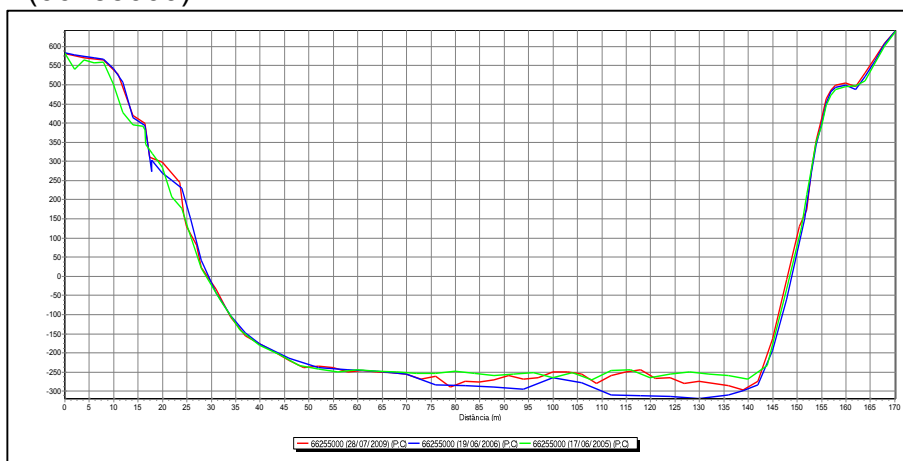
Fonte: A autora.

Figura A93 - Gráfico de perfis transversais da estação de Rosário Oeste (66250001)



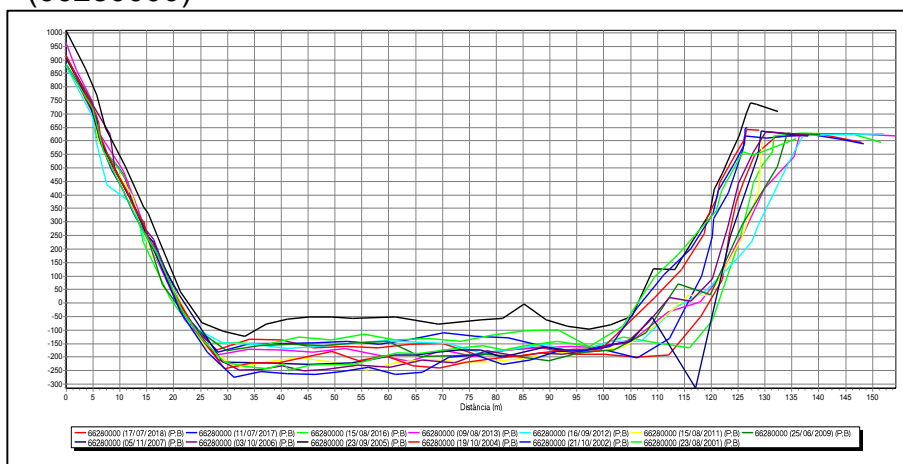
Fonte: A autora.

Figura A94 - Gráfico de perfis transversais da estação de Acorizal (66255000)



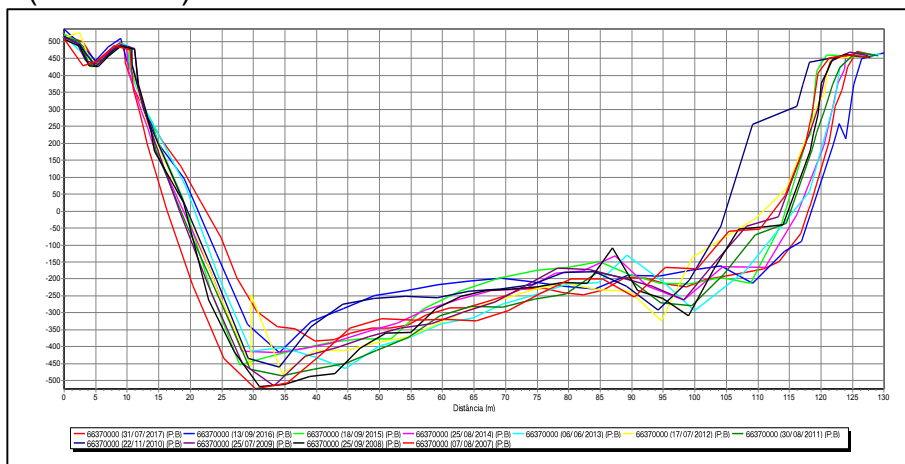
Fonte: A autora.

Figura A95 - Gráfico de perfis transversais da estação de Barão de Melgaço (66280000)



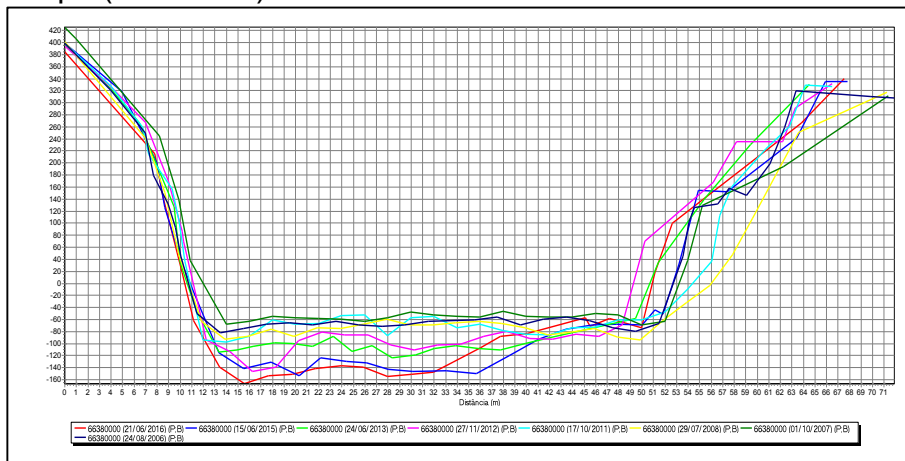
Fonte: A autora.

Figura A96 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ilha Camargo (66370000)



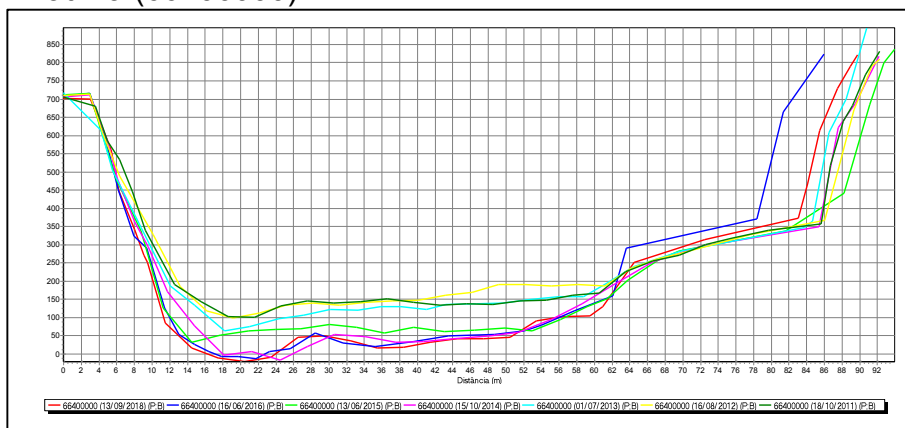
Fonte: A autora.

Figura A97 - Gráfico de perfis transversais da estação de São Pedro da Cipa (66380000)



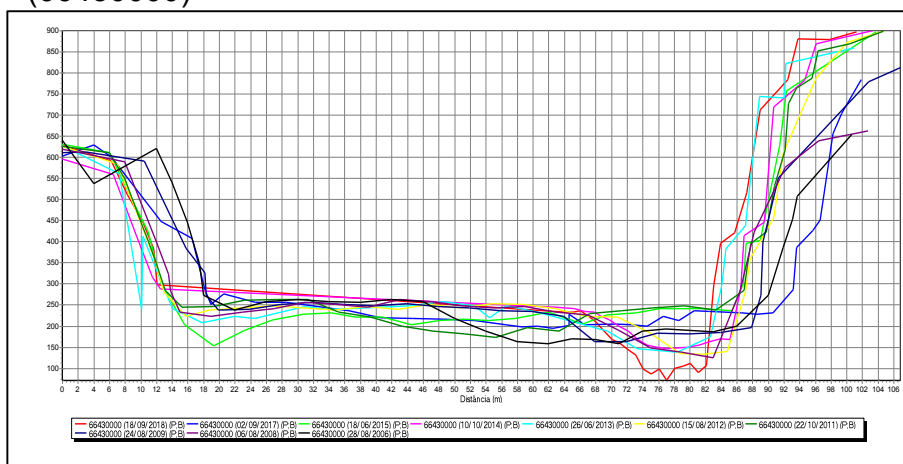
Fonte: A autora.

Figura A98 - Gráfico de perfis transversais da estação de São Lourenço de Fátima (66400000)



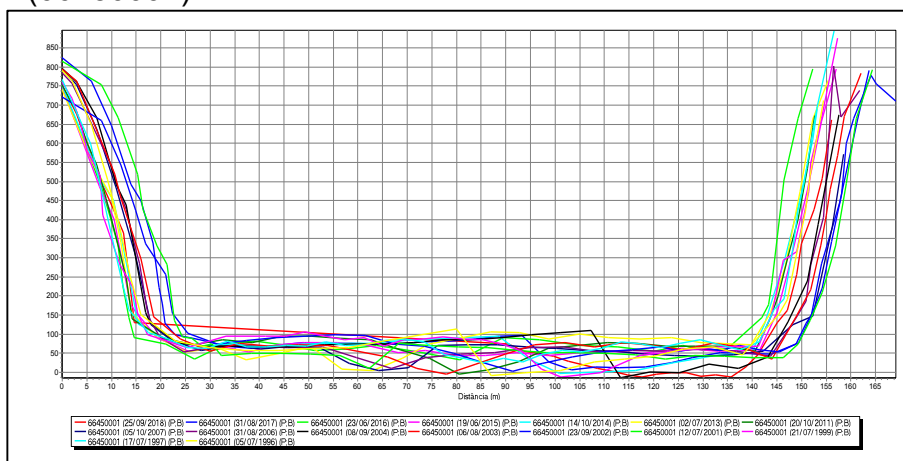
Fonte: A autora.

Figura A99 - Gráfico de perfis transversais da estação de Jarudore (66430000)



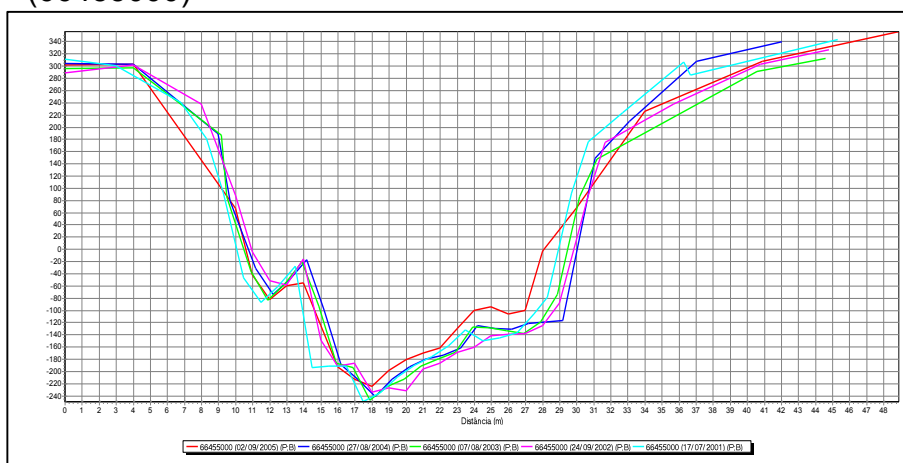
Fonte: A autora.

Figura A100 - Gráfico de perfis transversais da estação de Rondonópolis (66450001)



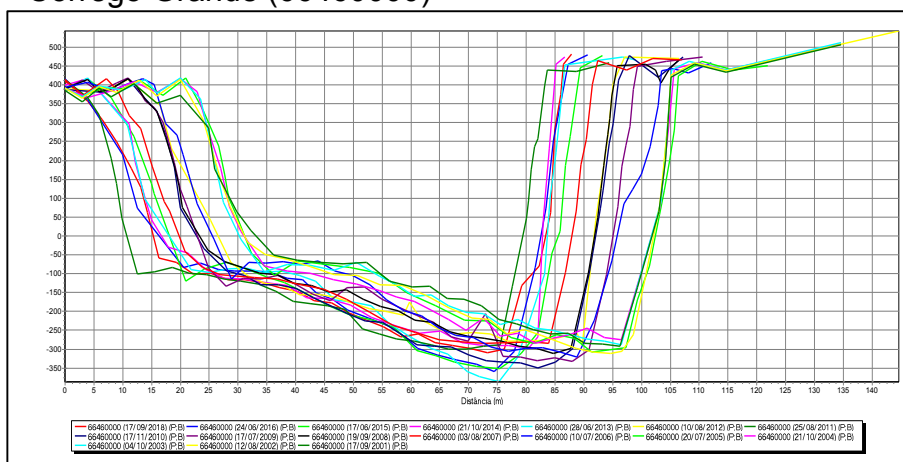
Fonte: A autora.

Figura A101 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ponte de Pedra (66455000)



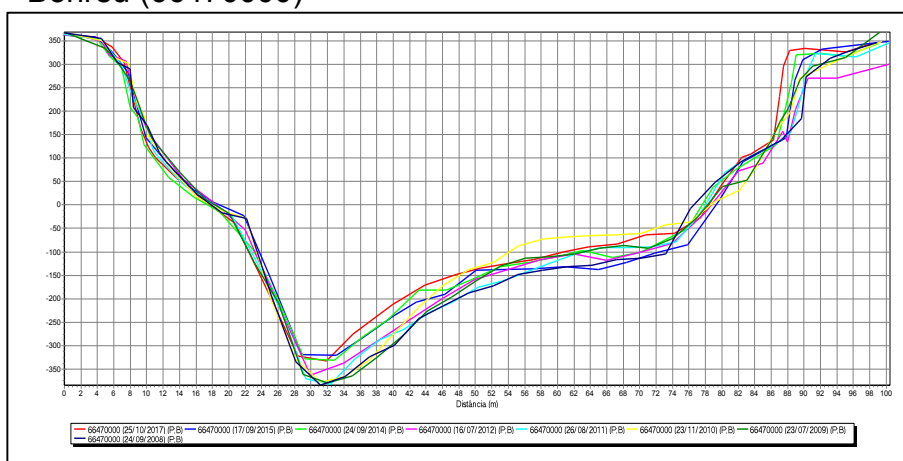
Fonte: A autora.

Figura A102 - Gráfico de perfis transversais da estação de Acima do Córrego Grande (66460000)



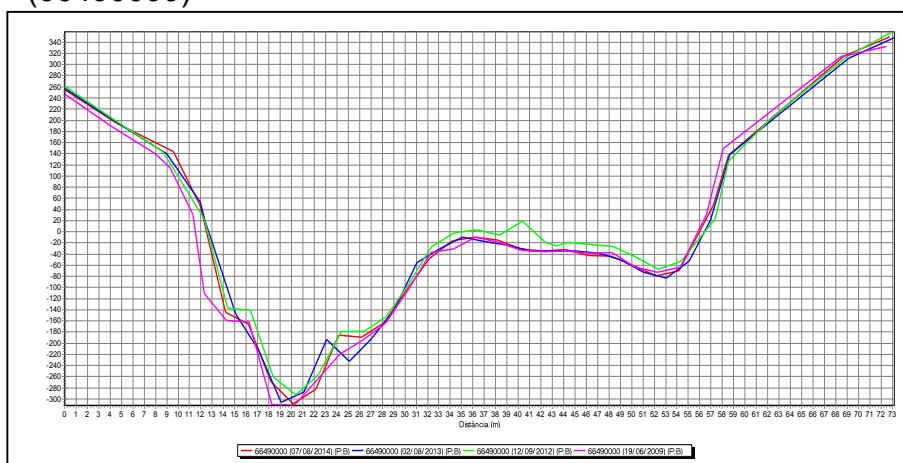
Fonte: A autora.

Figura A103 - Gráfico de perfis transversais da estação de São José do Boriréu (66470000)



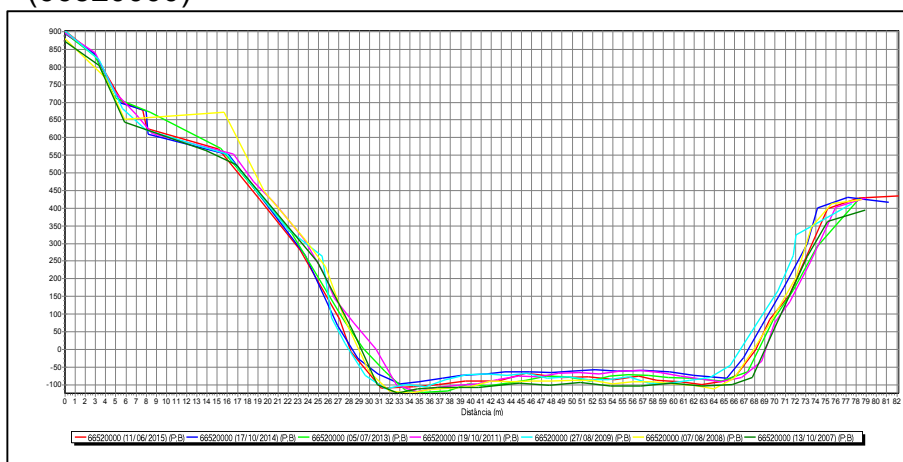
Fonte: A autora.

Figura A104 - Gráfico de perfis transversais da estação de Estrada BR-163 (66490000)



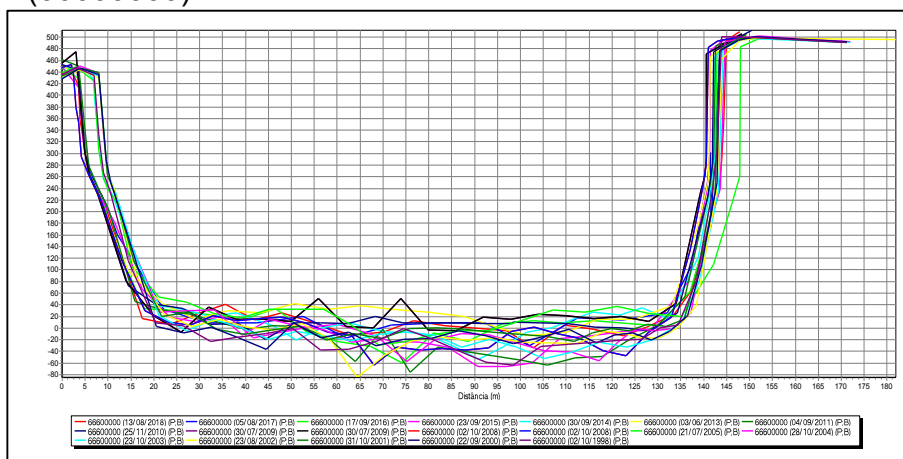
Fonte: A autora.

Figura A105 - Gráfico de perfis transversais da estação de Itiquira (66520000)



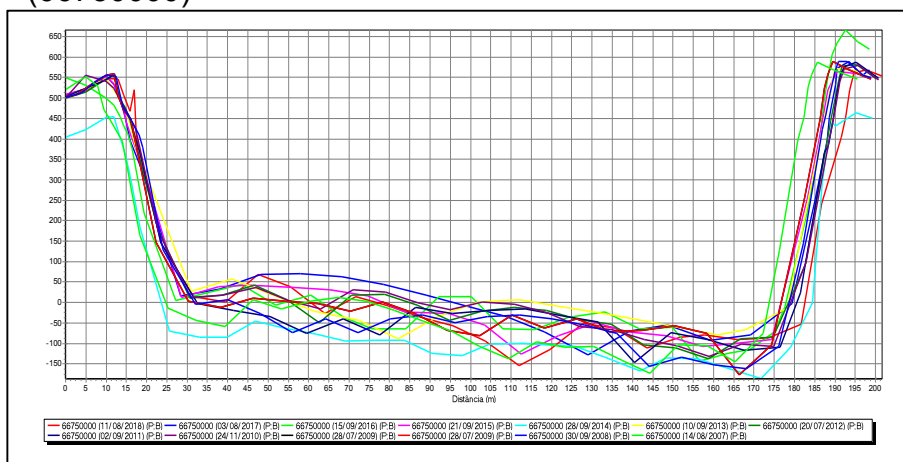
Fonte: A autora.

Figura A106 - Gráfico de perfis transversais da estação de São Jerônimo (66600000)



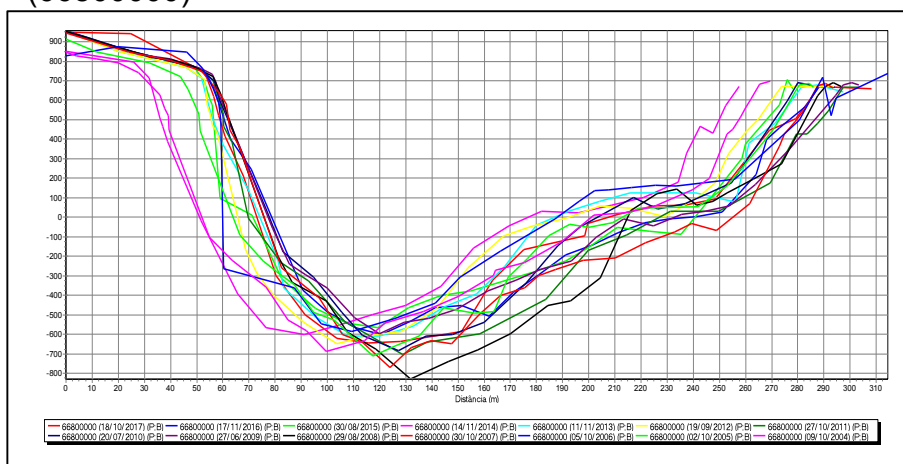
Fonte: A autora.

Figura A107 - Gráfico de perfis transversais da estação de Porto do Alegre (66750000)



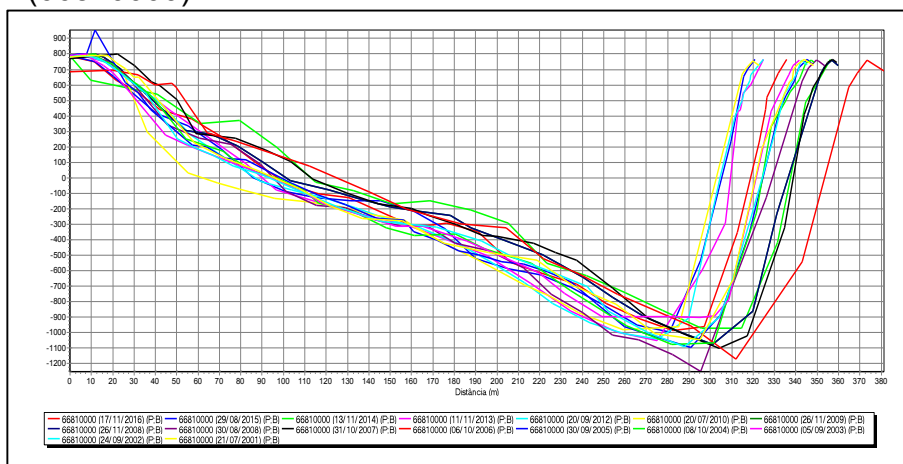
Fonte: A autora.

Figura A108 - Gráfico de perfis transversais da estação de Amolar (66800000)



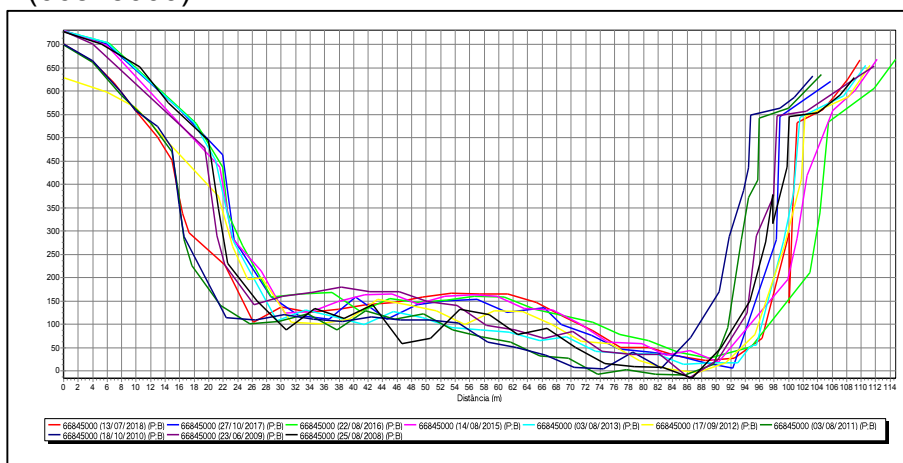
Fonte: A autora.

Figura A109 - Gráfico de perfis transversais da estação de São Francisco (66810000)



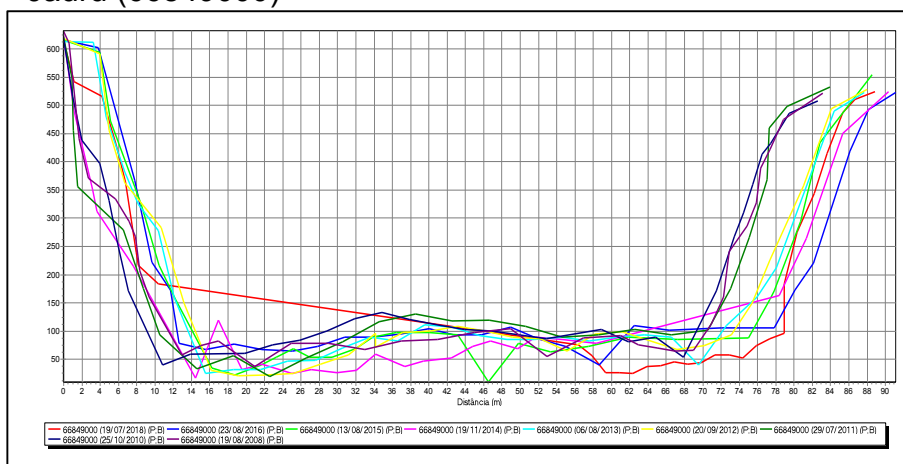
Fonte: A autora.

Figura A110 - Gráfico de perfis transversais da estação de Pedro Gomes (66845000)



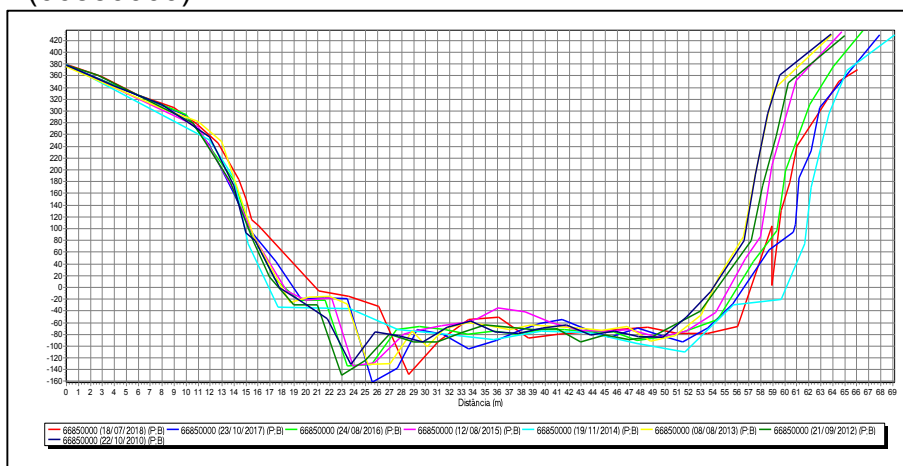
Fonte: A autora.

Figura A111 - Gráfico de perfis transversais da estação de Confluência Rio Jauru (66849000)



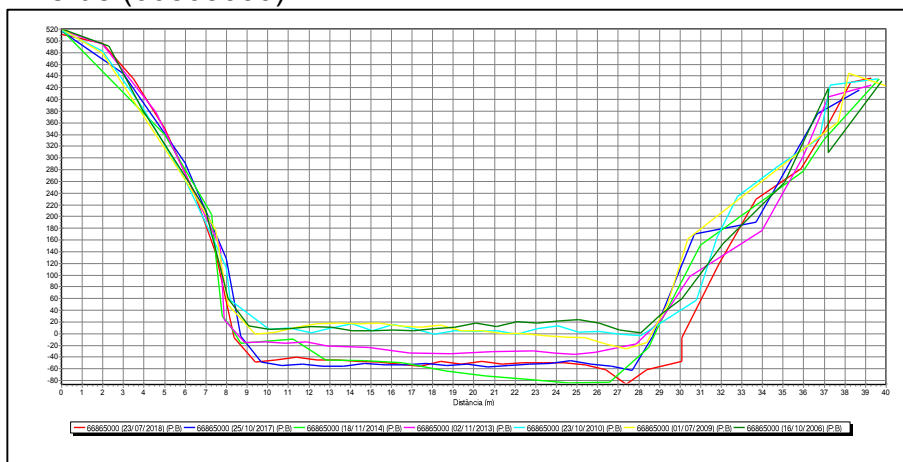
Fonte: A autora.

Figura A112 - Gráfico de perfis transversais da estação de Contraventente (66850000)



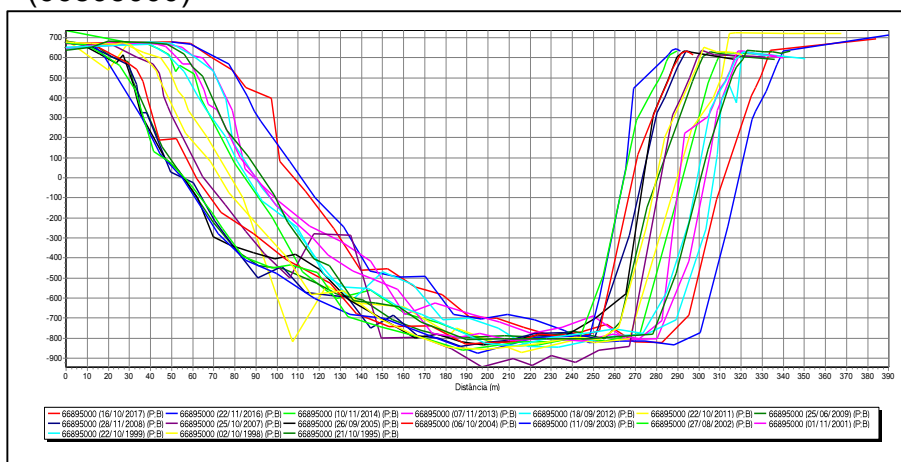
Fonte: A autora.

Figura A113 - Gráfico de perfis transversais da estação de Próximo Rio Verde (66865000)



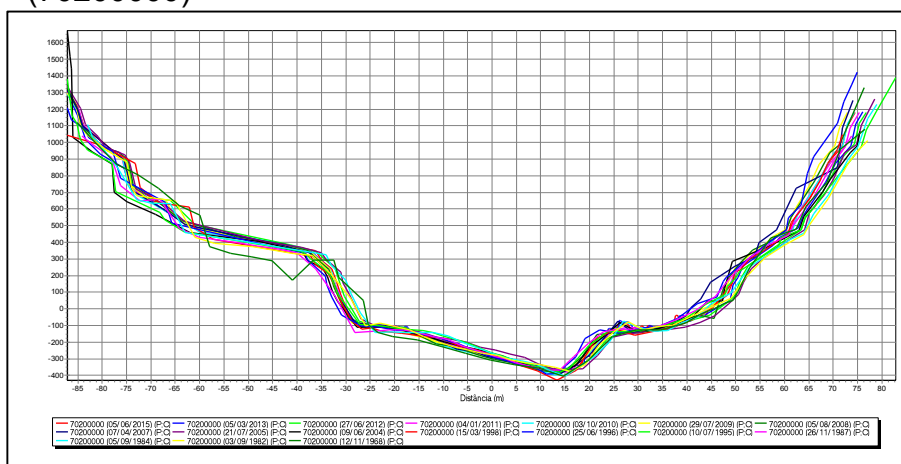
Fonte: A autora.

Figura A114 - Gráfico de perfis transversais da estação de Porto da Manga (66895000)



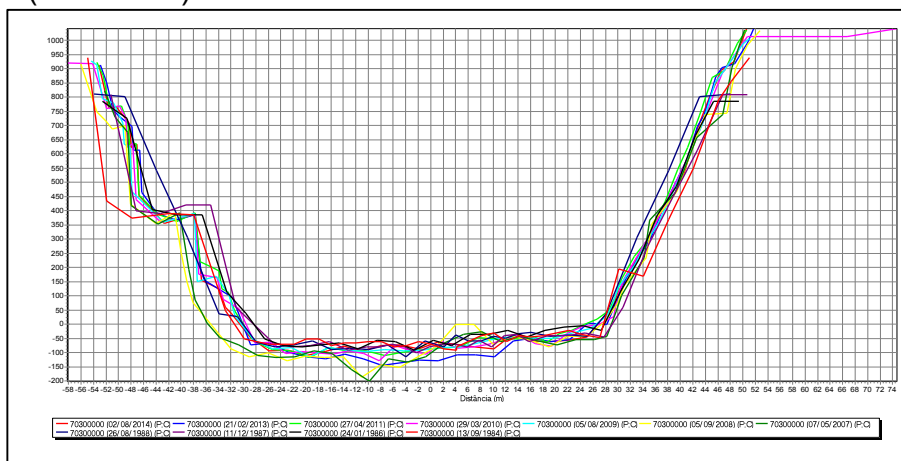
Fonte: A autora.

Figura A115 - Gráfico de perfis transversais da estação de Invernada Velha (70200000)



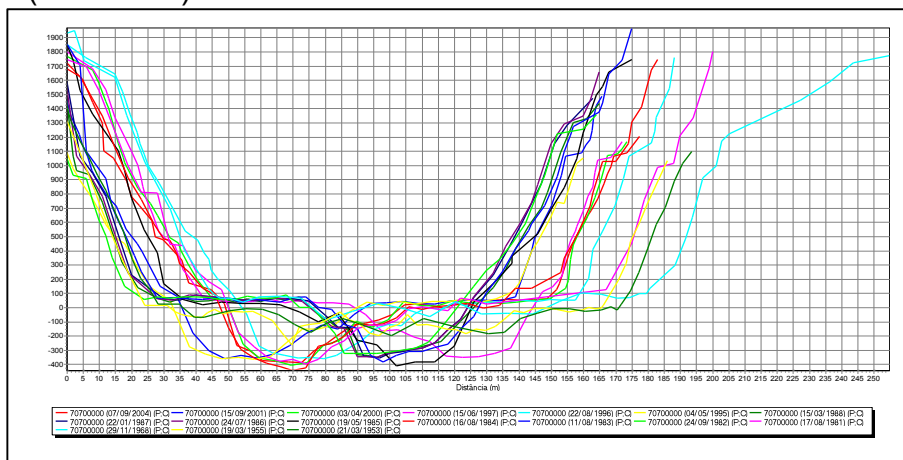
Fonte: A autora.

Figura A116 - Gráfico de perfis transversais da estação de Fazenda Mineira (70300000)



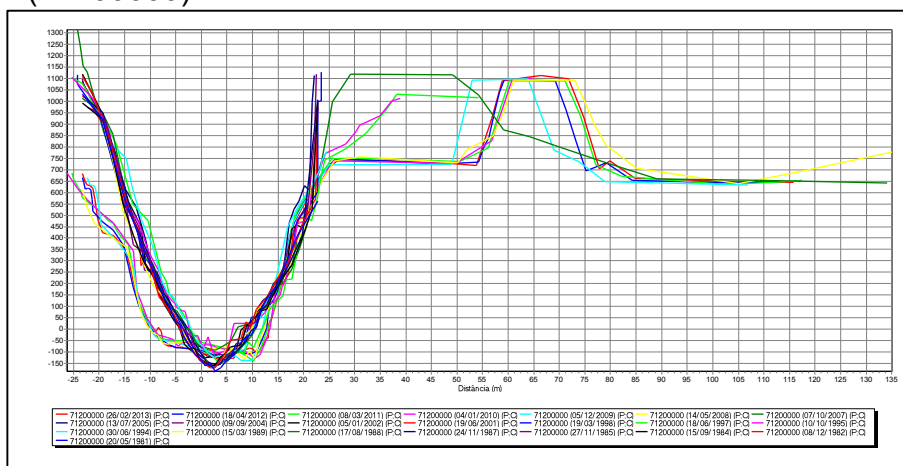
Fonte: A autora.

Figura A117 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo Socorro (70700000)



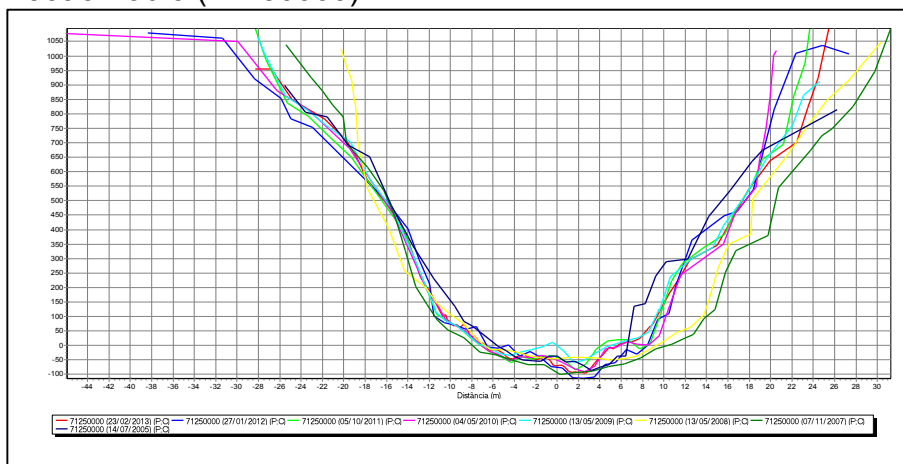
Fonte: A autora.

Figura A118 - Gráfico de perfis transversais da estação de Vila Canoas (71200000)



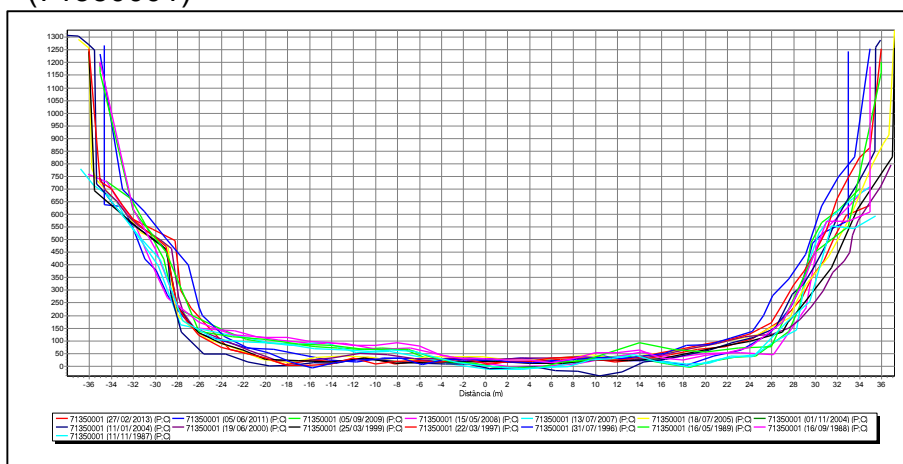
Fonte: A autora.

Figura A119 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ponte do Rio João Paulo (71250000)



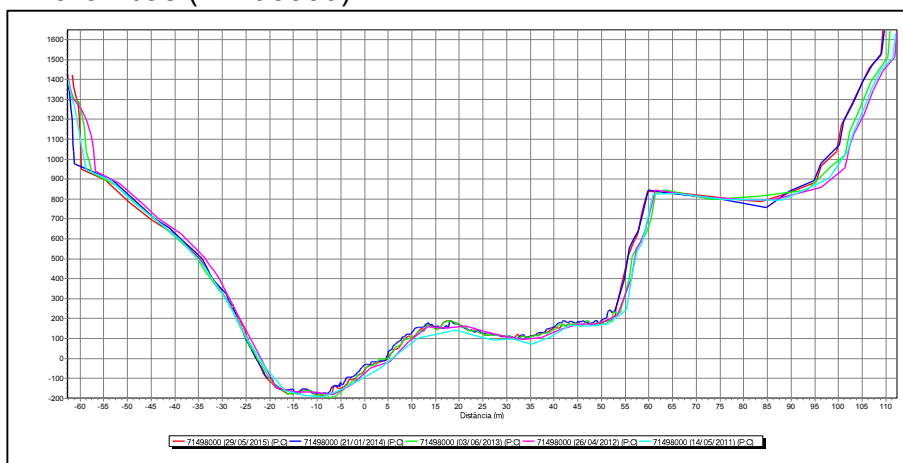
Fonte: A autora.

Figura A120 - Gráfico de perfis transversais da estação de Encruzilhada II (71350001)



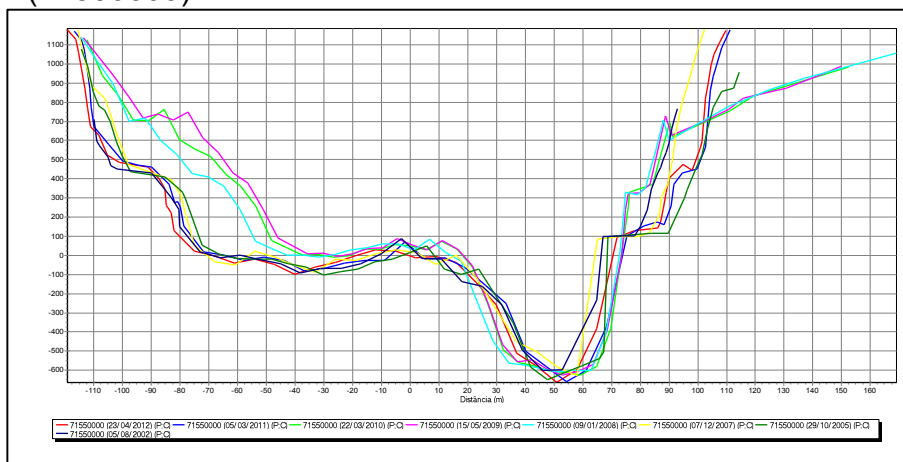
Fonte: A autora.

Figura A121 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo Marombas (71498000)



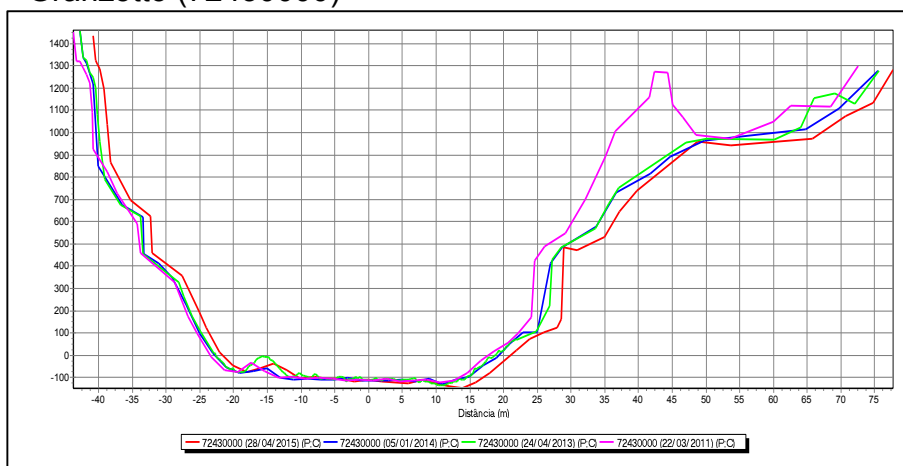
Fonte: A autora.

Figura A122 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo Caru (71550000)



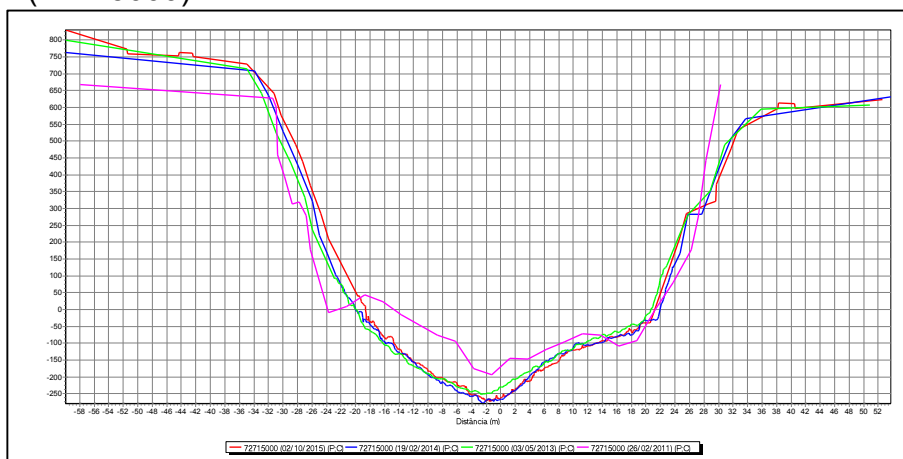
Fonte: A autora.

Figura A123 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo do Granzotto (7243000)



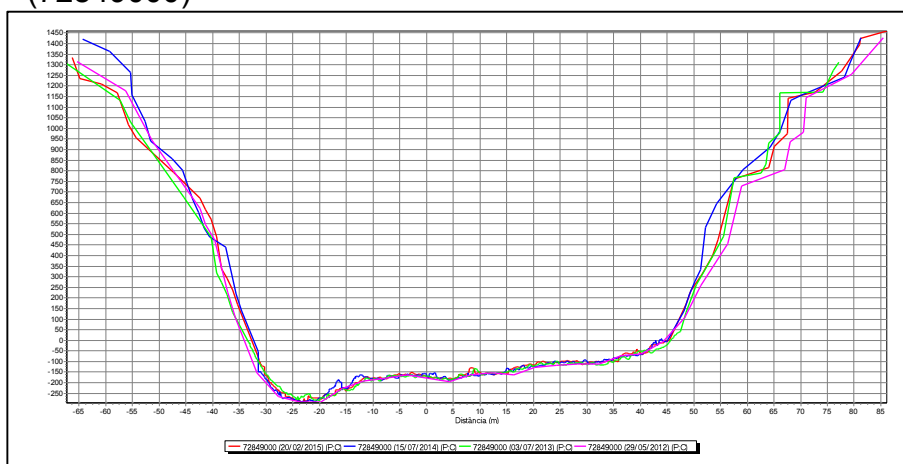
Fonte: A autora.

Figura A124 - Gráfico de perfis transversais da estação de Rio Das Antas (72715000)



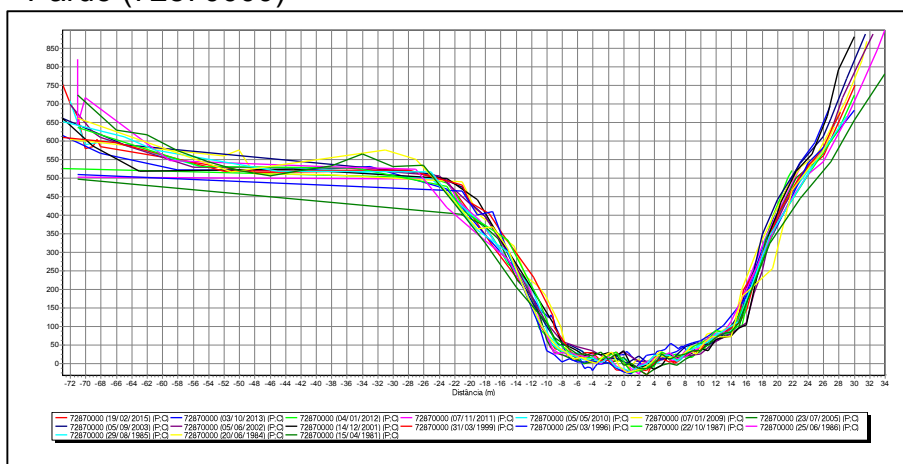
Fonte: A autora.

Figura A125 - Gráfico de perfis transversais da estação de Joaçaba I (72849000)



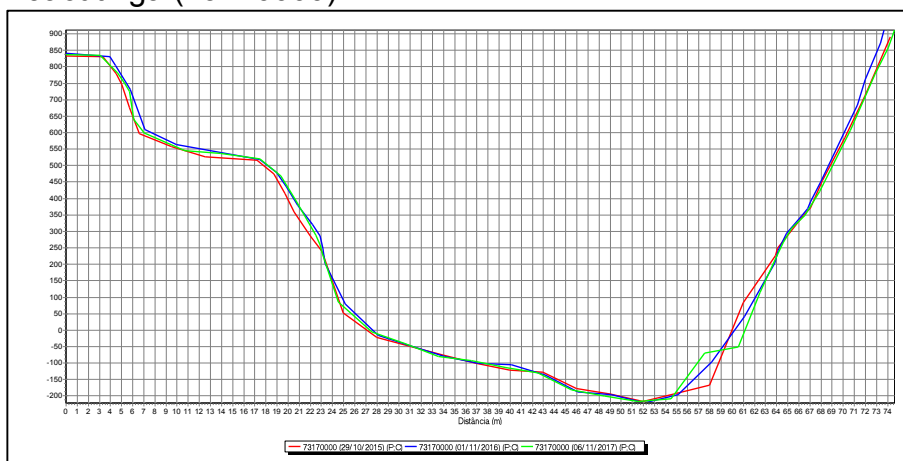
Fonte: A autora.

Figura A126 - Gráfico de perfis transversais da estação de Barra do Rio Pardo (72870000)



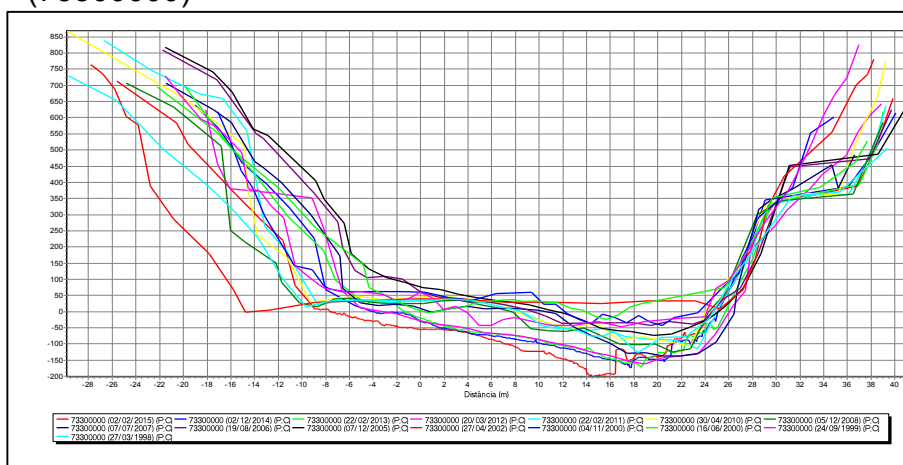
Fonte: A autora.

Figura A127 - Gráfico de perfis transversais da estação de UHE Itá Rio Jacutinga (73170000)



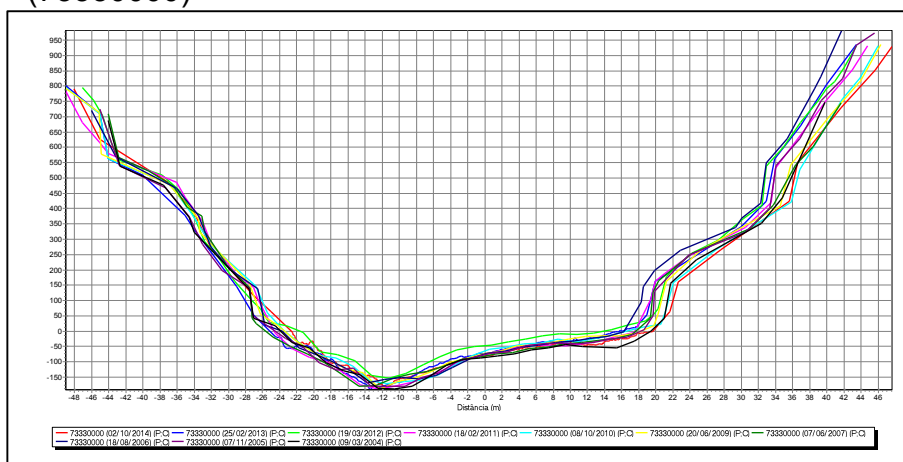
Fonte: A autora.

Figura A128 - Gráfico de perfis transversais da estação de Bonito (73300000)



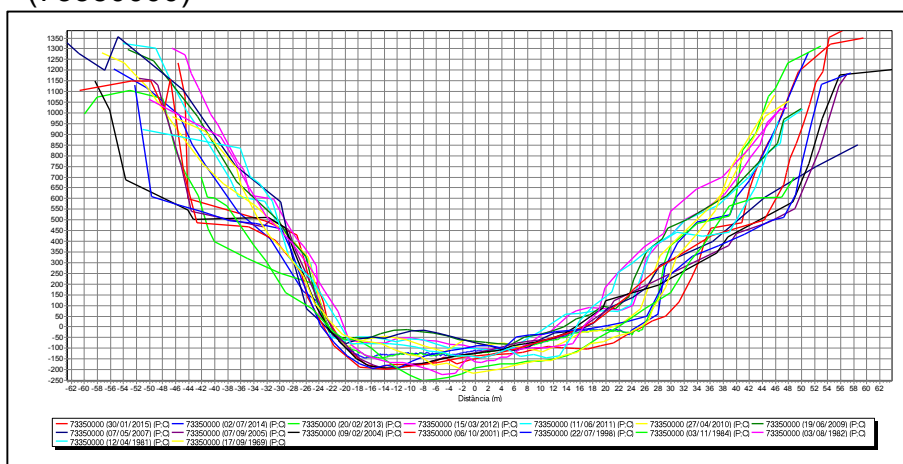
Fonte: A autora.

Figura A129 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo Alto Irani (73330000)



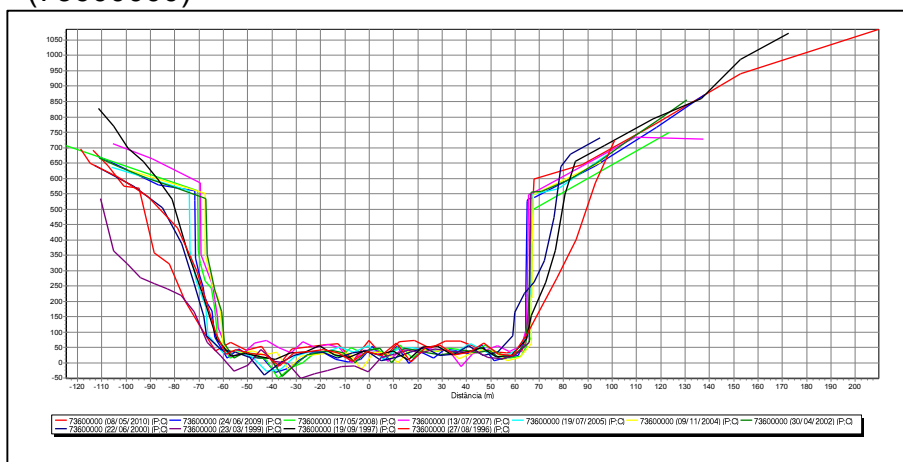
Fonte: A autora.

Figura A130 - Gráfico de perfis transversais da estação de Barca Irani (73350000)



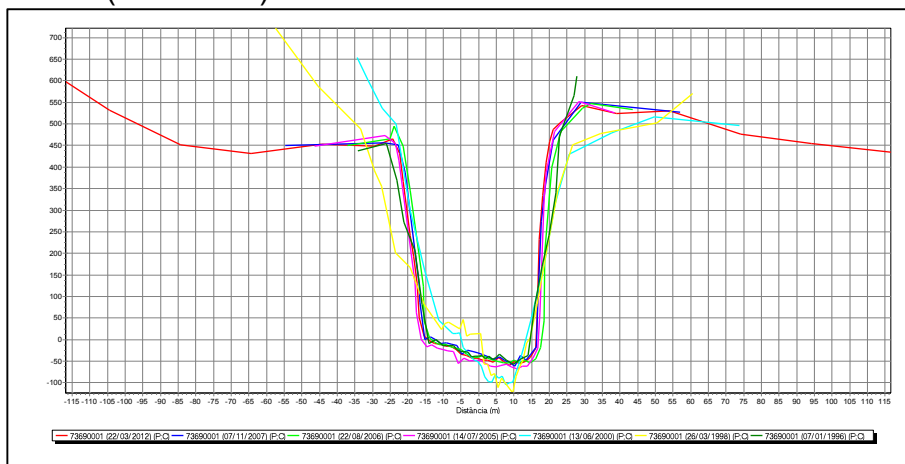
Fonte: A autora.

Figura A131 - Gráfico de perfis transversais da estação de Abelardo Luz (73600000)



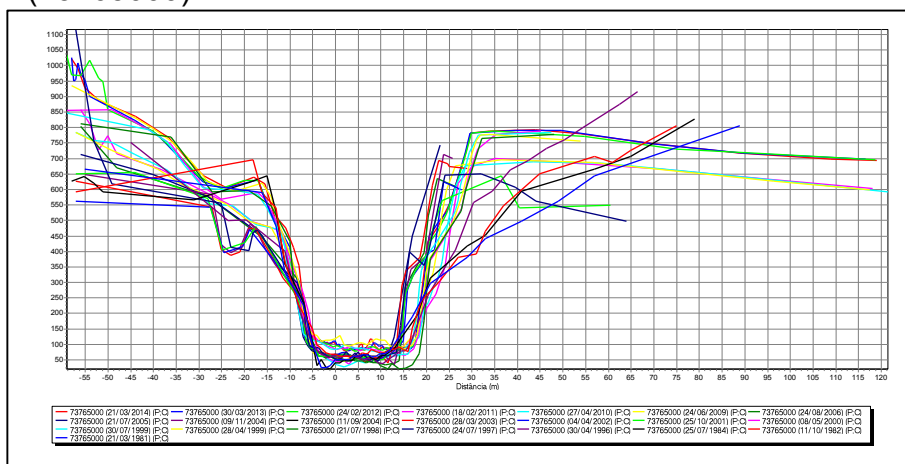
Fonte: A autora.

Figura A132 - Gráfico de perfis transversais da estação de Coronel Passos Maia (73690001)



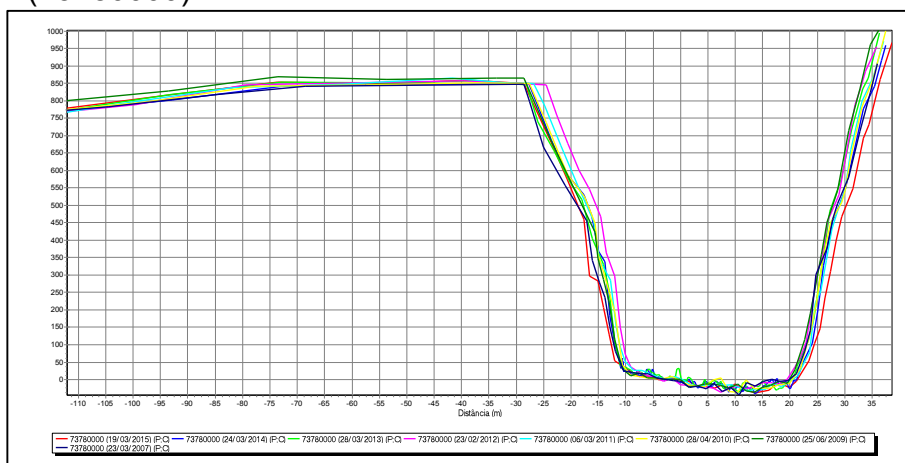
Fonte: A autora.

Figura A133 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo Quilombo (73765000)



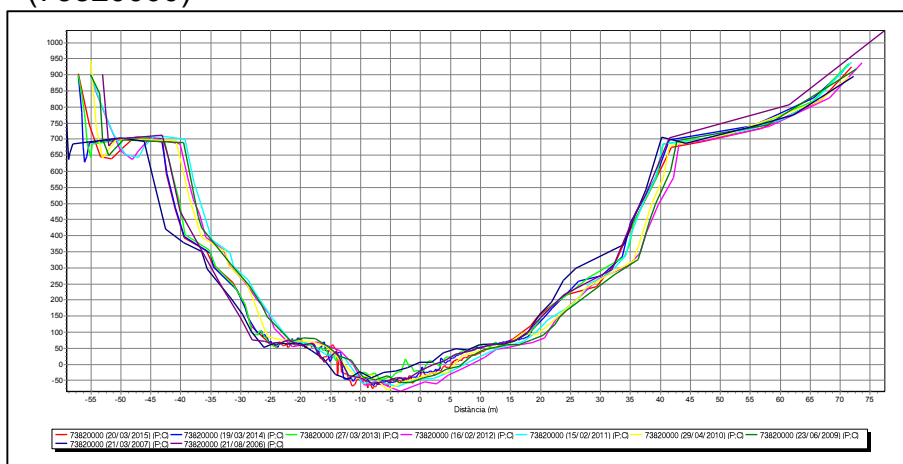
Fonte: A autora.

Figura A134 - Gráfico de perfis transversais da estação de Jardinópolis (73780000)



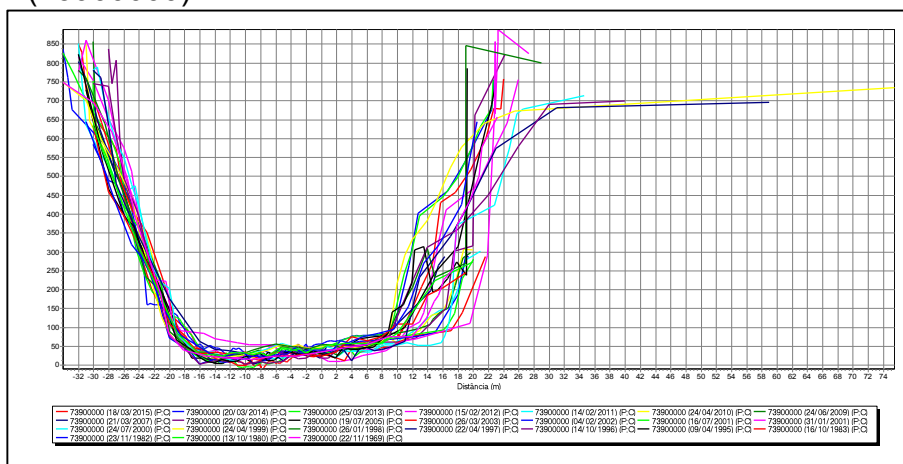
Fonte: A autora.

Figura A135 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo Pio X (73820000)



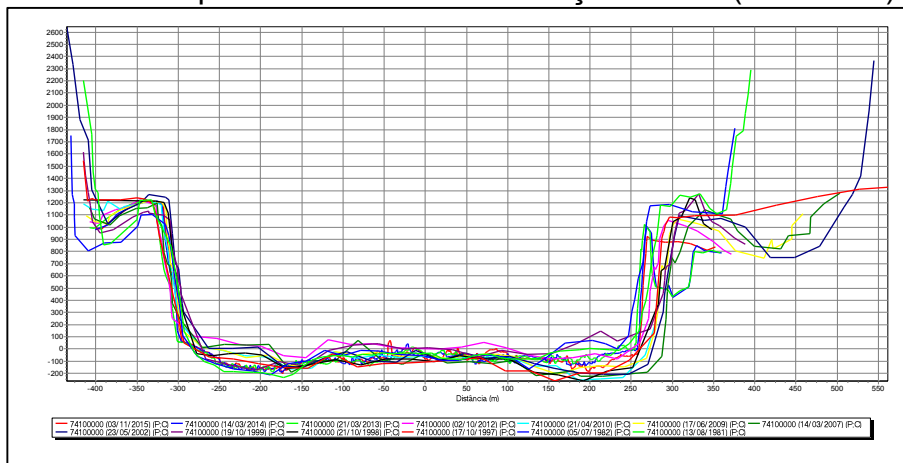
Fonte: A autora.

Figura A136 - Gráfico de perfis transversais da estação de Saudades (73900000)



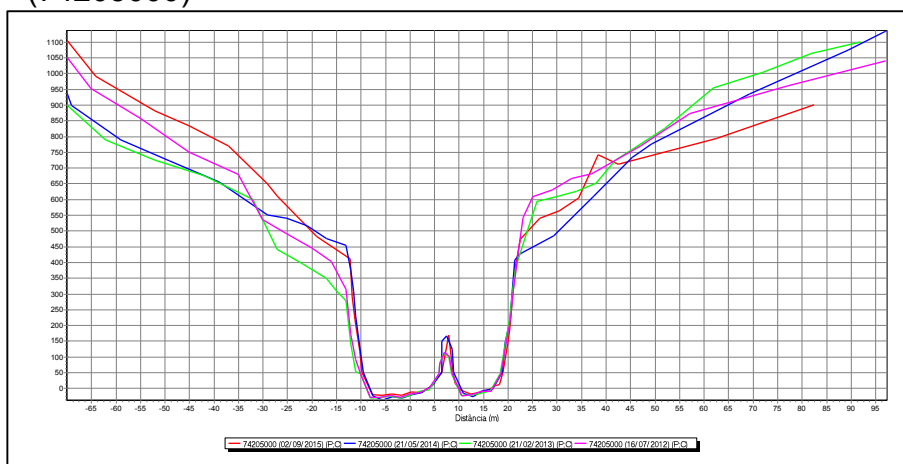
Fonte: A autora.

Figura A137 - Gráfico de perfis transversais da estação de Iraí (74100000)



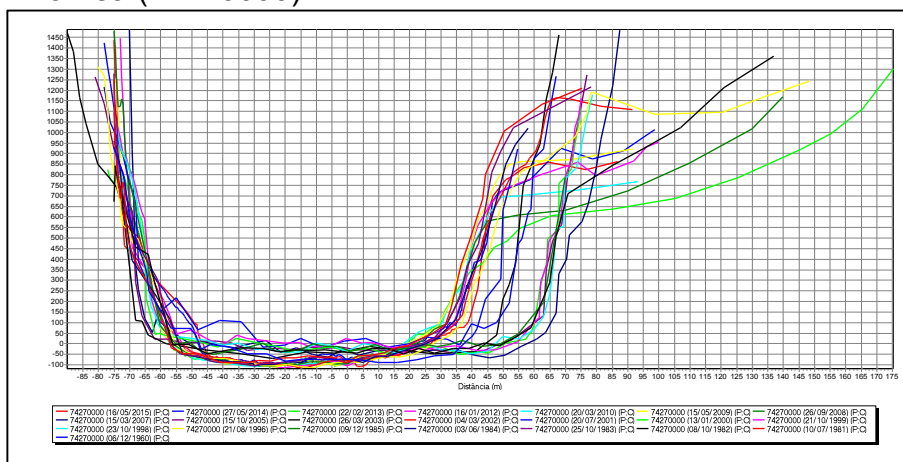
Fonte: A autora.

Figura A138 - Gráfico de perfis transversais da estação de Linha Cescon (74205000)



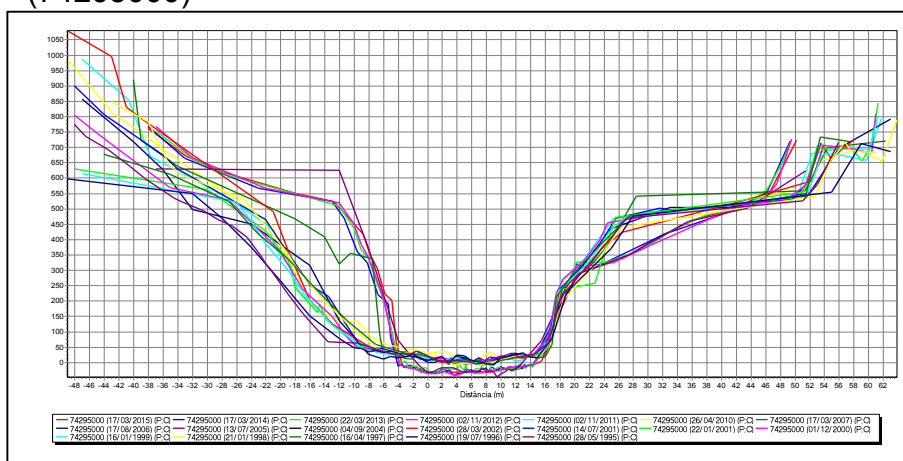
Fonte: A autora.

Figura A139 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo Rio da Várzea (74270000)



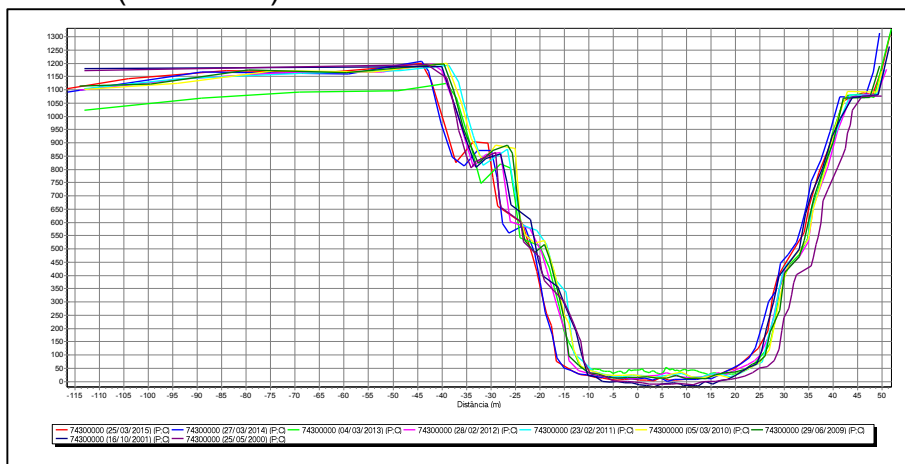
Fonte: A autora.

Figura A140 - Gráfico de perfis transversais da estação de Linha Jatui (74295000)



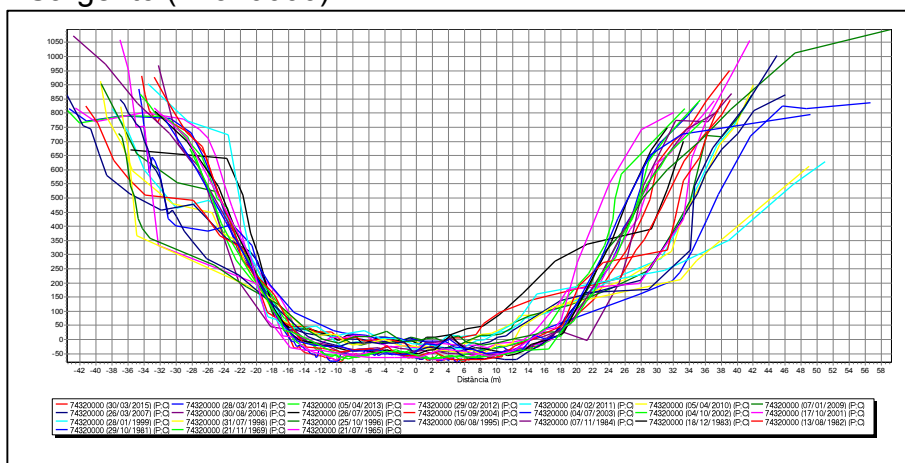
Fonte: A autora.

Figura A141 - Gráfico de perfis transversais da estação de Guatapara de Baixo (74300000)



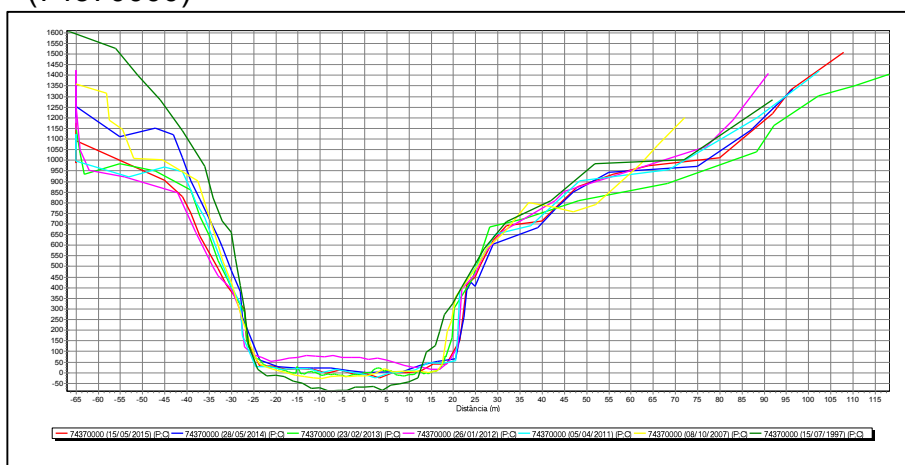
Fonte: A autora.

Figura A142 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ponte Do Sargento (74320000)



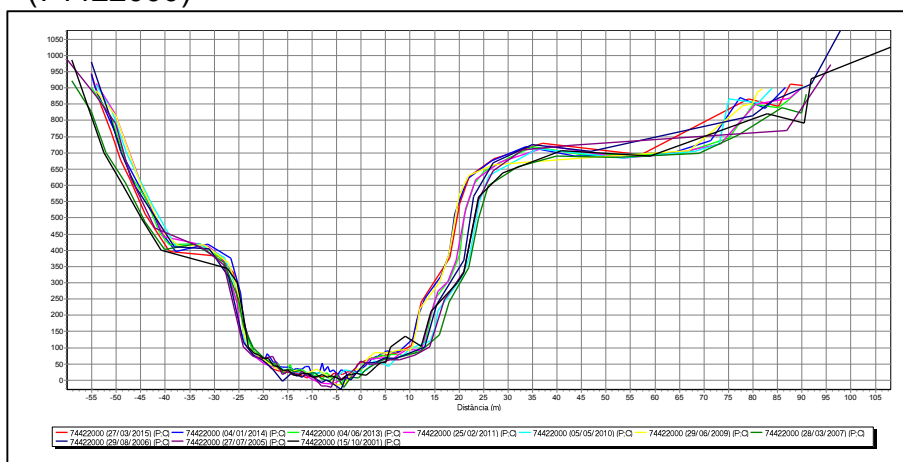
Fonte: A autora.

Figura A143 - Gráfico de perfis transversais da estação de Palmitinho (74370000)



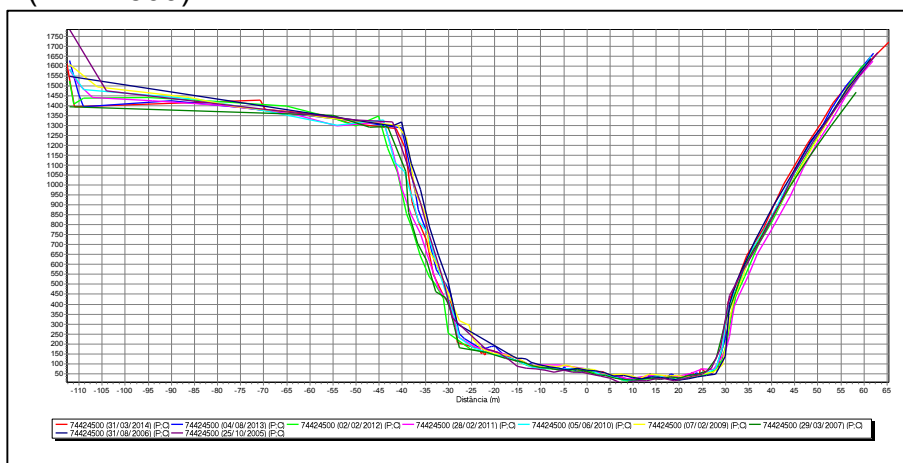
Fonte: A autora.

Figura A144 - Gráfico de perfis transversais da estação de Bandeirante (74422000)



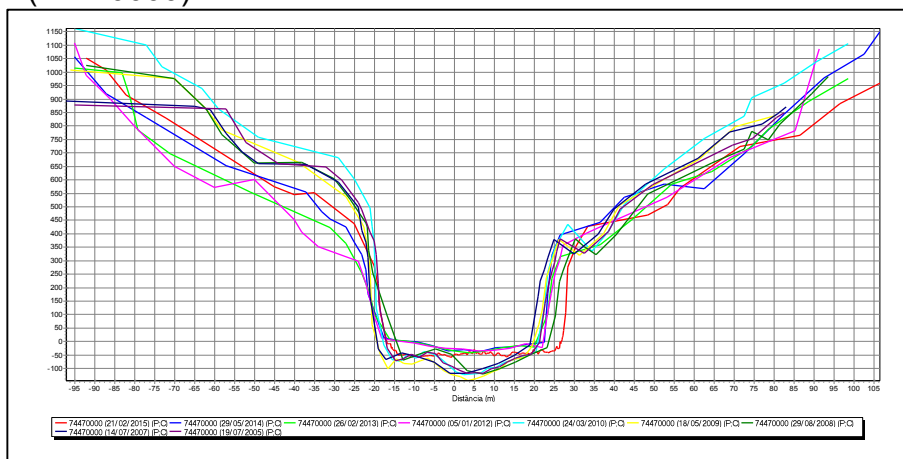
Fonte: A autora.

Figura A145 - Gráfico de perfis transversais da estação de Raigão Alto (74424500)



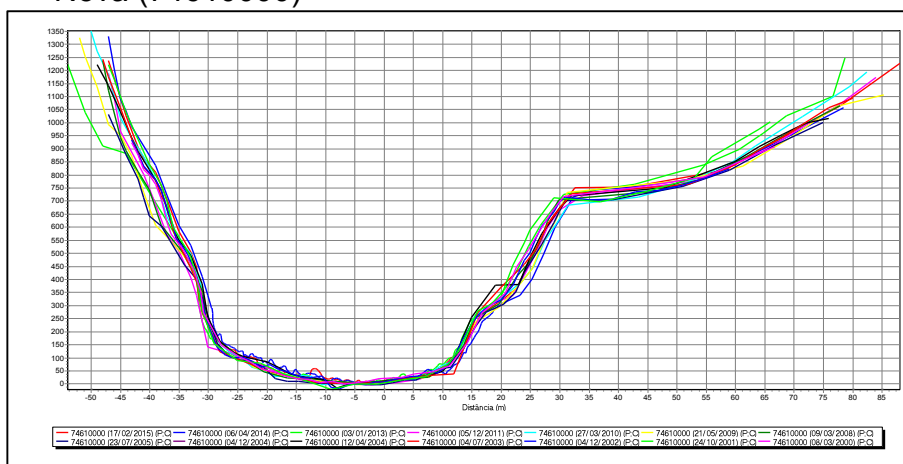
Fonte: A autora.

Figura A146 - Gráfico de perfis transversais da estação de Três Passos (74470000)



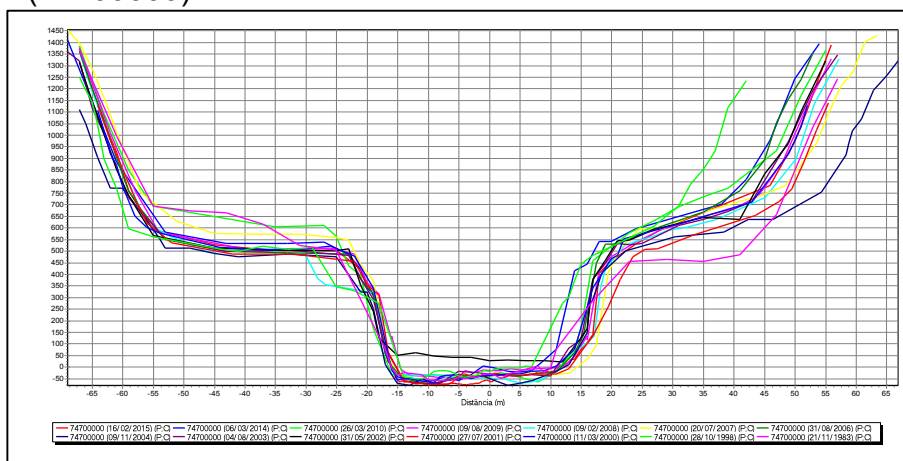
Fonte: A autora.

Figura A147 - Gráfico de perfis transversais da estação de Cascata Burica – Nova (74610000)



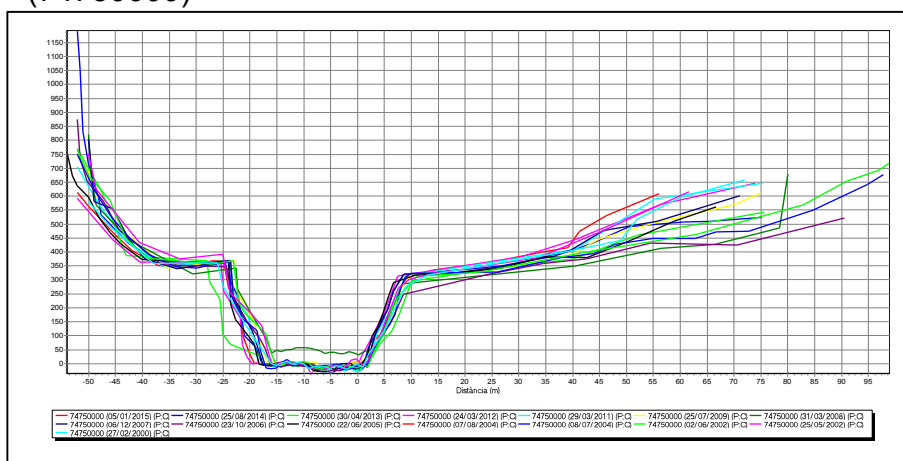
Fonte: A autora.

Figura A148 - Gráfico de perfis transversais da estação de Tucunduva (74700000)



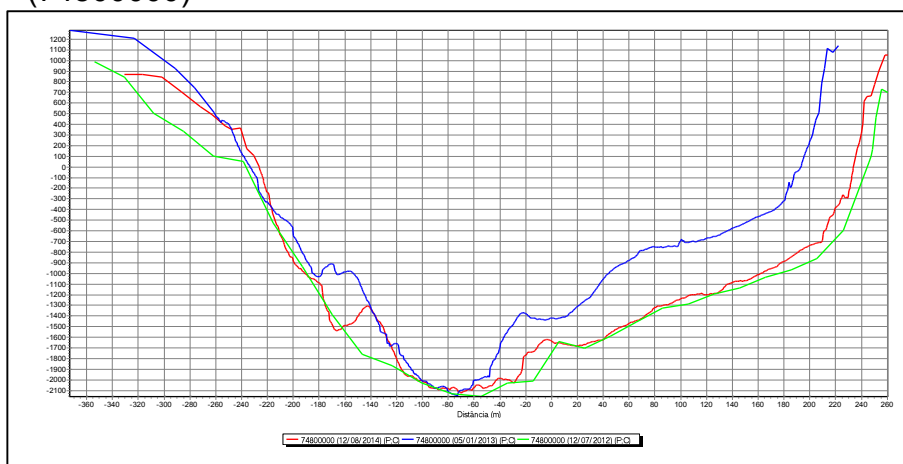
Fonte: A autora.

Figura A149 - Gráfico de perfis transversais da estação de Linha Cascata (74750000)



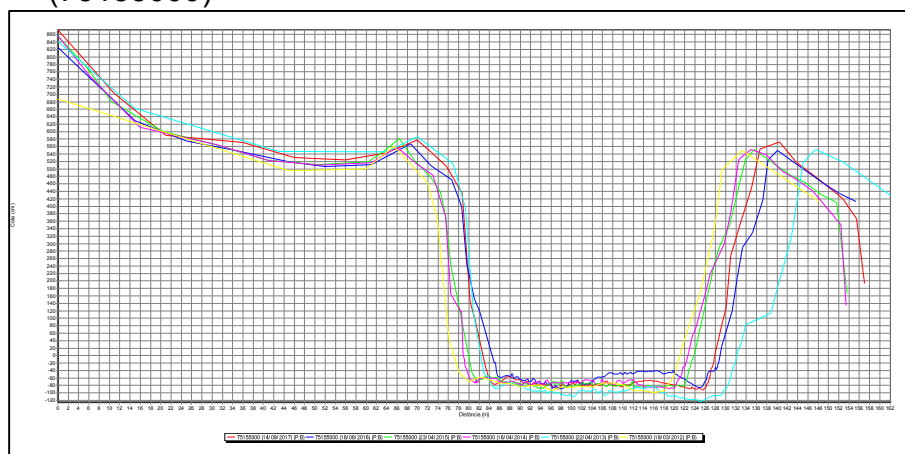
Fonte: A autora.

Figura A150 - Gráfico de perfis transversais da estação de Porto Lucena (74800000)



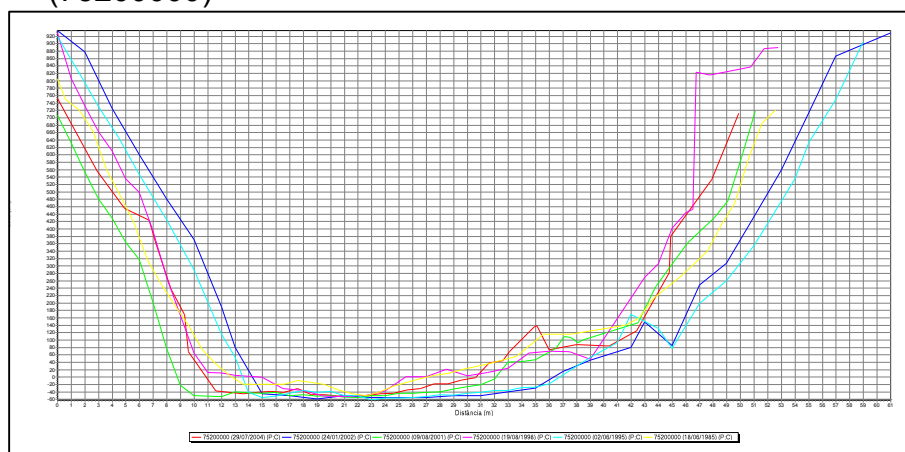
Fonte: A autora.

Figura A151 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo Faxinal (75155000)



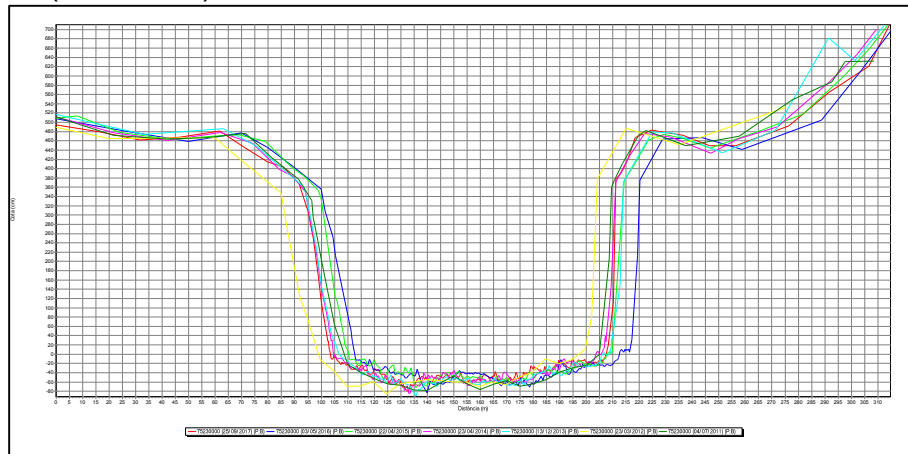
Fonte: A autora.

Figura A152 - Gráfico de perfis transversais da estação de Conceição (75200000)



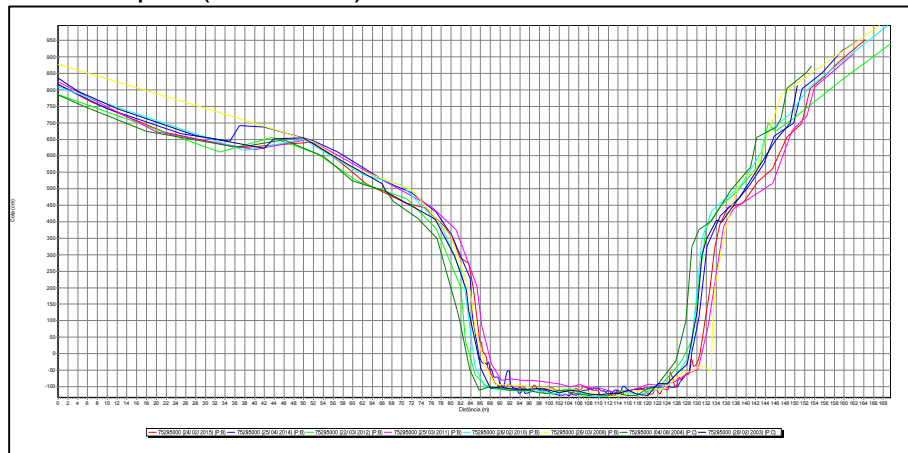
Fonte: A autora.

Figura A153 - Gráfico de perfis transversais da estação de Santo Angelo (75230000)



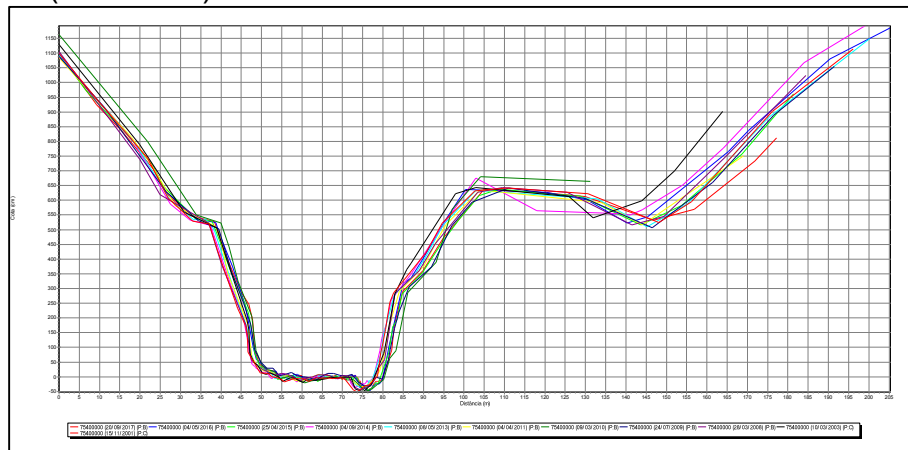
Fonte: A autora.

Figura A154 - Gráfico de perfis transversais da estação de Colônia Mousquer (75295000)



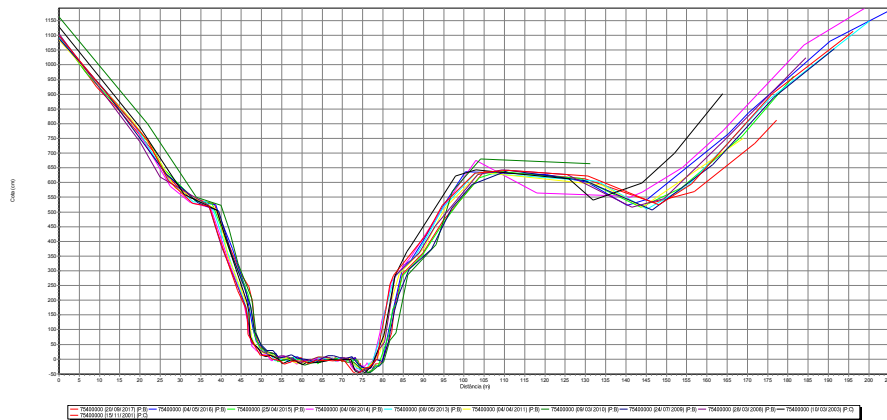
Fonte: A autora.

Figura A155 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo do Dias (75400000)



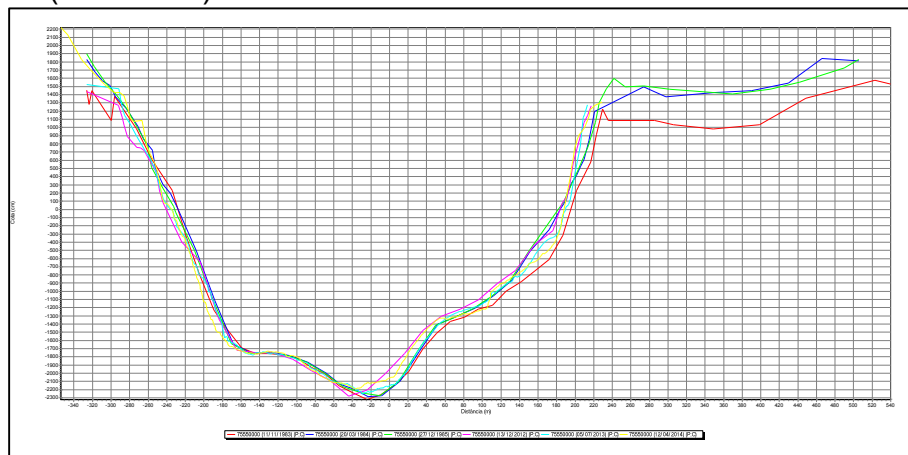
Fonte: A autora.

Figura A156 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo Santa Maria (75450000)



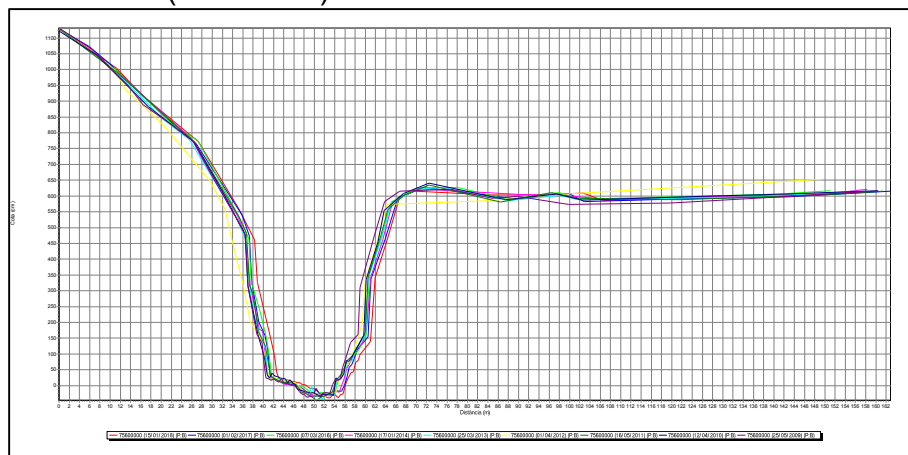
Fonte: A autora.

Figura A157 - Gráfico de perfis transversais da estação de Garruchos (75550000)



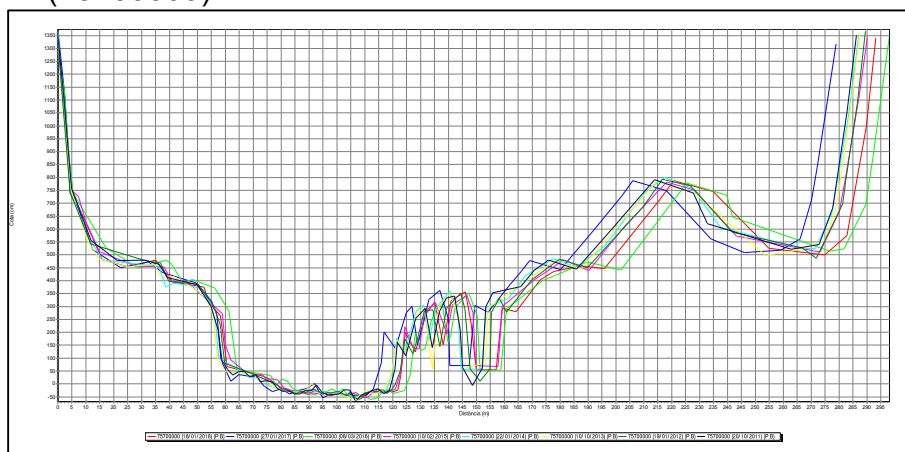
Fonte: A autora.

Figura A158 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo das Turmas (75600000)



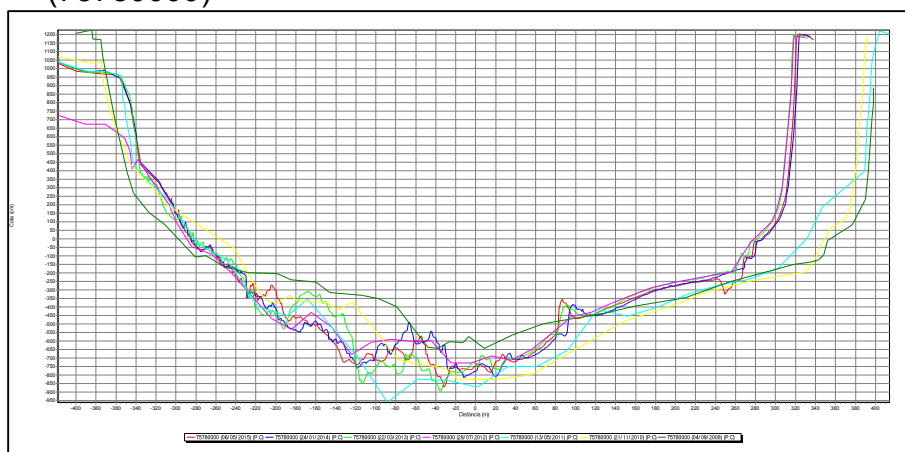
Fonte: A autora.

Figura A159 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo do Novo (75700000)



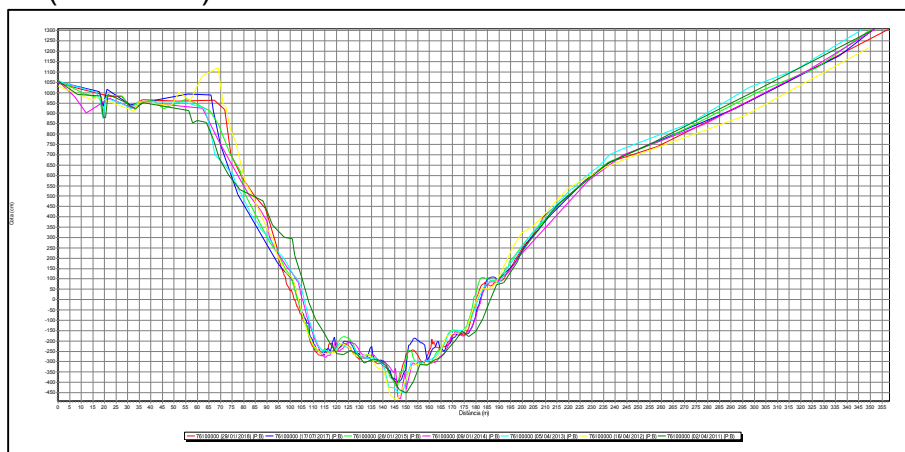
Fonte: A autora.

Figura A160 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo São Borja (75780000)



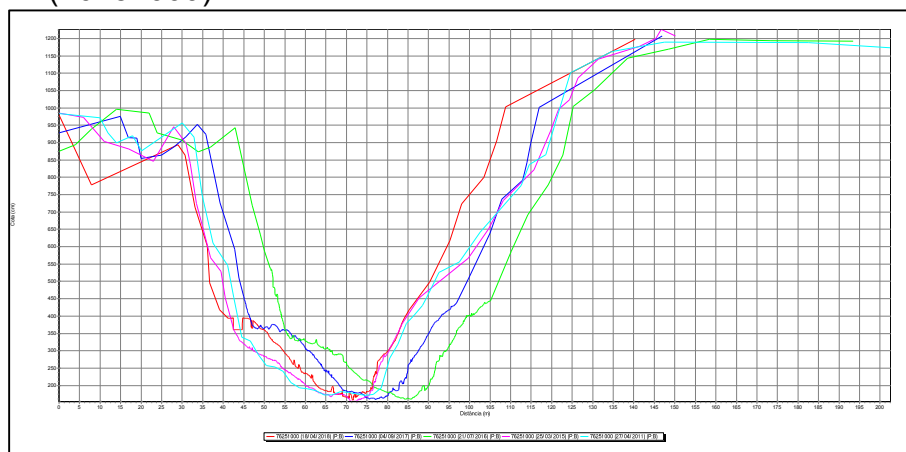
Fonte: A autora.

Figura A161 - Gráfico de perfis transversais da estação de Vila Clara (76100000)



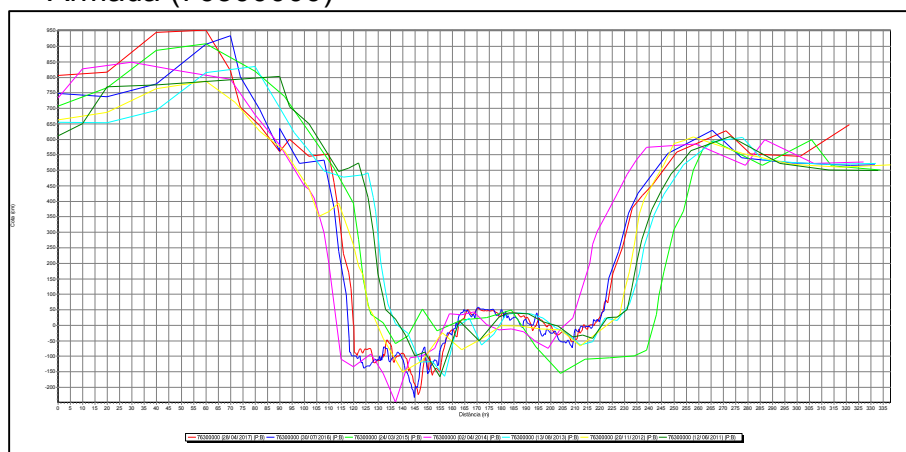
Fonte: A autora.

Figura A162 - Gráfico de perfis transversais da estação de Dom Pedrito (76251000)



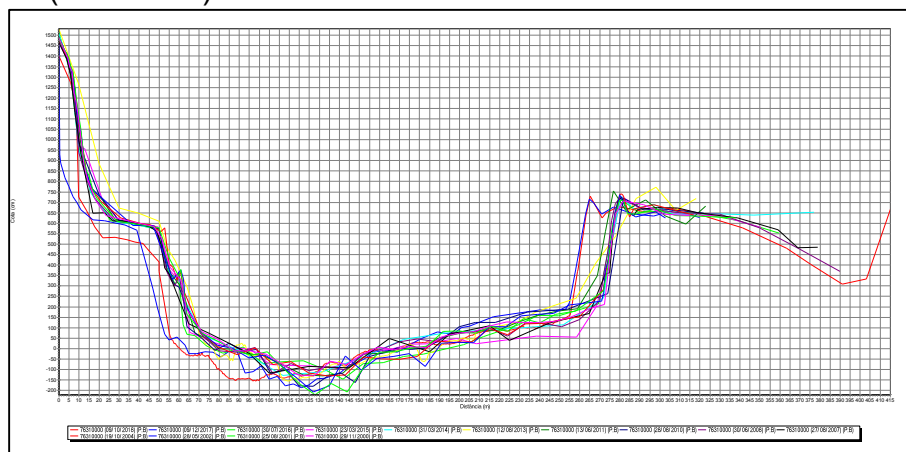
Fonte: A autora.

Figura A163 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ponte Ibicui da Armada (76300000)



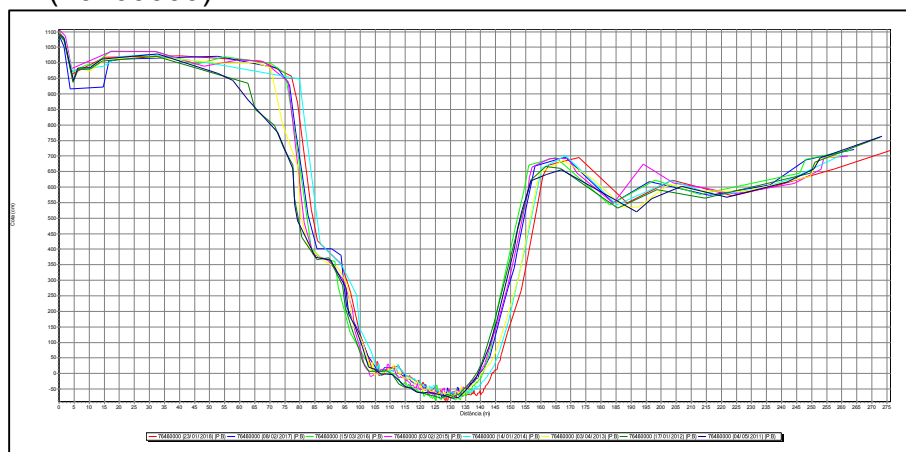
Fonte: A autora.

Figura A164 - Gráfico de perfis transversais da estação de Rosário do Sul (76310000)



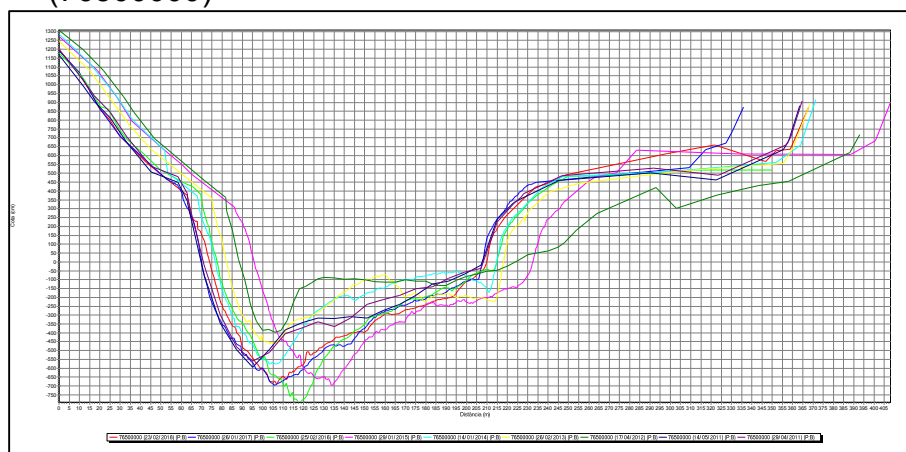
Fonte: A autora.

Figura A165 - Gráfico de perfis transversais da estação de Ernesto Alves (76460000)



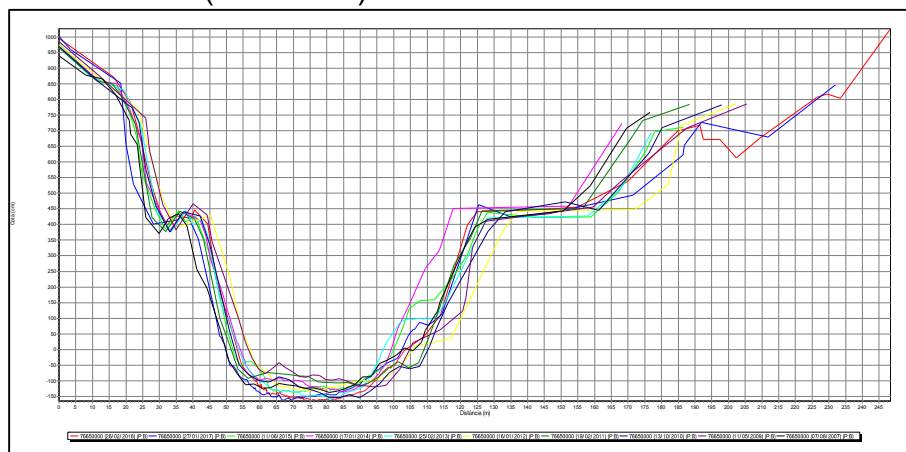
Fonte: A autora.

Figura A166 - Gráfico de perfis transversais da estação de Jacaqua (76500000)



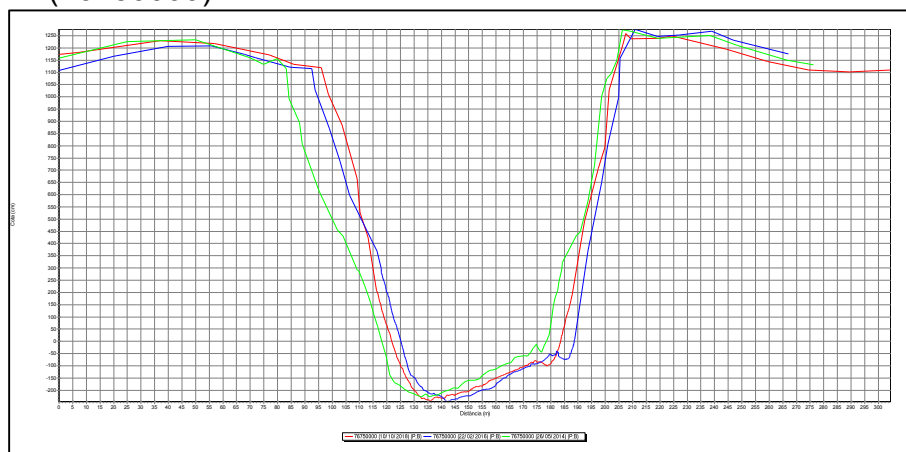
Fonte: A autora.

Figura A167 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo da Cachoeira (76650000)



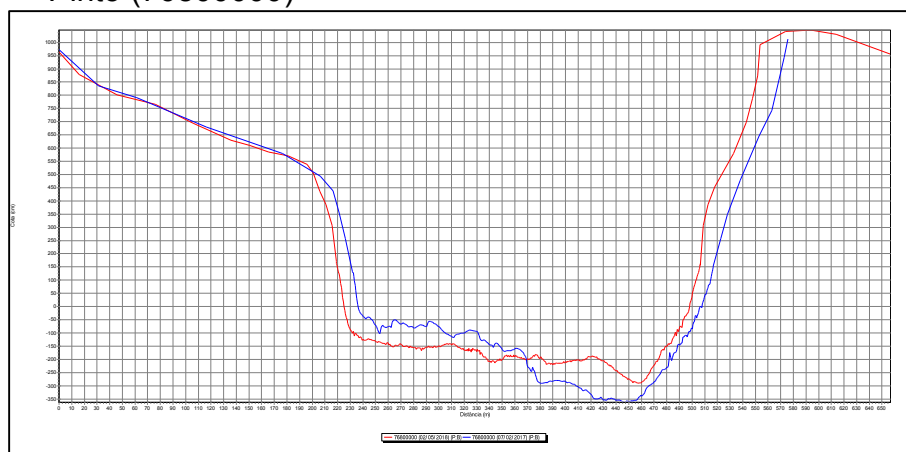
Fonte: A autora.

Figura A168 - Gráfico de perfis transversais da estação de Alegrete (76750000)



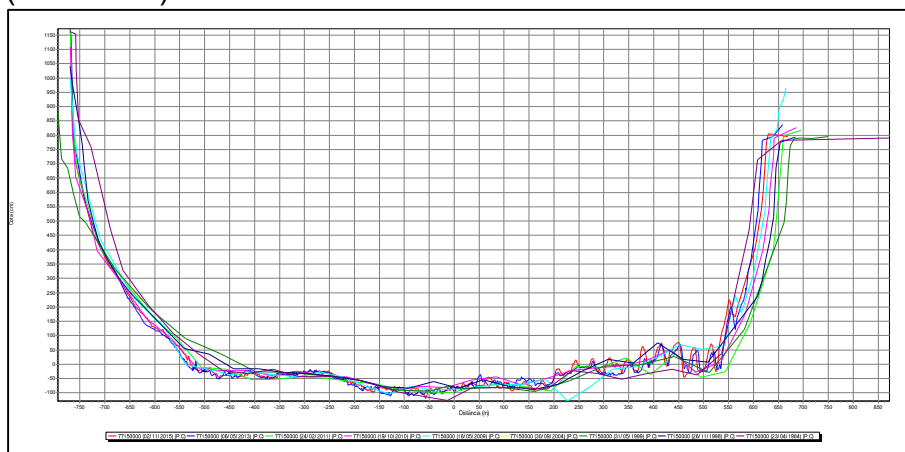
Fonte: A autora.

Figura A169 - Gráfico de perfis transversais da estação de Passo Mariano Pinto (76800000)



Fonte: A autora.

Figura A170 - Gráfico de perfis transversais da estação de Uruguiana (77150000)



Fonte: A autora.

APÊNDICE B - Largura (B) e profundidade média (Hm) dos canais de todas as estações fluviométricas analisadas neste estudo

Tabela B1 - Largura (B) e profundidade média (Hm) dos canais das estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Purus

Código	Nome	Rio	Lat	Long	A_d (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
13180000	MANOEL URBANO	RIO PURUS	-8,89	-69,28	32.714	7,5	214,6	3.491,0
13300000	SERINGAL SÃO JOSÉ	RIO IACO	-9,37	-68,72	11.264	6,7	170,1	1.139,8
13410000	SERINGAL DA CARIDADE	RIO PURUS	-9,04	-68,59	63.108	12,9	261,1	5.022,9
13450000	ASSIS BRASIL	RIO ACRE	-10,95	-69,56	3.722	4,7	86,7	859,1
13470000	BRASILÉIA	RIO ACRE	-11,01	-68,75	7.035	6,6	106,7	1.159,8
13580000	FAZENDA SANTO AFONSO	RIO BRANCO	-10,09	-67,90	6.400	6,2	80,5	555,6
13600002	RIO BRANCO	RIO ACRE	-9,98	-67,80	23.484	10,5	130,3	1.530,8
13650000	FLORIANO PEIXOTO	RIO ACRE	-9,07	-67,40	34.699	9,7	210,7	2.064,9
13710001	VALPARAÍSO - MONTANTE	RIO PURUS	-8,65	-67,38	105.476	12,2	350,4	6.428,5
13740000	FAZENDA BORANGABA	RIO PAUINI	-7,54	-67,48	23.957	9,9	146,4	1.890,7
13750000	SERINGAL FORTALEZA	RIO PURUS	-7,72	-67,00	154.242	16,0	379,5	9.841,0
13870000	LÁBREA	RIO PURUS	-7,26	-64,80	226.939	16,7	471,0	11.769,3
13880000	CANUTAMA	RIO PURUS	-6,54	-64,38	236.373	17,7	478,6	12.493,0
13885000	CRISTO	RIO MUCUIM	-7,43	-64,24	5.789	5,6	171,1	774,2
13886000	BACABA	RIO TAPAUA	-6,31	-64,89	38.228	5,9	292,8	2.951,6
13962000	ARUMÃ - JUSANTE	RIO PURUS	-4,73	-62,14	366.384	24,0	726,1	25.127,3

Tabela B2 - Largura (B) e profundidade média (Hm) dos canais das estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Doce

Código	Nome	Rio	Lat	Long	A_d (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
56028000	PIRANGA	RIO PIRANGA	-20,69	-43,30	1.420	3,3	93,5	130,0
56075000	PORTO FIRME	RIO PIRANGA	-20,67	-43,09	4.281	4,5	153,1	328,6
56090000	FAZENDA VARGINHA	RIO TURVO LIMPO	-20,71	-43,00	328	2,5	21,4	18,9
56110005	PONTE NOVA JUSANTE	RIO PIRANGA	-20,38	-42,90	6.217	3,9	91,2	532,6
56240000	FAZENDA PARAÍSO	RIO GUALAXO DO SUL	-20,39	-43,20	813	2,8	77,0	139,0
56335001	ACAÍACA JUSANTE	RIO DO CARMO	-20,36	-43,14	1.352	3,0	78,4	206,9
56337000	FAZENDA OCIDENTE	RIO GUALAXO DO NORTE	-20,27	-43,10	543	2,8	84,9	112,1
56415000	RIO CASCA	RIO CASCA	-20,23	-42,65	2.036	3,2	64,3	191,5
56425000	FAZENDA CACHOEIRA D'ANTAS	RIO DOCE	-20,00	-42,67	10.072	5,3	279,7	754,5
56500000	ABRE CAMPO	RIO SANTANA	-20,30	-42,48	261	3,2	18,9	38,7
56510000	INSTITUTO FLORESTAL RAUL SOARES	RIO MATIPÓ	-20,10	-42,46	1.886	4,3	106,7	169,7
56520000	VERMELHO VELHO	RIBEIRÃO VERMELHO	-20,00	-42,35	175	2,6	64,3	14,7
56570000	PINGO D'ÁGUA	RIBEIRÃO SACRAMENTO	-19,71	-42,45	851	2,8	86,9	77,8
56610000	RIO PIRACICABA	RIO PIRACICABA	-19,93	-43,17	1.156	3,3	46,6	195,6
56631900	ETA (São Bento Mineração)	RIO CONCEIÇÃO	-19,99	-43,50	282	2,9	41,5	92,09
56659998	NOVA ERA IV	RIO PIRACICABA	-19,77	-43,03	3.044	3,5	114,5	441,1
56719998	BELO ORIENTE	RIO DOCE	-19,33	-42,38	24.233	4,9	272,2	1.522,0
56765000	DOM JOAQUIM	RIO DO PEIXE	-18,96	-43,25	988	2,8	84,4	137,7
56775000	FERROS	RIO SANTO ANTÔNIO	-19,23	-43,02	4.137	4,8	95,2	811,1
56825000	NAQUE VELHO	RIO SANTO ANTÔNIO	-19,19	-42,42	10.252	5,7	191,0	992,1
56845000	FAZENDA CORRENTE	RIO CORRENTE GRANDE	-18,89	-42,71	1.041	3,1	55,7	58,3
56860000	SÃO PEDRO DO SUAÇUÍ	RIO SUAÇUÍ GRANDE	-18,36	-42,60	2.603	3,6	134,0	147,2
56870000	SANTA MARIA DO SUAÇUÍ	RIO SÃO FÉLIX	-18,20	-42,45	620	2,9	62,0	48,2

Código	Nome	Rio	Lat	Long	A_d (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
56915500	JAMPRUCA	RIO ITAMBACURI	-18,46	-41,80	1.401	3,5	33,8	61,7
56920000	TUMIRITINGA	RIO DOCE	-18,97	-41,64	55.222	6,5	434,5	3.068,6
56935000	DOM CAVATI	RIO CARATINGA	-19,37	-42,10	765	3,6	114,0	115,1
56960005	FAZENDA VARGEM ALEGRE	RIO MANHUAÇU	-20,17	-41,96	1.099	4,1	60,9	120,4
56976000	FAZENDA BRAGANÇA	RIO MANHUAÇU	-19,74	-41,79	2.283	4,6	66,1	236,8
56988500	IPANEMA	RIO JOSÉ PEDRO	-19,80	-41,71	1.416	4,0	63,3	166,1
56989001	MUTUM	RIO SÃO MANOEL	-19,81	-41,44	1.188	4,4	64,9	137,0
56989400	ASSARAI MONTANTE	RIO JOSÉ PEDRO	-19,60	-41,45	3.996	3,6	81,4	308,5
56990000	SÃO SEBASTIÃO DA ENCRUZILHADA	RIO MANHUAÇU	-19,50	-41,16	8.719	4,7	124,6	584,1
56990990	AFONSO CLÁUDIO MONTANTE	RIO GUANDU	-20,08	-41,12	436	3,1	36,9	61,4
56991500	LARANJA DA TERRA	RIO GUANDU	-19,90	-41,06	1.342	4,6	44,7	145,0
56992000	BAIXO GUANDU	RIO GUANDU	-19,52	-41,01	2.165	3,2	66,7	214,0
56993551	JUSANTE CÓRREGO DA PIABA	RIO SANTA JOANA	-19,56	-40,73	897	3,3	91,2	105,4
56994500	COLATINA	RIO DOCE	-19,53	-40,63	76.588	6,0	637,1	4.321,0

Tabela B3 - Largura (B) e profundidade média (Hm) dos canais das estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Parnaíba

Código	Nome	Rio	Lat	Long	A_d (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
34020000	ALTO PARNAÍBA	RIO PARNAÍBA	-9,11	-45,93	12.916	4,0	102,4	353,2
34040500	FAZENDA PARACATI II	RIO PARNAÍBA	-8,27	-45,66	25.561	5,0	126,0	570,0
34060000	RIBEIRO GONÇALVES	RIO PARNAÍBA	-7,56	-45,26	31.345	5,1	104,3	604,8
34070000	SÍTIO DO VELHO	RIO PARNAÍBA	-7,38	-44,83	35.273	4,5	116,2	615,8
34130000	BALSAS	RIO DAS BALSAS	-7,53	-46,04	8.977	4,0	75,3	277,1
34142000	BALSINHAS BR-324	RIO PEQUENO	-7,54	-45,82	1.709	2,6	40,8	51,9
34145000	NEVES BR-230	RIO NEVES	-7,04	-45,50	2.156	2,2	38,2	78,8
34160000	SAMBAÍBA	RIO DAS BALSAS	-7,15	-45,35	22.153	5,7	111,4	587,0
34230000	CONTRATO (UNIÃO)	RIO CONTRATO	-9,57	-45,03	766	1,8	21,8	21,2

Código	Nome	Rio	Lat	Long	Ad (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
34243500	PASSAGEM DAS PEDRAS	RIO CURIMATÁ	-9,92	-44,50	7.217	1,8	89,1	5,5
34261000	PONTE BR-324	RIO GURGUÉIA	-8,10	-43,80	40.195	6,3	100,2	27,3
34270000	BARRA DO LANCE	RIO GURGUÉIA	-7,25	-43,65	47.319	6,1	107,9	168,8
34311000	BARÃO DE GRAJAÚ	RIO PARNAÍBA	-6,76	-43,03	140.207	5,6	238,5	1.153,3
34420000	FAZENDA TAPAGÉ	RIO CANINDÉ	-7,47	-41,87	8.836	2,6	33,6	46,5
34450000	MARIA PRETA	RIO ITAIM	-7,55	-41,30	7.196	2,6	106,8	47,2
34465000	PICOS	RIO GUARIBAS	-7,07	-41,45	6.423	2,8	92,5	46,9
34471000	SANTA CRUZ DO PIAUÍ II	RIO ITAIM	-7,19	-41,77	17.724	3,3	112,0	145,6
34480000	FAZENDA TALHADA	RIO CANINDÉ	-6,97	-42,11	29.123	3,7	81,0	196,1
34564000	SÃO JOÃO DO PIAUÍ	RIO PIAUÍ	-8,36	-42,25	15.678	3,6	78,5	47,7
34571000	SÃO FRANCISCO DO PIAUÍ	RIO PIAUÍ	-7,23	-42,55	34.532	4,5	35,8	48,4
34660000	FAZENDA VENEZA	RIO PARNAÍBA	-5,57	-43,03	234.975	5,7	239,8	1.429,7
34730000	CROATÁ	RIO MACAMBIRA	-4,42	-40,91	1.011	1,5	79,5	20,7
34740000	SAUDOSO	RIO MACAMBIRA	-4,62	-41,13	2.193	2,1	55,6	37,5
34750000	FAZENDA BOA ESPERANÇA	RIO POTI	-5,22	-41,74	19.186	5,3	109,7	410,8
34751000	SANTA CRUZ DOS MILAGRES	RIO SÃO NICOLAU	-5,80	-41,96	5.114	3,5	90,5	238,2
34820000	COELHO NETO	RIO PARNAÍBA	-4,29	-42,98	293.756	6,1	326,6	2.470,1
34879500	LUZILÂNDIA	RIO PARNAÍBA	-3,45	-42,37	298.402	6,1	314,2	2.236,2

Tabela B4 - Largura (B) e profundidade média (H_m) dos canais das estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Paraguai

Código	Nome	Rio	Lat	Long	Ad (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
66006000	NORTELÂNDIA	RIO SANTANA	-14,45	-56,81	1.649	3,1	59,5	185,8
66008000	JAUQUARA	RIO JAUQUARA	-15,16	-57,07	1.282	4,2	46,2	194,2
66010000	BARRA DO BUGRES	RIO PARAGUAI	-15,10	-57,19	9.285	4,2	124,4	607,0
66015000	PORTO ESTRELA	RIO PARAGUAI	-15,32	-57,23	12.150	3,9	100,5	651,8
66050000	TAPIRAPUÃ	RIO SEPOTUBA	-14,85	-57,77	5.336	2,8	101,0	452,2
66055000	SÃO JOSÉ DO SEPOTUBA	RIO SEPOTUBA	-15,10	-57,68	8.156	4,9	90,1	631,0

Código	Nome	Rio	Lat	Long	Ad (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
66065000	ESTRADA MT-125	RIO CABAÇAL	-15,47	-57,89	3.629	4,4	63,4	270,6
66071400	ÁGUA SUJA	RIO JAURU	-15,50	-58,60	2.887	3,1	73,1	276,2
66072000	PORTO ESPERIDIÃO	RIO JAURU	-15,85	-58,46	5.657	3,4	72,2	318,1
66110000	PERTO DE POCONÉ	RIO BENTO GOMES	-16,31	-56,53	2.951	3,2	53,6	119,5
66120000	PORTO CONCEIÇÃO	RIO PARAGUAI	-17,15	-57,39	64.715	6,9	137,7	660,5
66140000	MARZAGÃO	RIO CUIABÁ	-14,54	-55,82	2.367	4,4	112,5	476,8
66250001	ROSÁRIO OESTE	RIO CUIABÁ	-14,83	-56,41	16.219	6,3	188,6	1.486,4
66255000	ACORIZAL	RIO CUIABÁ	-15,21	-56,36	19.774	6,5	166,0	1.569,3
66280000	BARÃO DE MELGAÇO	RIO CUIABÁ	-16,19	-55,97	29.109	6,7	125,0	1.065,1
66370000	ILHA CAMARGO	RIO CUIABÁ	-17,06	-56,59	38.905	6,3	115,6	644,0
66380000	SÃO PEDRO DA CIPA	RIO SÃO LOURENÇO	-16,00	-54,93	3.274	3,2	62,9	294,7
66400000	SÃO LOURENÇO DE FÁTIMA	RIO SÃO LOURENÇO	-16,31	-54,92	7.014	5,0	85,3	476,6
66430000	JARUDORE	RIO VERMELHO	-16,20	-54,30	3.833	3,4	90,4	389,3
66450001	RONDONÓPOLIS	RIO VERMELHO	-16,48	-54,65	12.427	6,0	154,2	836,5
66455000	PONTE DE PEDRA	RIO PONTE DE PEDRA	-16,65	-54,73	1.789	2,9	33,4	62,2
66460000	ACIMA DO CÓRREGO GRANDE	RIO SÃO LOURENÇO	-16,61	-55,21	23.142	4,9	86,7	897,2
66470000	SÃO JOSÉ DO BORIRÉU	RIO SÃO LOURENÇO	-16,93	-56,18	24.824	3,8	95,1	402,4
66490000	ESTRADA BR-163	RIO CORRENTES	-17,61	-54,83	3.953	2,8	59,3	127,8
66520000	ITIQUIRA	RIO ITIQUIRA	-17,21	-54,15	3.017	3,9	58,5	333,3
66600000	SÃO JERÔNIMO	RIO PIQUIRI	-17,20	-56,01	24.244	4,0	140,7	543,7
66750000	PORTO DO ALEGRE	RIO CUIABÁ	-17,62	-56,97	103.862	5,0	176,5	980,8
66800000	AMOLAR	RIO PARAGUAI	-18,04	-57,49	234.628	8,2	231,1	1.799,4
66810000	SÃO FRANCISCO	RIO PARAGUAI	-18,39	-57,39	241.123	9,9	325,9	2.996,4
66845000	PEDRO GOMES	RIO TAQUARI	-18,17	-54,47	9.807	4,4	101,9	362,3
66849000	CONFLUÊNCIA RIO JAURU	RIO COXIM	-18,73	-54,58	7.584	3,8	84,3	334,4
66850000	CONTRAVERTENTE	RIO JAURU	-18,72	-54,53	6.335	3,3	62,1	189,9
66865000	PRÓXIMO RIO VERDE	RIO TAQUARIZINHO	-18,90	-54,81	497	3,4	36,0	100,0

Código	Nome	Rio	Lat	Long	Ad (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
66895000	PORTO DA MANGA	RIO PARAGUAI	-19,26	-57,24	327.041	10,2	271,5	3038,3

Tabela B5 - Largura (B) e profundidade média (H_m) dos canais das estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Uruguai

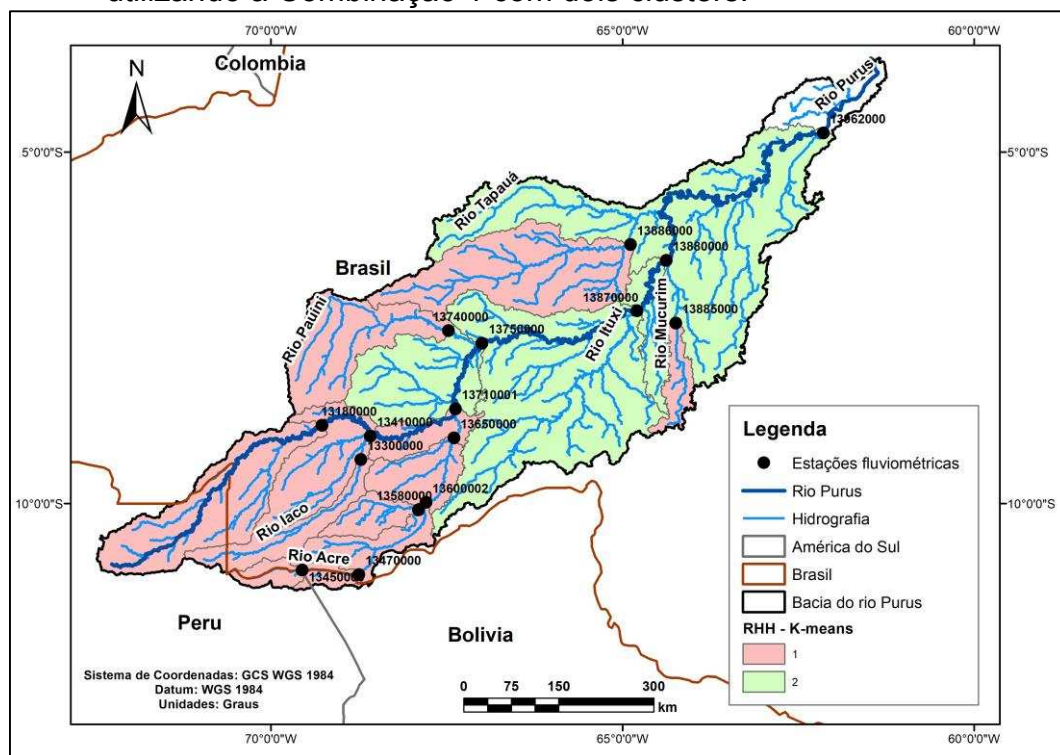
Código	Nome	Rio	Lat	Long	Ad (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
70200000	INVERNADA VELHA	RIO PELOTAS	-28,44	-50,30	2.776	9,8	160,3	1.283,5
70300000	FAZENDA MINEIRA	RIO LAVA TUDO	-28,09	-50,06	1.162	7,4	102,0	789,6
70700000	PASSO SOCORRO	RIO PELOTAS	-28,21	-50,75	8.356	12,1	174,3	2.576,8
71200000	VILA CANOAS	RIO CANOAS	-27,80	-49,78	1.006	5,7	45,8	237,8
71250000	PONTE DO RIO JOÃO PAULO	RIO JOÃO PAULO	-27,83	-49,63	485	6,9	51,9	107,4
71350001	ENCRUZILHADA II	RIO CANOAS	-27,52	-50,12	3.317	8,4	70,3	352,4
71498000	PASSO MAROMBAS	RIO DAS MAROMBAS	-27,33	-50,75	3.643	9,9	168,7	703,9
71550000	PASSO CARU	RIO CANOAS	-27,54	-50,86	10.250	8,9	236,4	1.816,2
72430000	PASSO DO GRANZOTTO	RIO FORQUILHA	-27,88	-51,75	1.627	8,5	116,6	431,9
72715000	RIO DAS ANTAS	RIO DO PEIXE	-26,90	-51,08	806	4,7	85,0	234,1
72849000	JOAÇABA I	RIO DO PEIXE	-27,16	-51,48	3.738	10,7	144,2	1.140,1
72870000	BARRA DO RIO PARDO	RIO LEÃO	-27,32	-51,53	436	2,8	96,9	210,0
73170000	UHE ITÁ RIO JACUTINGA	RIO JACUTINGA	-27,16	-52,14	872	6,4	72,3	560,1
73300000	BONITO	RIO IRANI	-26,95	-52,18	642	4,9	57,8	224,9
73330000	PASSO ALTO IRANI	RIO IRANI	-26,97	-52,37	936	6,2	85,6	363,4
73350000	BARCA IRANI	RIO IRANI	-27,17	-52,52	1.486	8,0	96,9	665,9
73600000	ABELARDO LUZ	RIO CHAPECÓ	-26,56	-52,33	1.836	4,9	194,4	484,3
73690001	CORONEL PASSOS MAIA	RIO CHAPECOZINHO	-26,77	-52,03	747	3,9	45,1	228,2
73765000	PASSO QUILOMBO	RIO DO OURO	-26,76	-52,75	270	3,0	71,3	200,3
73780000	JARDINÓPOLIS	RIO TRÊS VOLTAS	-26,74	-52,90	656	5,9	57,5	378,6
73820000	PASSO PIO X	RIO BURRO BRANCO	-26,85	-52,90	1.044	5,5	120,6	598,8
73900000	SAUDADES	RIO SAUDADES	-26,92	-53,01	416	4,0	53,8	223,3
74100000	IRAÍ	RIO URUGUAI	-27,18	-53,23	61.914	10,4	723,8	14.605,0

Código	Nome	Rio	Lat	Long	A_d (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
74205000	LINHA CESCUN	ARROIO CATURETE	-27,81	-53,03	439	4,1	141,1	199,8
74270000	PASSO RIO DA VÁRZEA	RIO DA VÁRZEA	-27,28	-53,31	5.354	8,6	159,8	2.820,3
74295000	LINHA JATAI	RIO IRACEMA	-27,01	-53,29	300	3,6	94,5	176,5
74300000	GUATAPARA DE BAIXO	RIO DAS ANTAS	-26,58	-53,43	821	7,3	85,5	1.709,7
74320000	PONTE DO SARGENTO	RIO SARGENTO	-26,68	-53,28	615	5,9	74,4	386,7
74370000	PALMITINHO	RIO GUARITA	-27,33	-53,65	2.019	6,2	141,4	649,2
74422000	BANDEIRANTE	RIO DAS FLORES	-26,78	-53,67	520	4,4	143,5	595,5
74424500	RAIGÃO ALTO	RIO PEPERI GUAÇU	-26,93	-53,70	2.076	7,4	169,4	1.903,5
74470000	TRÊS PASSOS	RIO TURVO	-27,39	-53,88	1.547	5,1	168,6	418,7
74610000	CASCATA BURICA - NOVA	RIO BURICÁ	-27,52	-54,23	2.260	5,8	120,6	703,5
74700000	TUCUNDUVA	RIO SANTA ROSA	-27,67	-54,46	1.132	8,3	121,4	322,0
74750000	LINHA CASCATA	RIO SANTO CRISTO	-27,85	-54,56	346	2,9	122,6	125,1
74800000	PORTO LUCENA	RIO URUGUAI	-27,85	-55,03	95.117	18,4	563,5	21.647,1
75155000	PASSO FAXINAL	RIO IJUÍ	-28,29	-53,78	2.005	3,3	53,4	428,1
75200000	CONCEIÇÃO	RIO CONCEIÇÃO	-28,46	-53,97	808	5,6	50,1	192,0
75230000	SANTO ANGELO	RIO IJUÍ	-28,36	-54,27	5.490	2,6	265,5	1.013,1
75295000	COLÔNIA MOUSQUER	RIO IJUIZINHO	-28,39	-54,33	2.168	4,3	149,8	597,4
75400000	PASSO DO DIAS	RIO PIRATINIM	-28,65	-54,46	939	5,1	163,4	508,7
75450000	PASSO SANTA MARIA	RIO PIRATINIM	-28,58	-54,91	3.239	5,1	213,7	764,3
75550000	GARRUCHOS	RIO URUGUAI	-28,18	-55,64	11.5973	23,3	441,5	15.640,9
75600000	PASSO DAS TURMAS	RIO ICAMAQUA	-28,83	-54,86	389	1,4	115,8	298,9
75700000	PASSO DO NOVO	RIO ICAMAQUA	-28,68	-55,58	3.709	9,5	287,6	1.282,7
75780000	PASSO SÃO BORJA	RIO URUGUAI	-28,62	-56,04	124.683	12,2	758,2	15.944,1
76100000	VILA CLARA	RIO TOROPI	-29,56	-54,34	2.780	6,2	294,2	835,9
76251000	DOM PEDRITO	RIO SANTA MARIA	-30,98	-54,70	2.150	4,3	103,4	350,1
76300000	PONTE IBICUI DA ARMADA	RIO IBICUÍ DA ARMADA	-30,28	-54,91	6.025	4,1	166,7	1.097,6
76310000	ROSÁRIO DO SUL	RIO SANTA MARIA	-30,24	-54,91	12.155	4,9	260,6	1.806,6

Código	Nome	Rio	Lat	Long	A_d (km²)	H_m	B	Q_{T=2}
76460000	ERNESTO ALVES	RIO JAQUARIZINHO	-29,36	-54,74	926	3,0	188,1	980,0
76500000	JACAQUA	RIO IBICUÍ	-29,69	-55,19	27.806	6,7	338,7	3.618,1
76650000	PASSO DA CACHOEIRA	RIO ITU	-29,31	-55,71	2.564	5,0	177,6	463,8
76750000	ALEGRETE	RIO IBIRAPUITÃ	-29,77	-55,79	5.932	8,9	126,3	784,3
76800000	PASSO MARIANO PINTO	RIO IBICUÍ	-29,31	-56,05	42.524	7,3	540,2	4.257,0
77150000	URUGUAIANA	RIO URUGUAI	-29,74	-57,10	190.257	8,4	1493,8	18.298,0

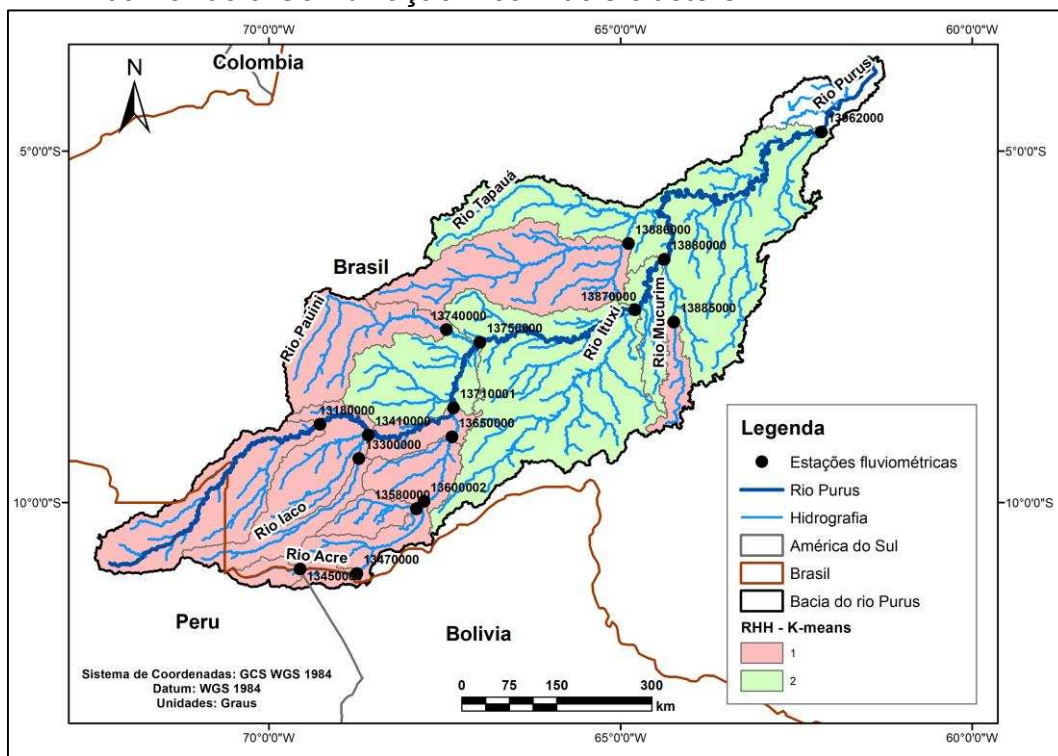
APÊNDICE C - Resultados do método de análise de cluster K-means com nove combinações de características aglomerativas e número de clusters variando de dois a cinco

Figura C1 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 1 com dois clusters.



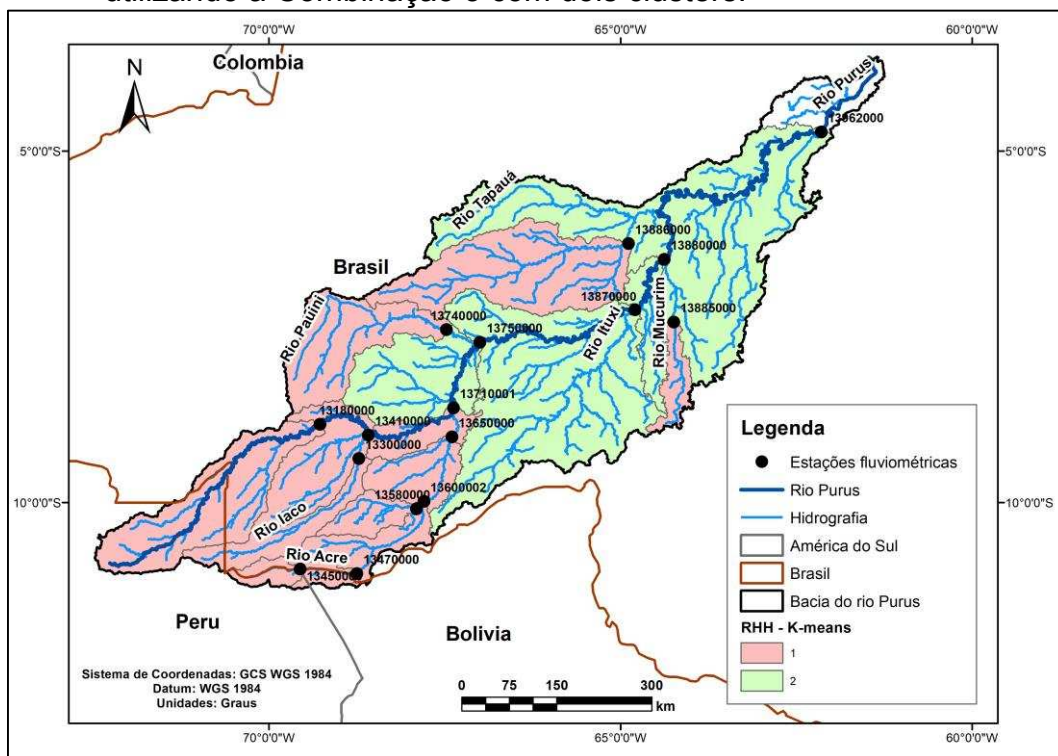
Fonte: a autora.

Figura C2 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com dois clusters.



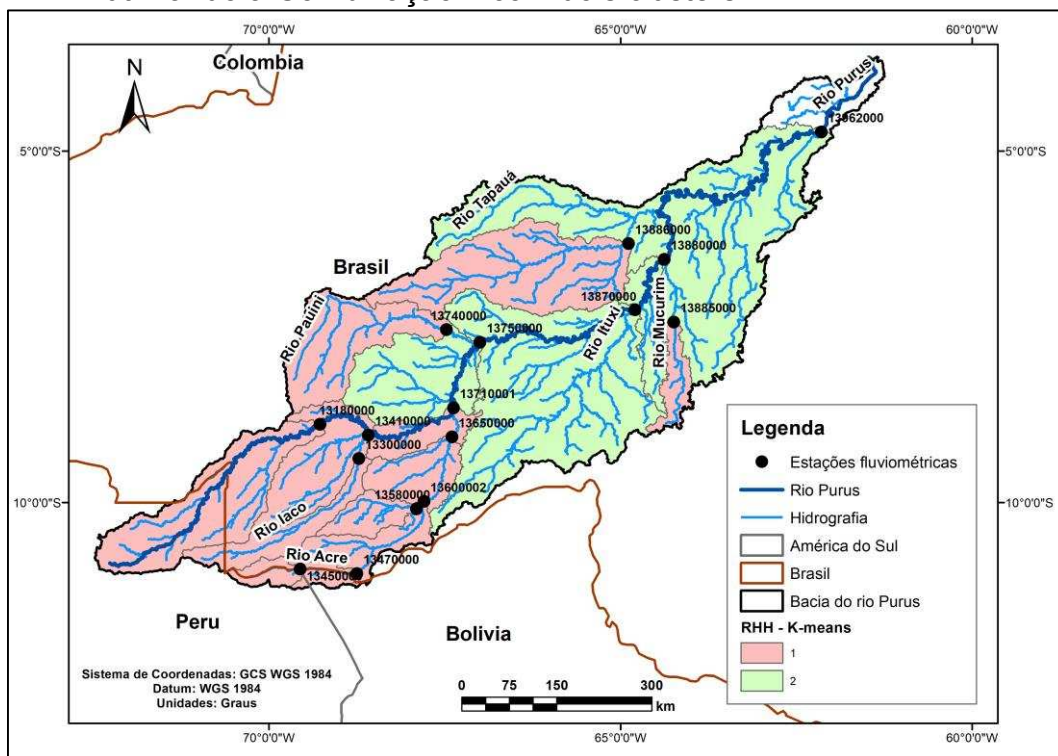
Fonte: a autora.

Figura C3 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 3 com dois clusters.



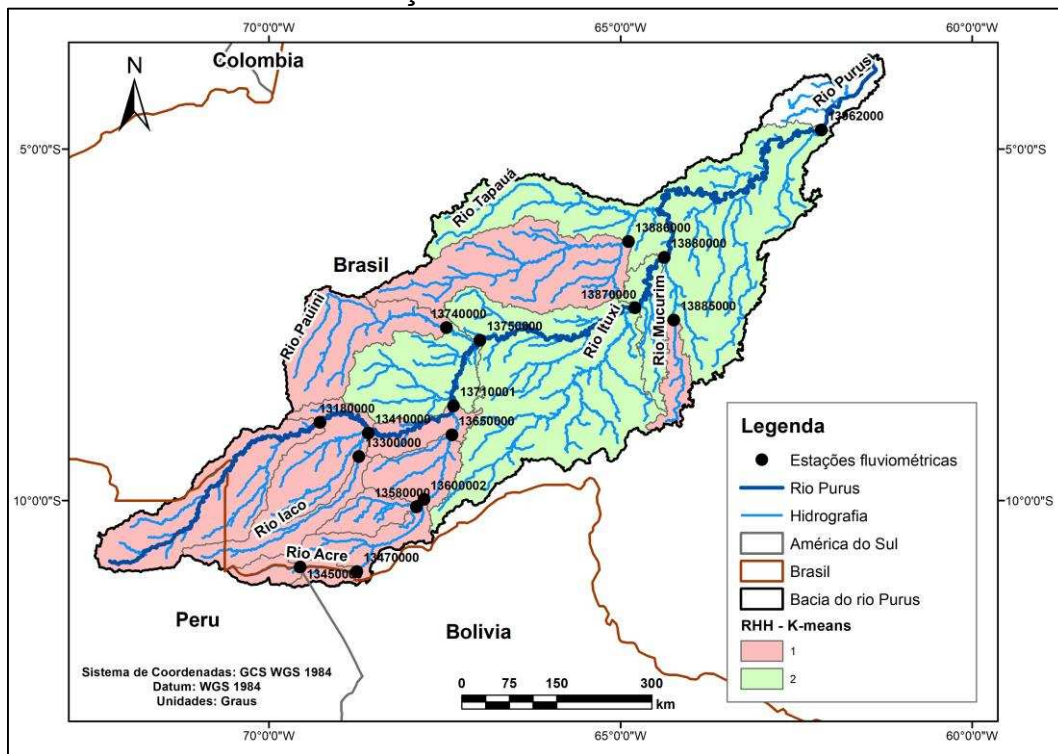
Fonte: a autora.

Figura C4 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 4 com dois clusters.



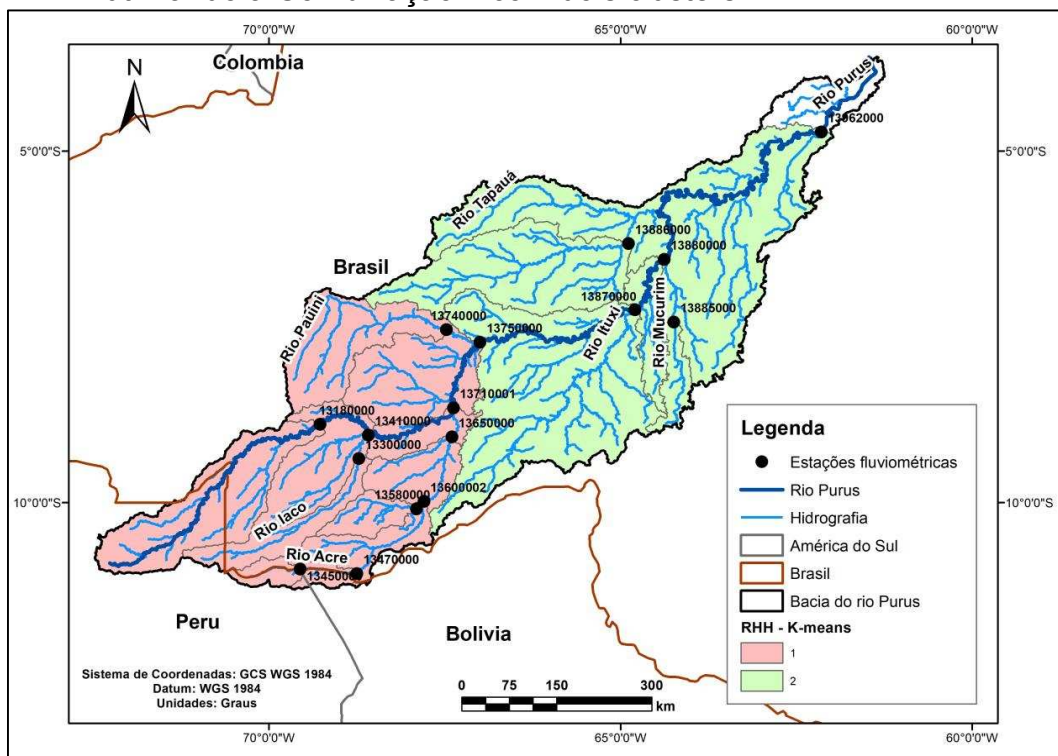
Fonte: a autora.

Figura C5 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 5 com dois clusters.



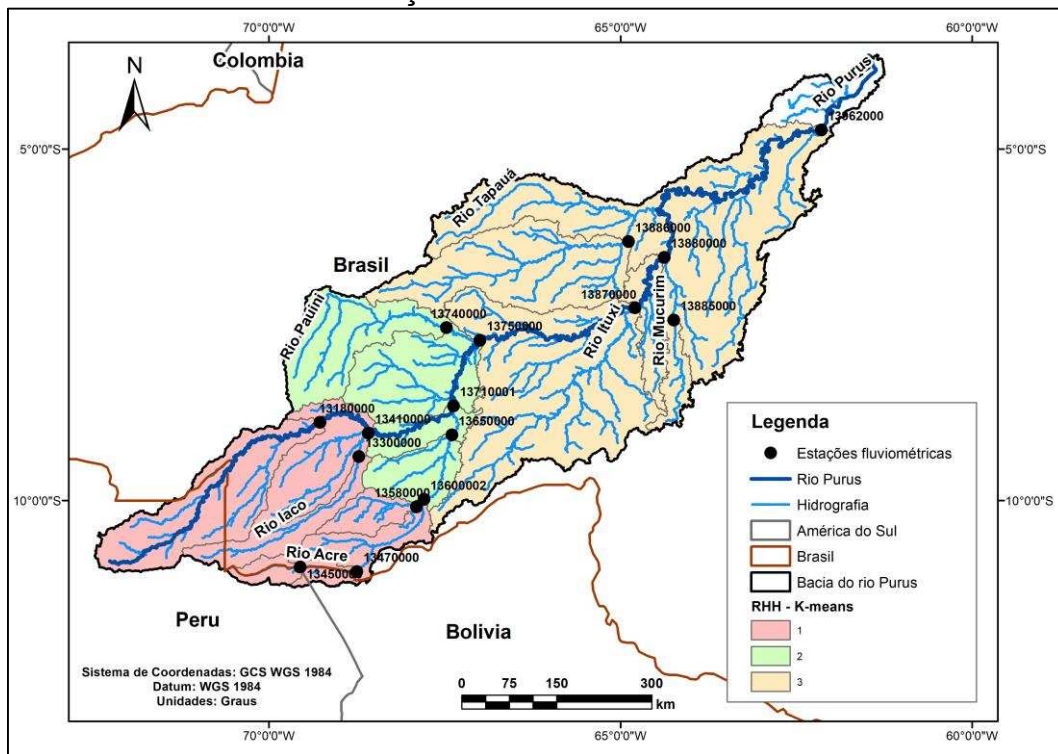
Fonte: a autora.

Figura C6 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com dois clusters.



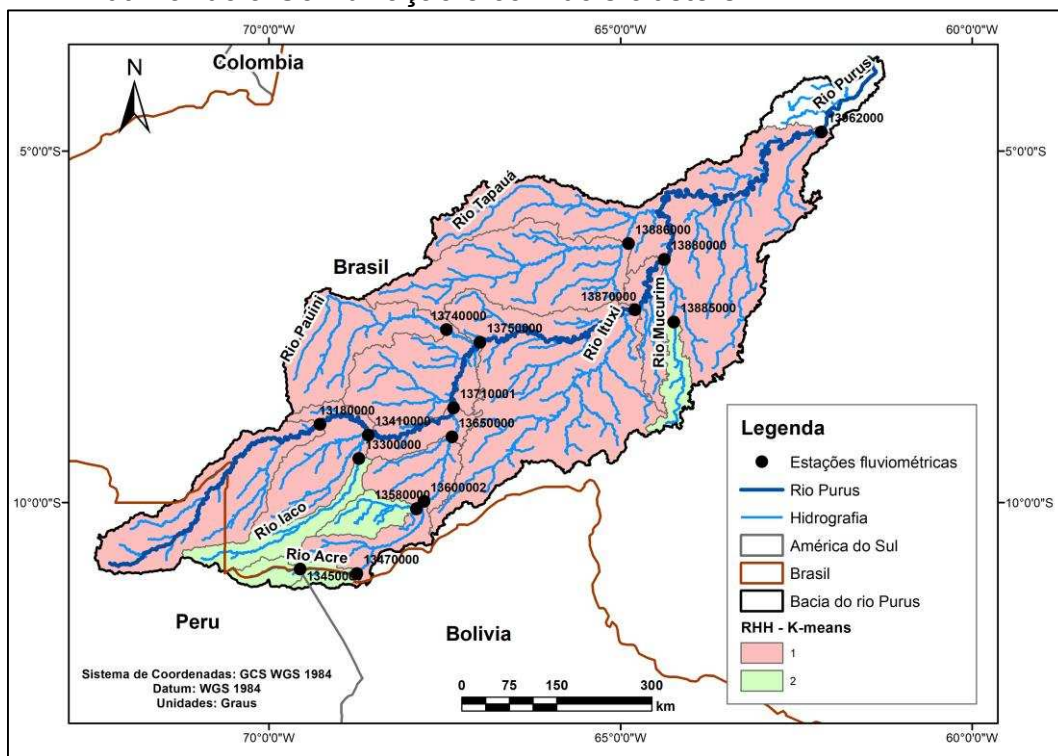
Fonte: a autora.

Figura C7 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com três clusters.



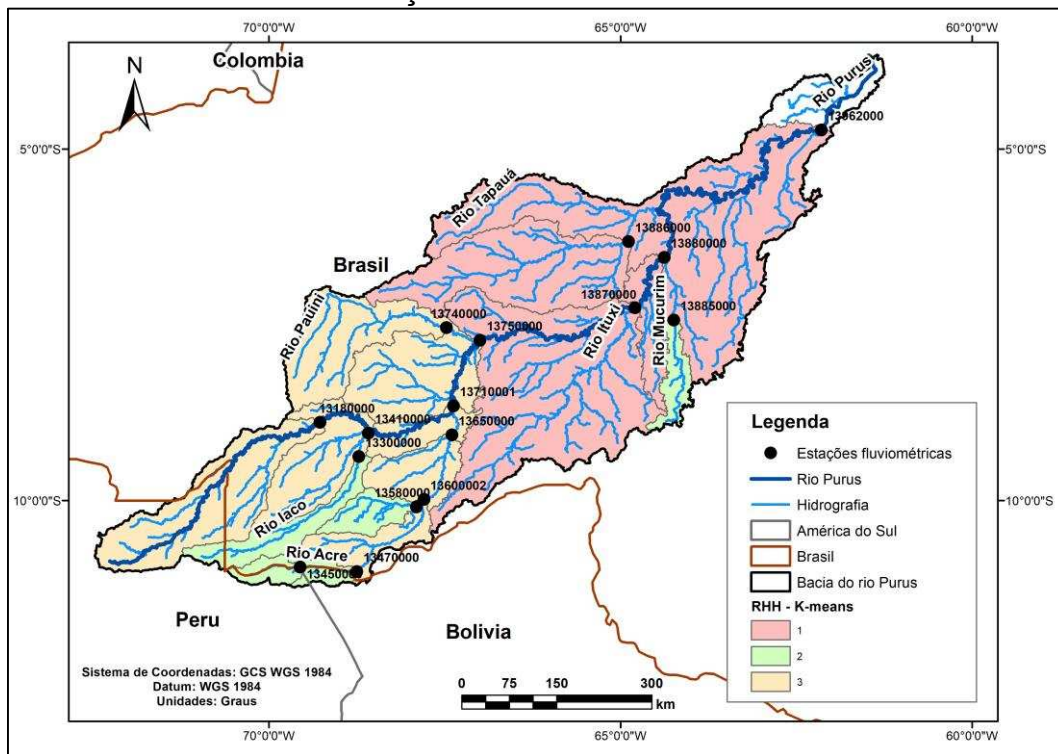
Fonte: a autora.

Figura C8 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 8 com dois clusters.



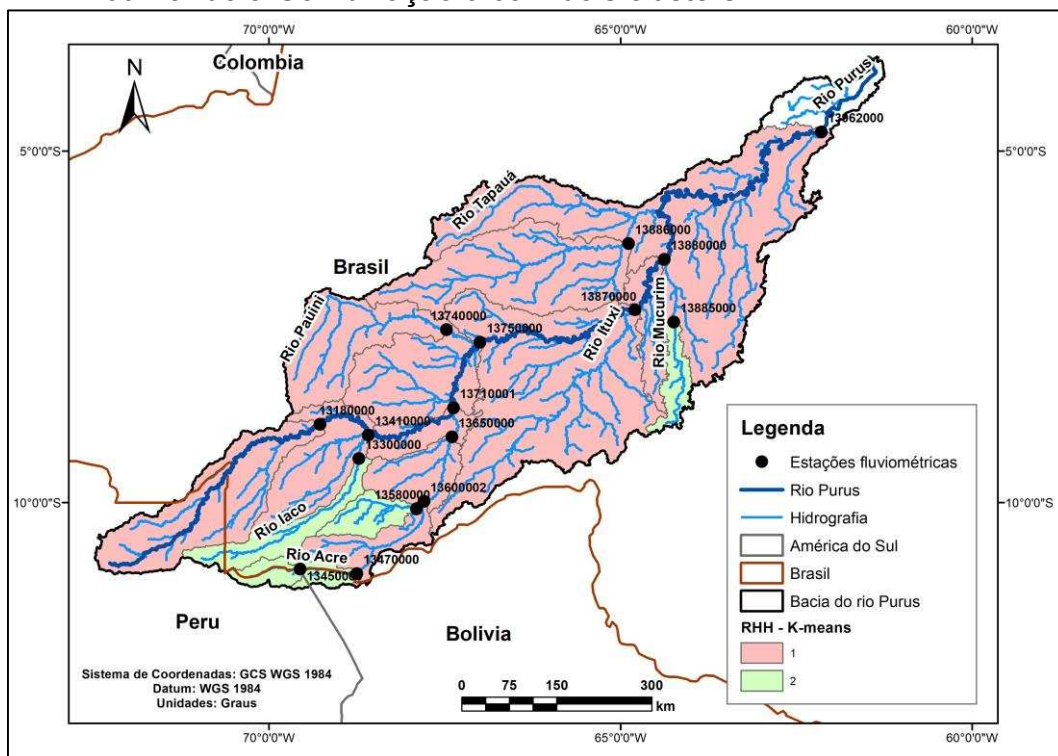
Fonte: a autora.

Figura C9 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 8 com três clusters.



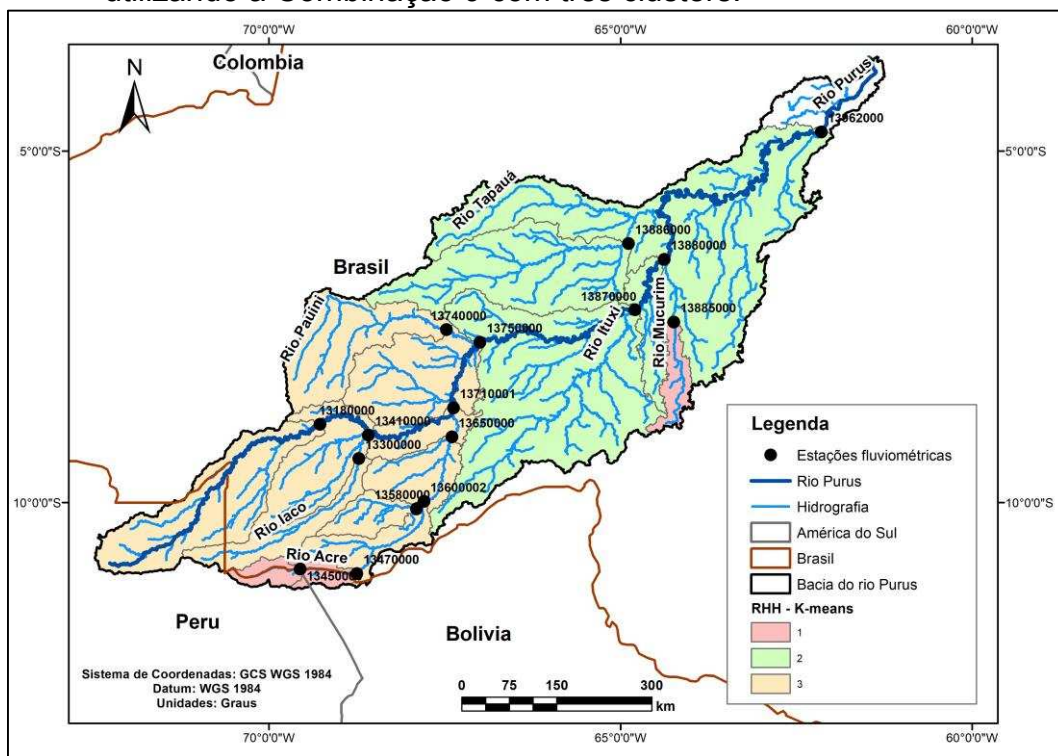
Fonte: a autora.

Figura C10 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 9 com dois clusters.



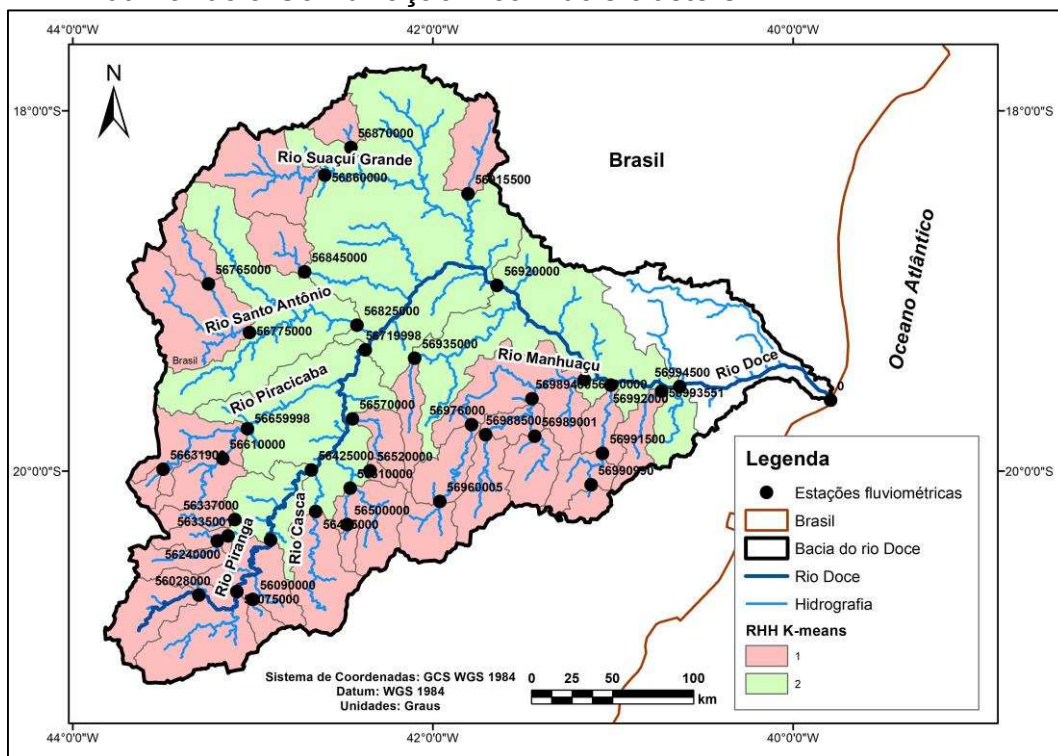
Fonte: a autora.

Figura C11 - RHHs encontradas para bacia do rio Purus pelo método K-means, utilizando a Combinação 9 com três clusters.



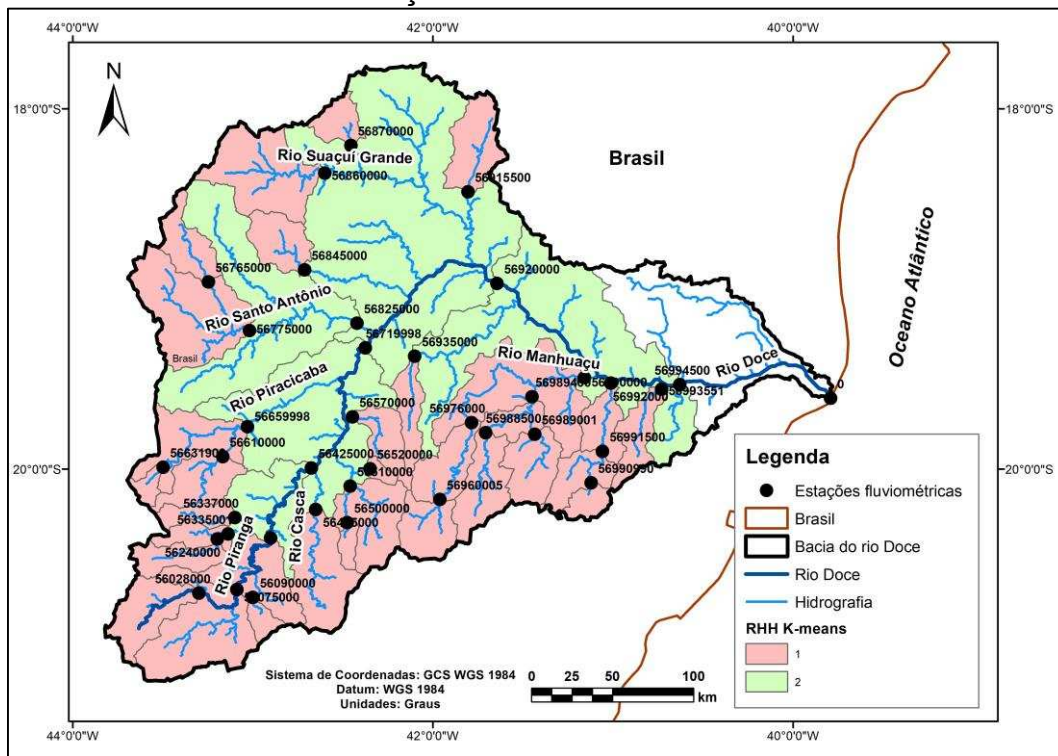
Fonte: a autora.

Figura C12 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 1 com dois clusters.



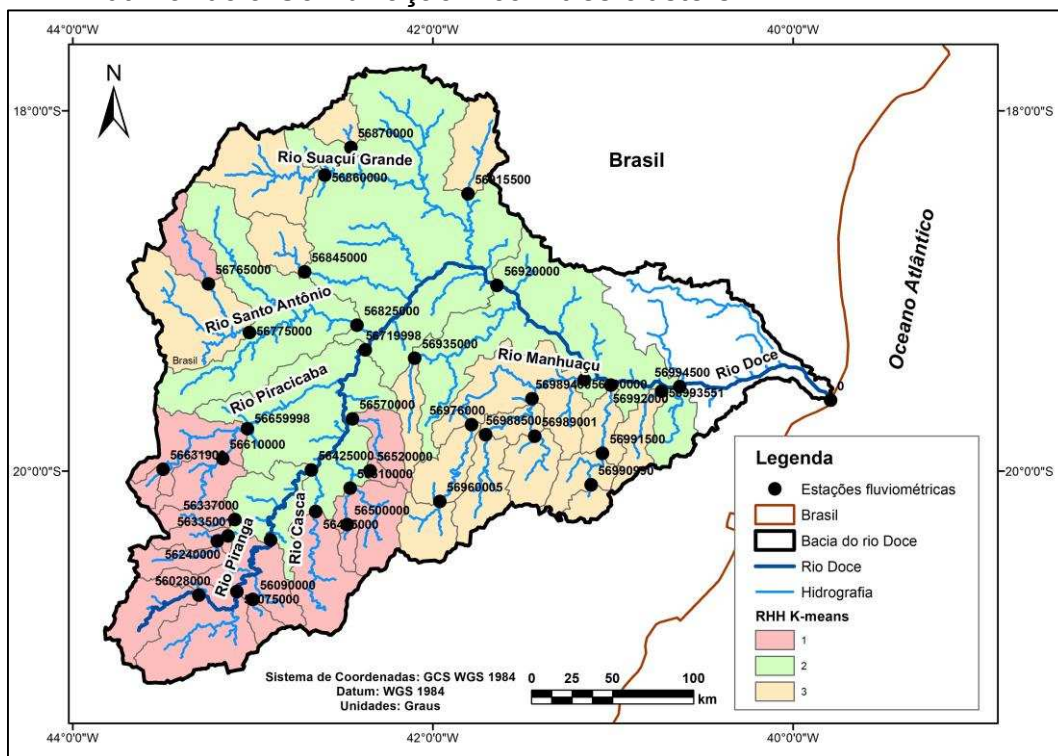
Fonte: a autora.

Figura C13 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com dois clusters.



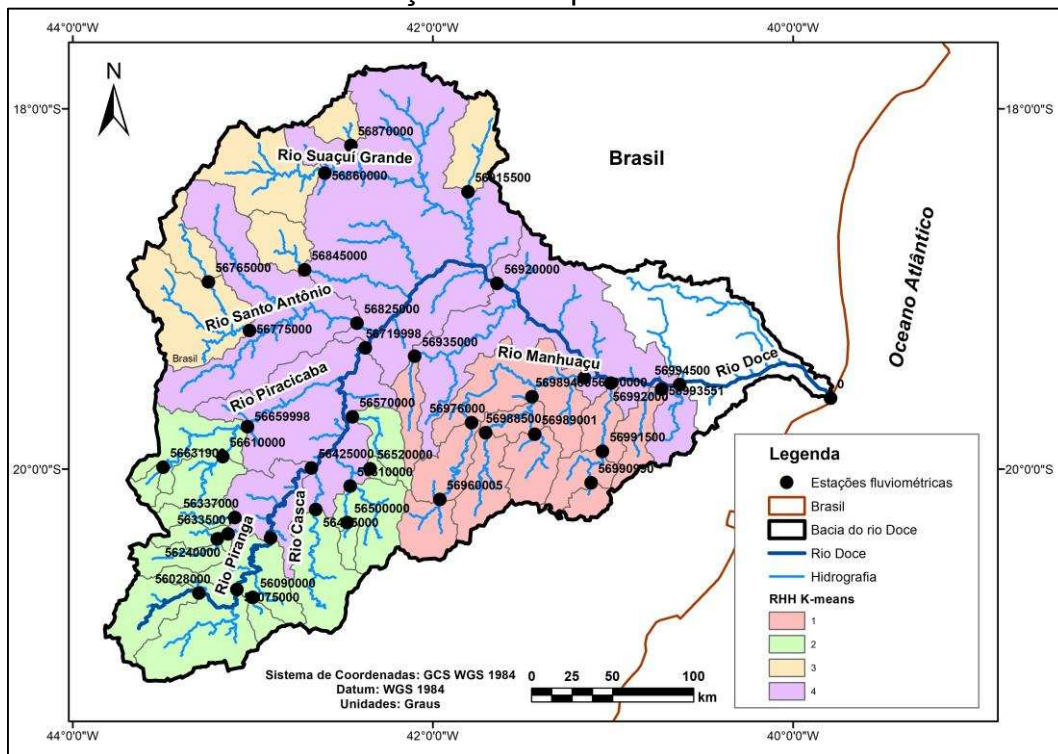
Fonte: a autora.

Figura C14 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com três clusters.



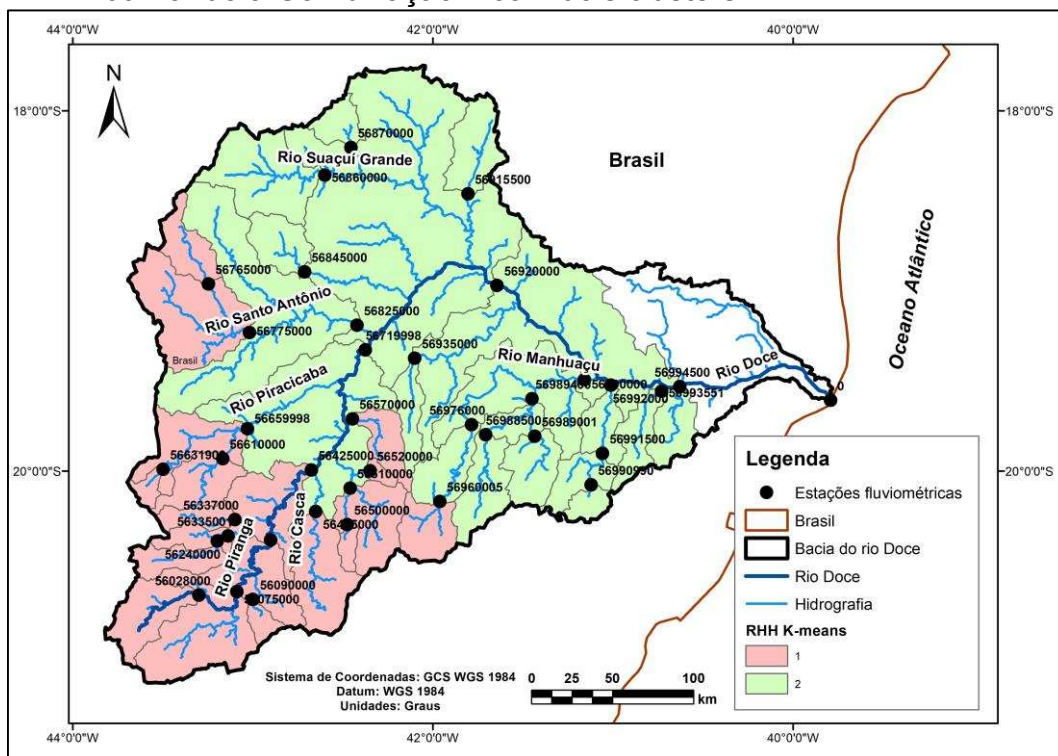
Fonte: a autora.

Figura C15 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com quatro clusters.



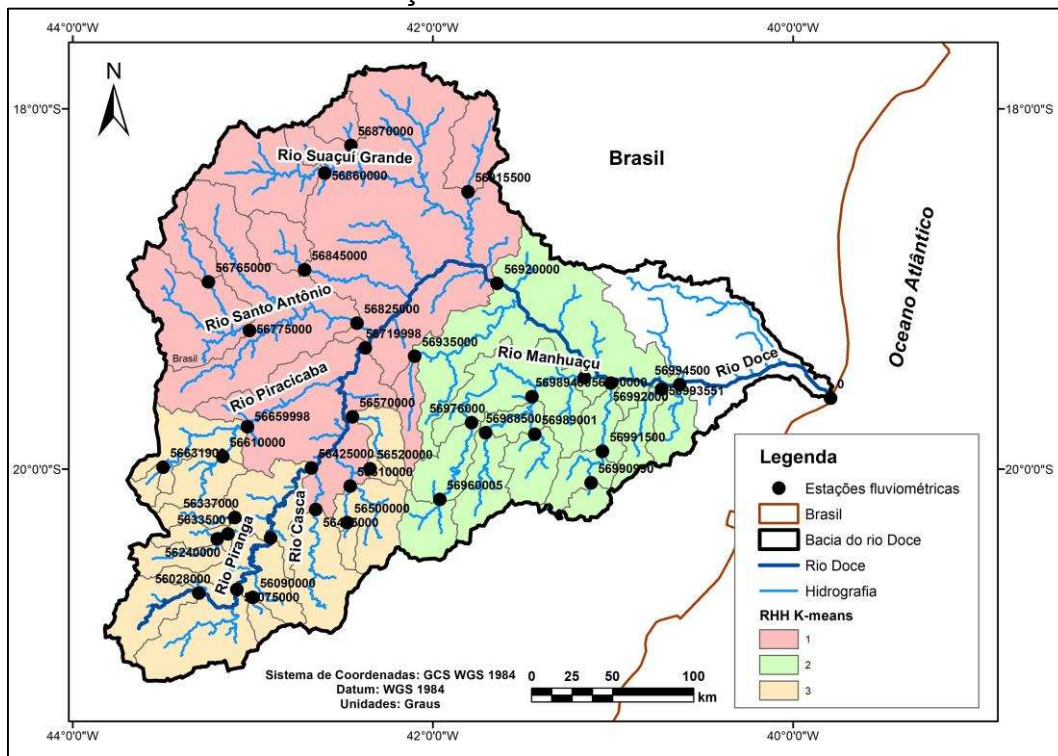
Fonte: a autora.

Figura C16 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com dois clusters.



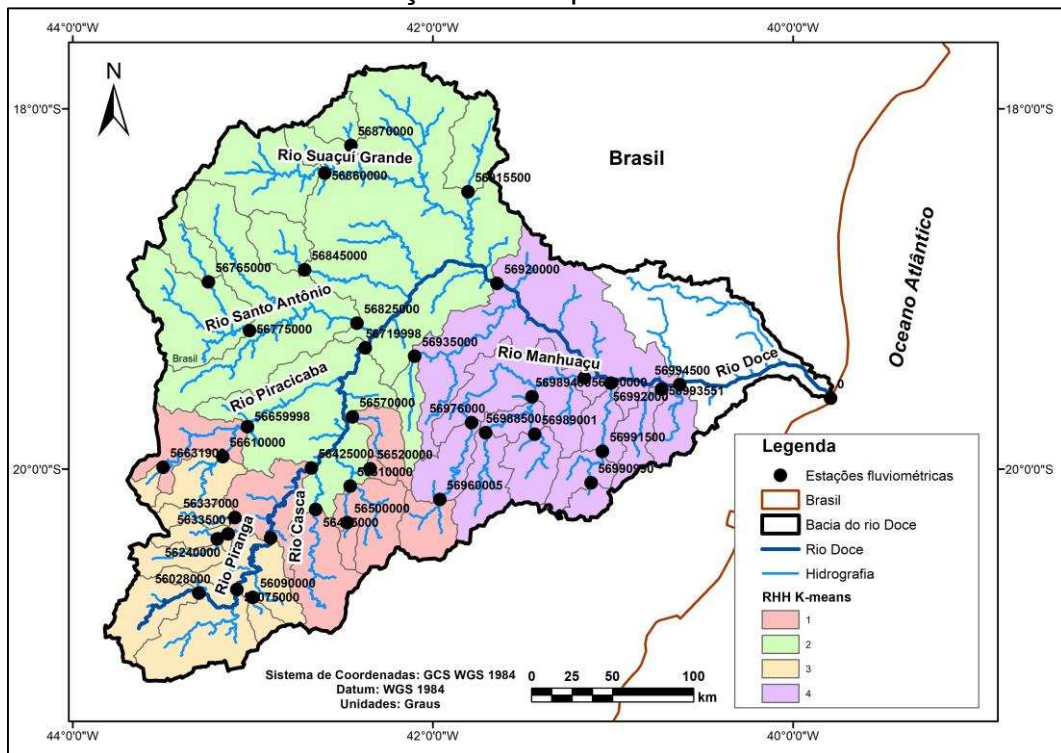
Fonte: a autora.

Figura C17 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com três clusters.



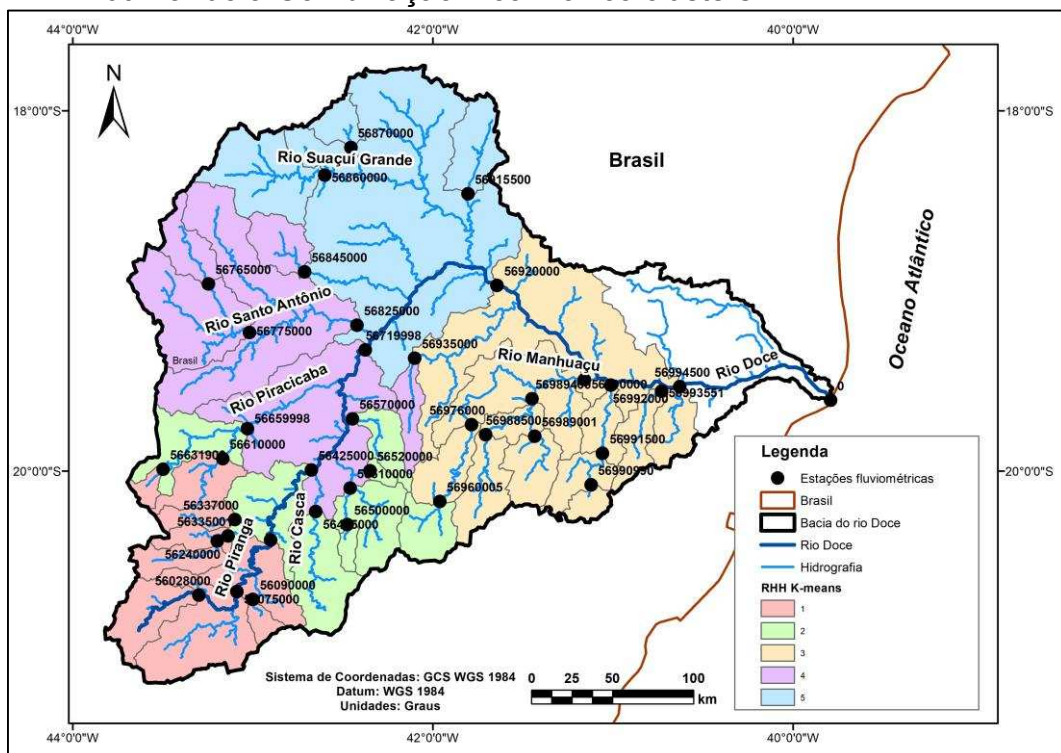
Fonte: a autora.

Figura C18 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com quatro clusters.



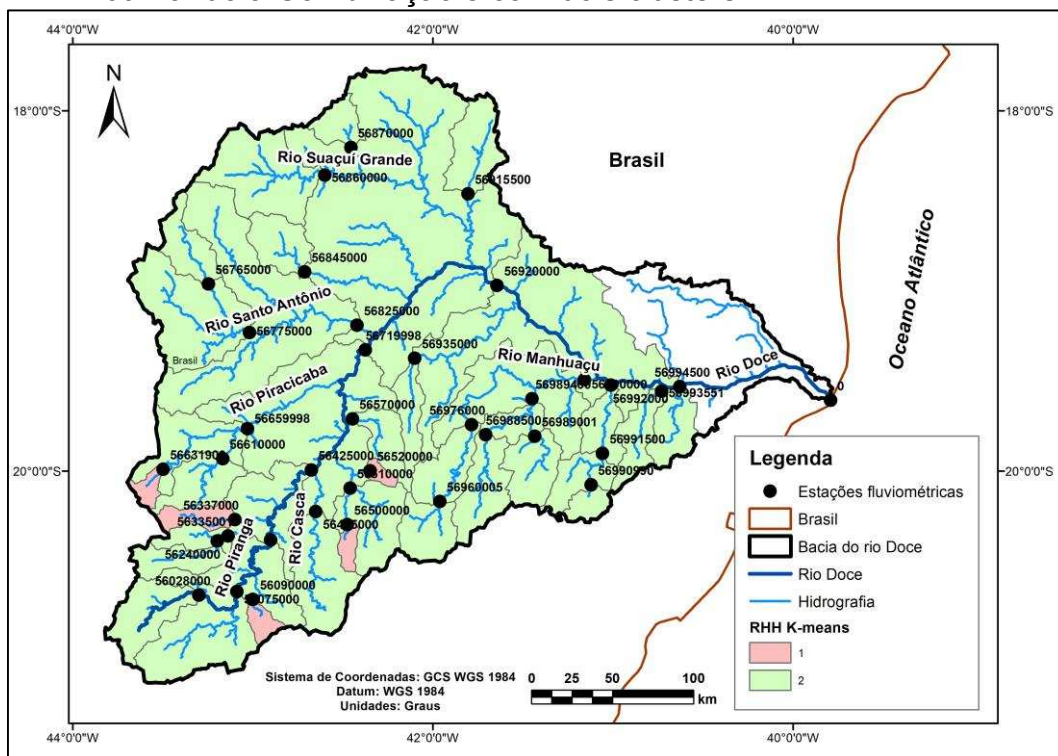
Fonte: a autora.

Figura C19 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com cinco clusters.



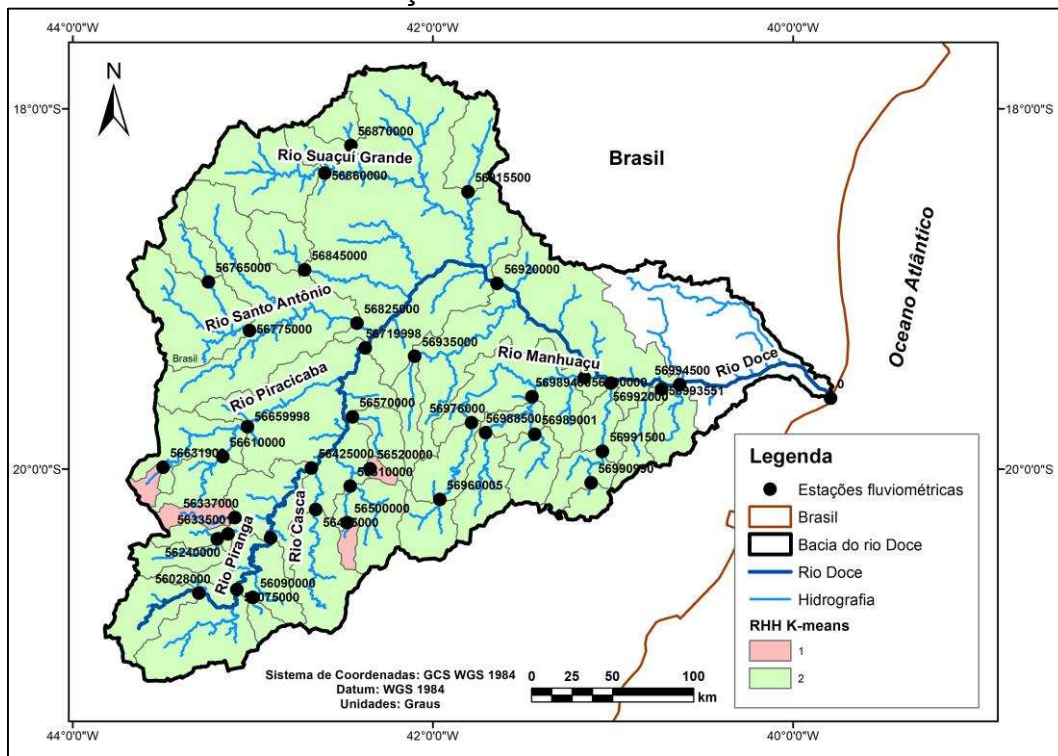
Fonte: a autora.

Figura C20 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 8 com dois clusters.



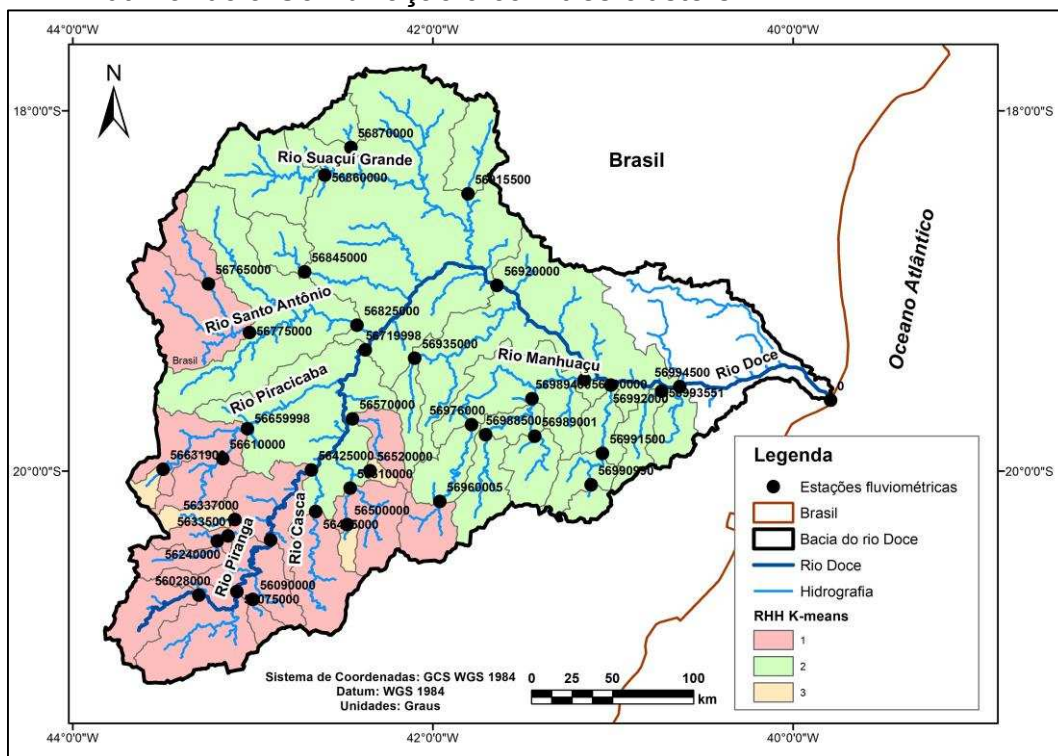
Fonte: a autora.

Figura C21 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 9 com dois clusters.



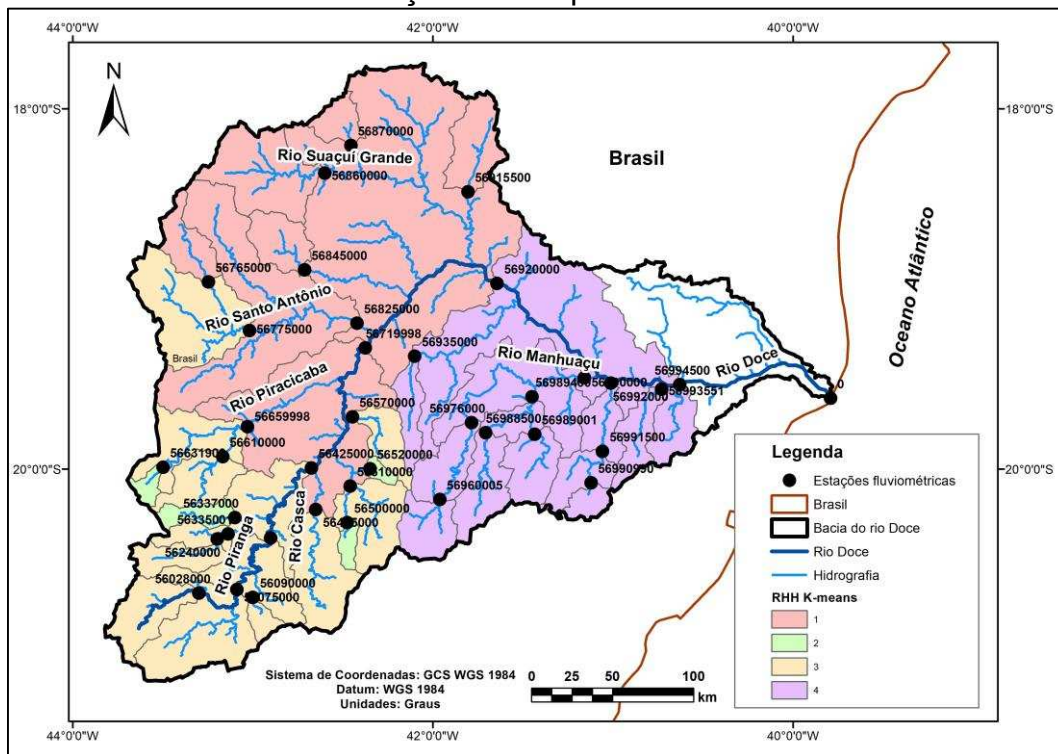
Fonte: a autora.

Figura C22 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 9 com três clusters.



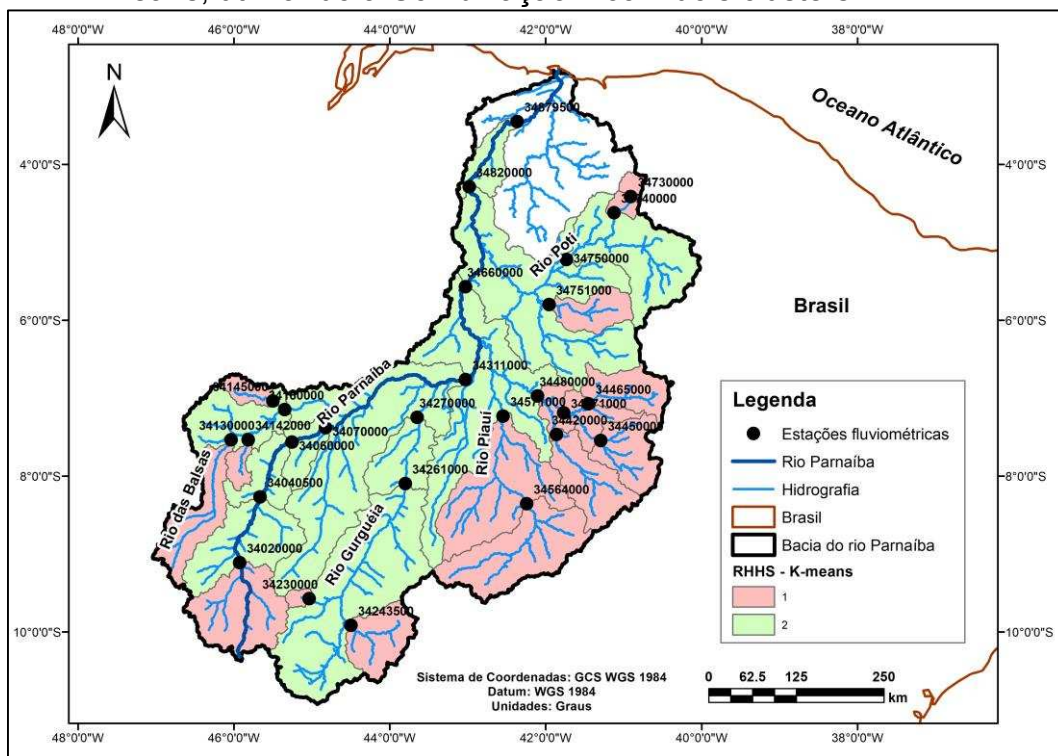
Fonte: a autora.

Figura C23 - RHHs encontradas para bacia do rio Doce pelo método K-means, utilizando a Combinação 9 com quatro clusters.



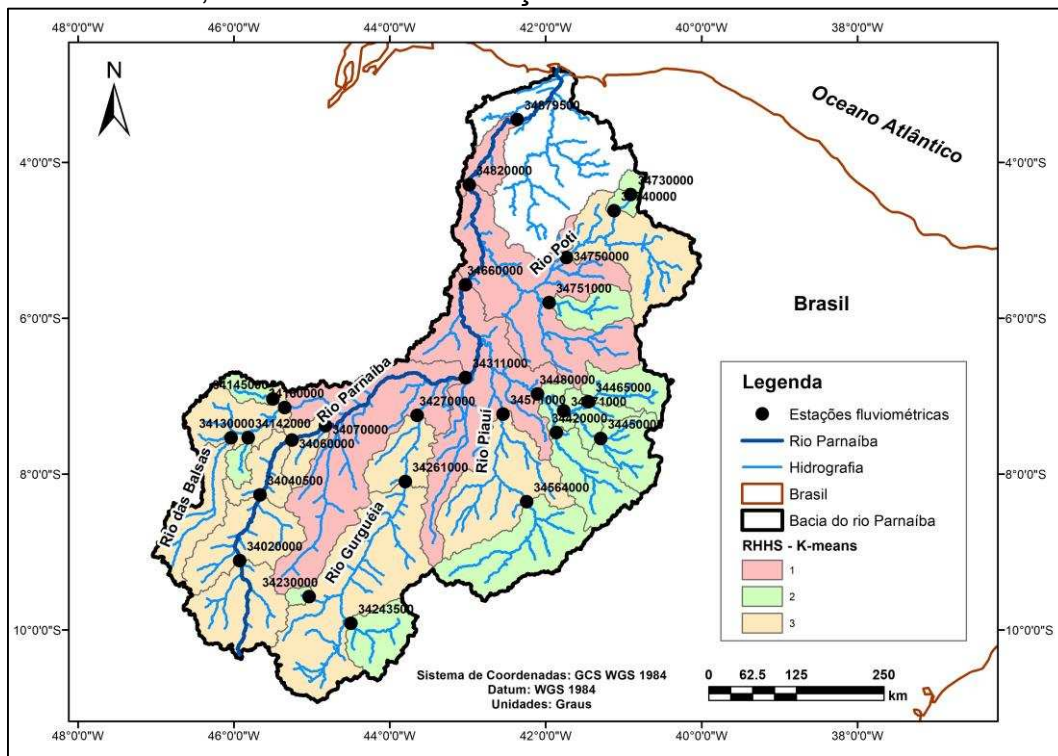
Fonte: a autora.

Figura C24 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 1 com dois clusters.



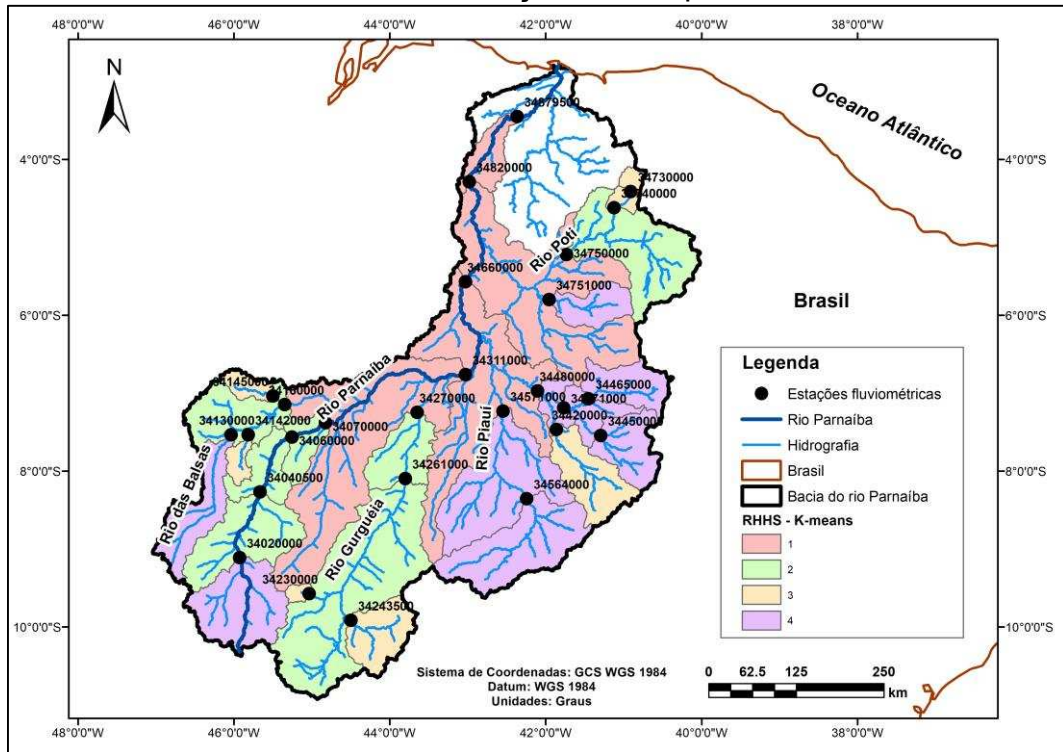
Fonte: a autora.

Figura C25 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 1 com três clusters.



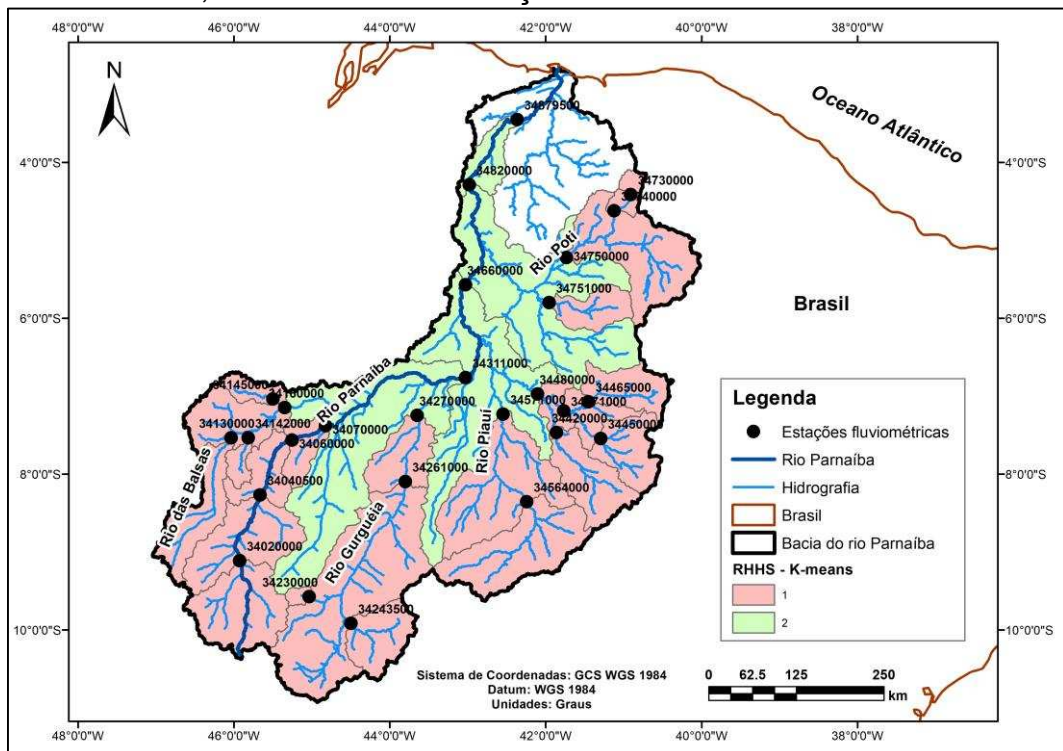
Fonte: a autora.

Figura C26 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 1 com quatro clusters.



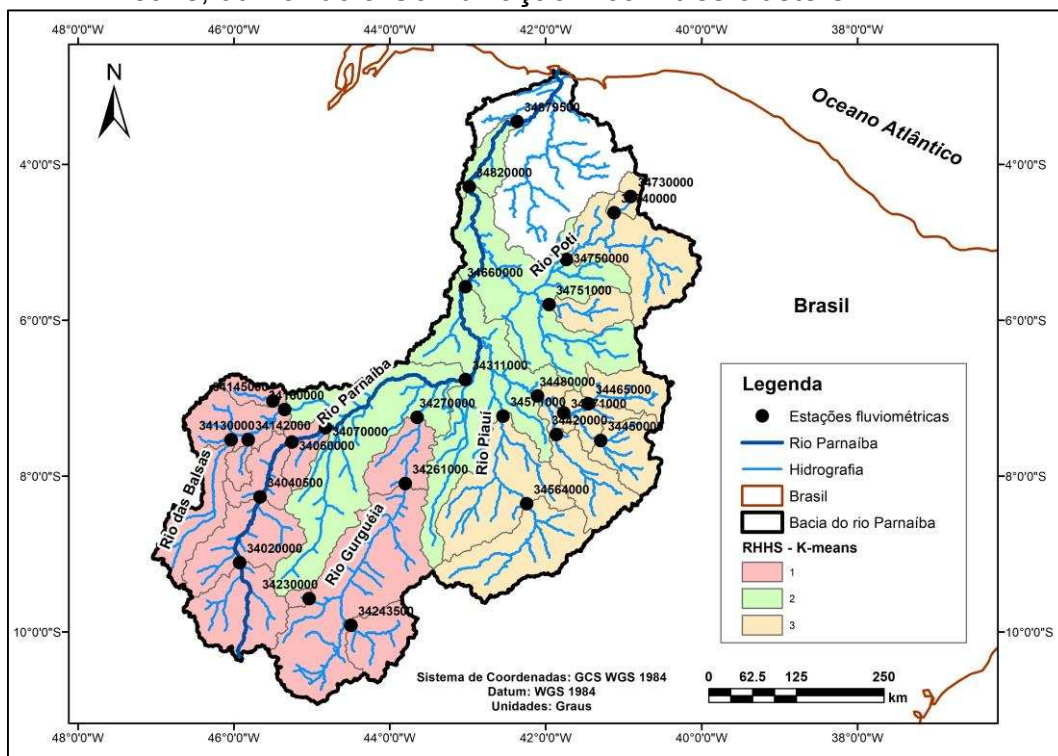
Fonte: a autora.

Figura C27 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com dois clusters.



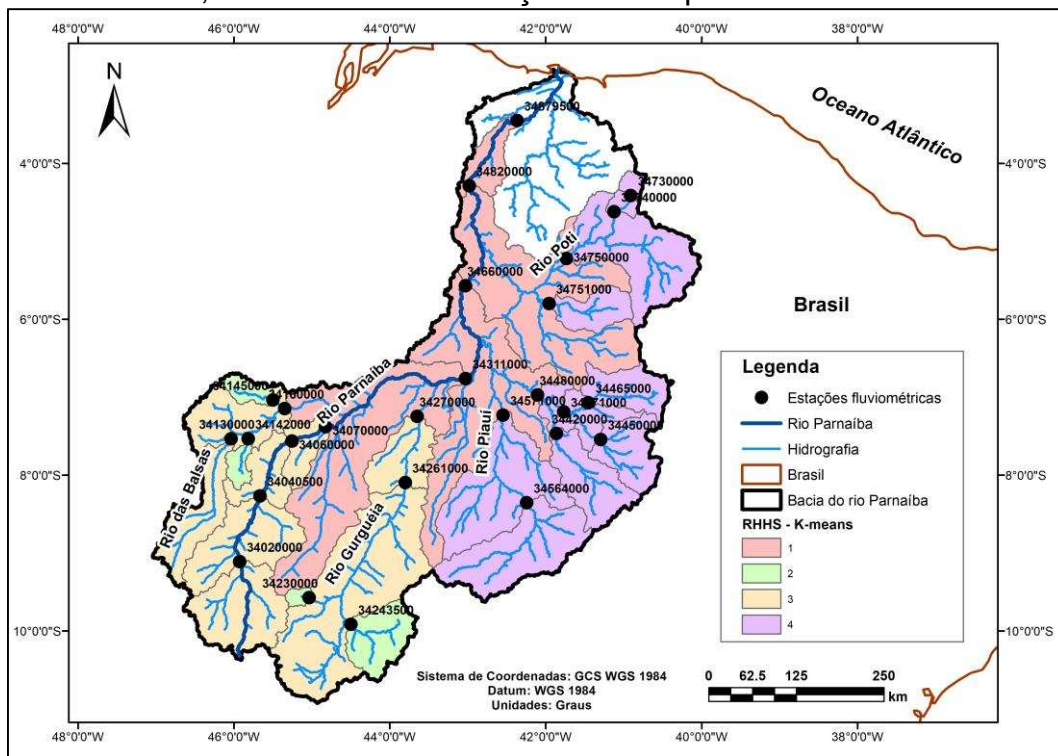
Fonte: a autora.

Figura C28 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com três clusters.



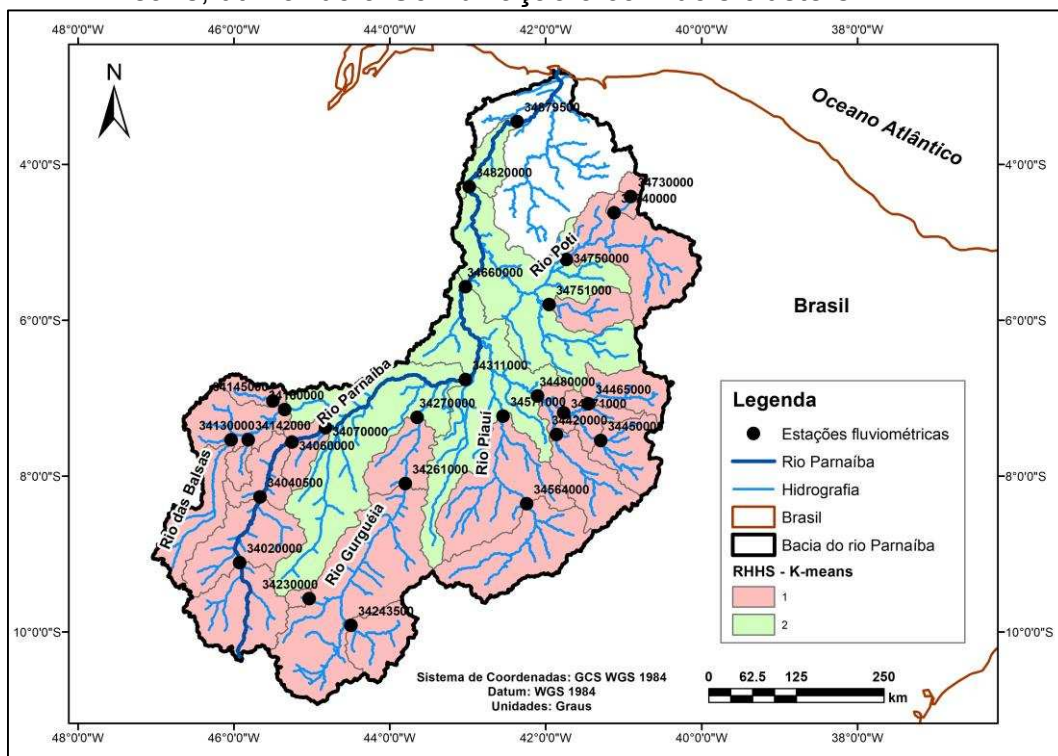
Fonte: a autora.

Figura C29 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com quatro clusters.



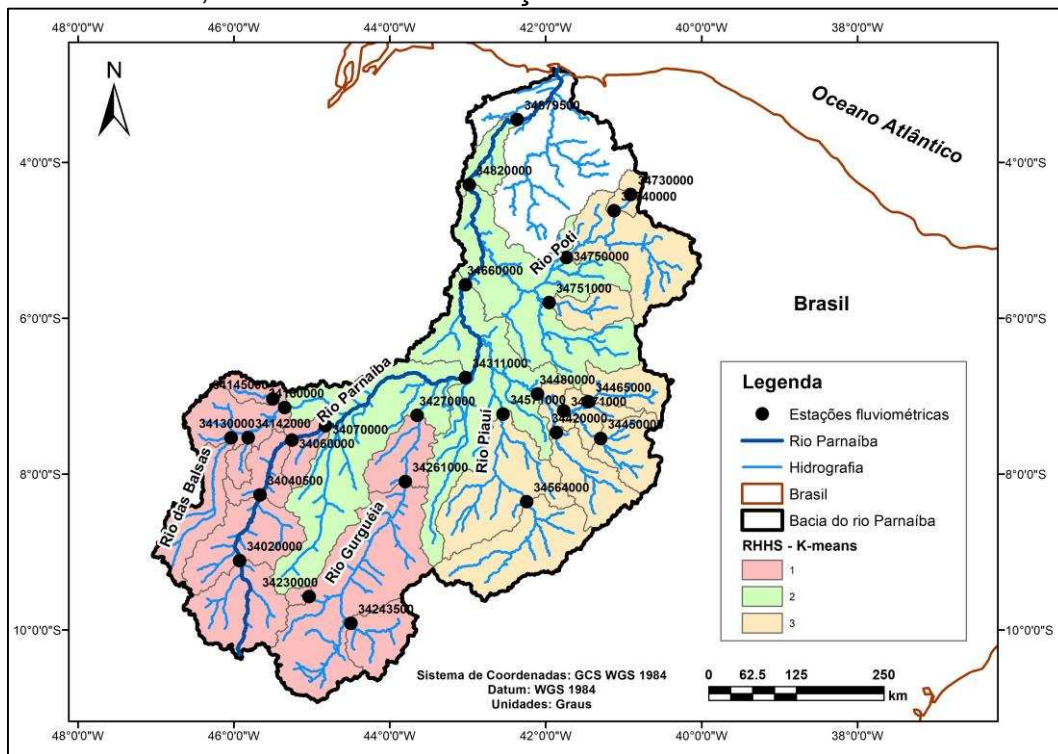
Fonte: a autora.

Figura C30 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 3 com dois clusters.



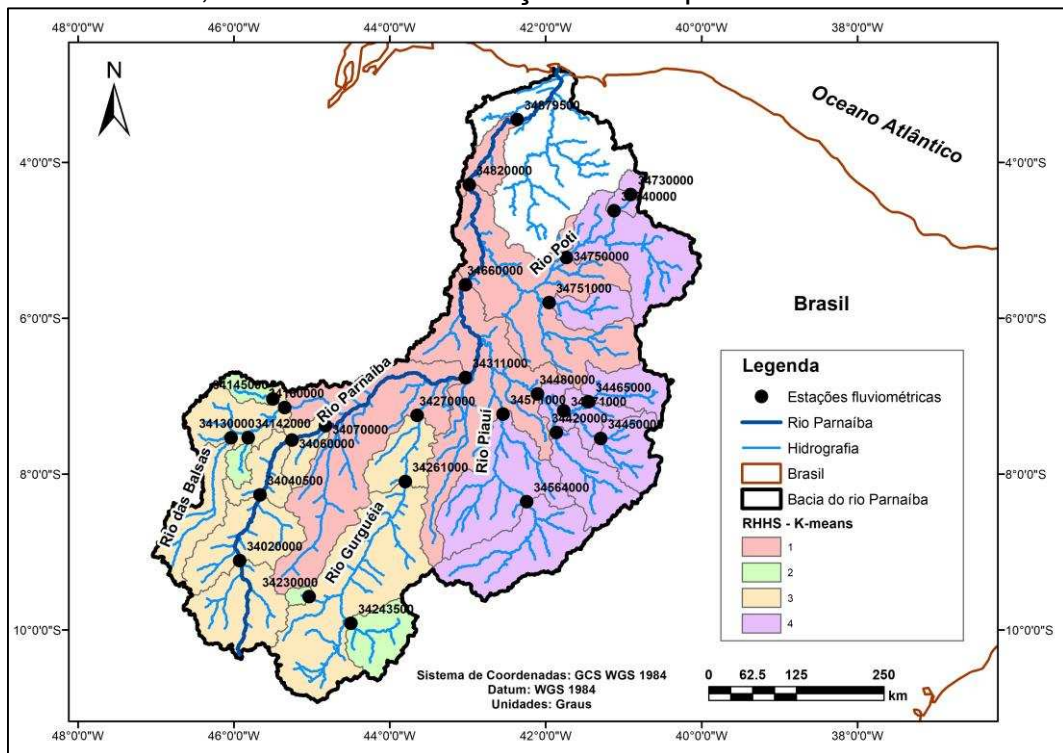
Fonte: a autora.

Figura C31 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 3 com três clusters.



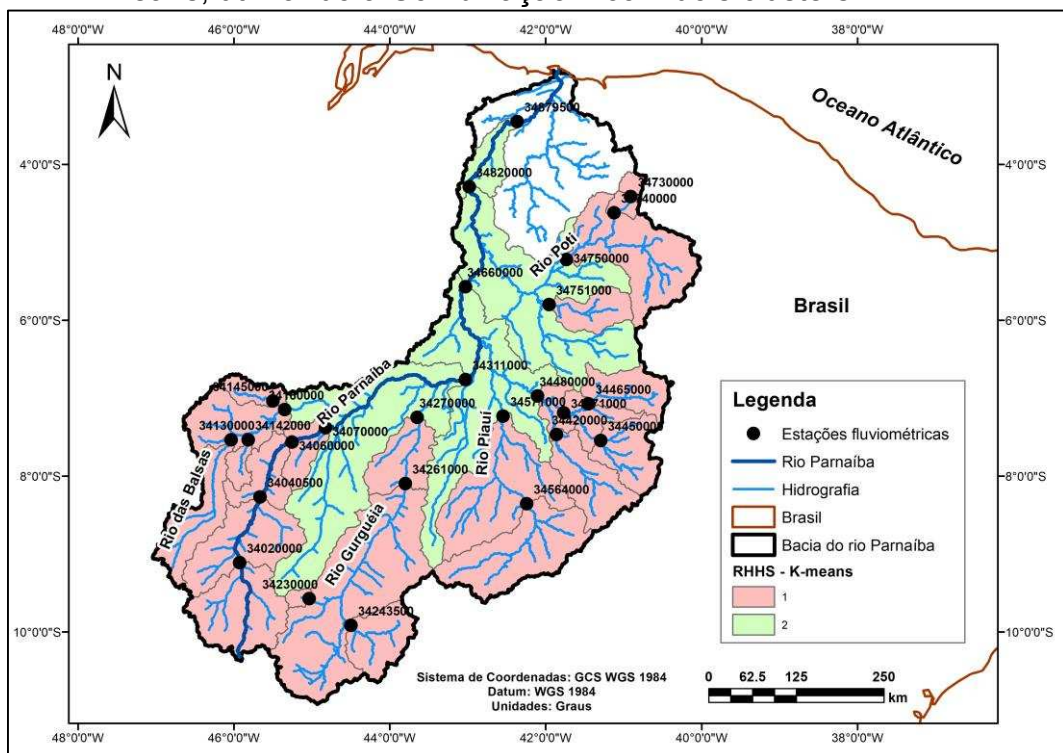
Fonte: a autora.

Figura C32- RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 3 com quatro clusters.



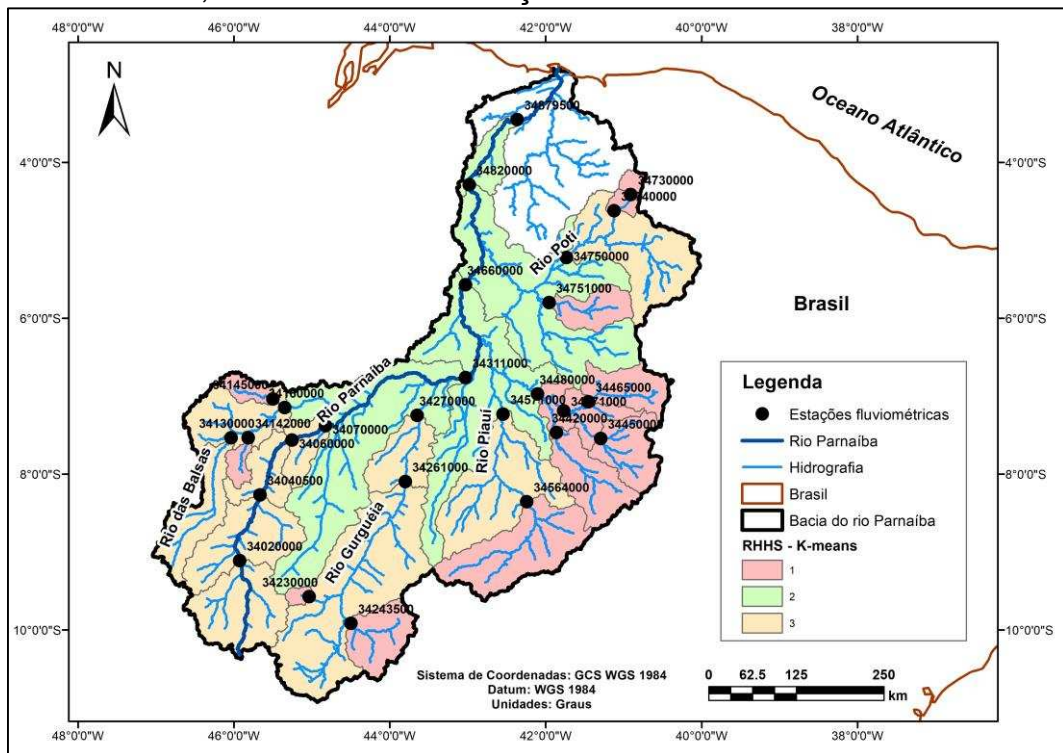
Fonte: a autora.

Figura C33 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 4 com dois clusters.



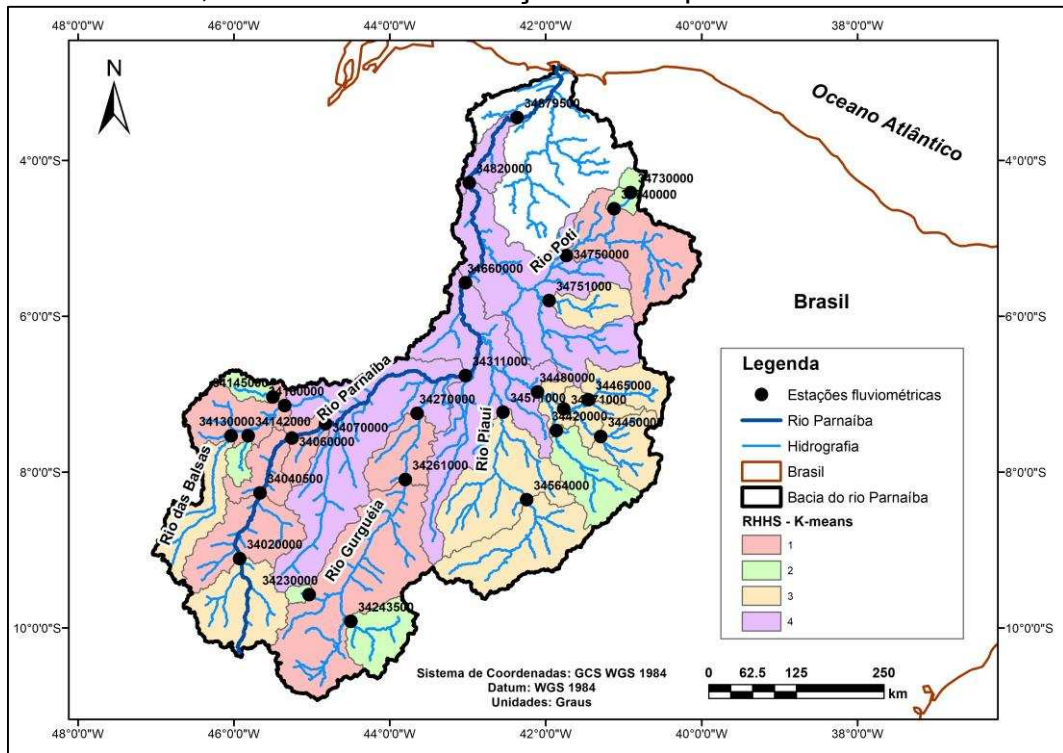
Fonte: a autora.

Figura C34 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 4 com três clusters.



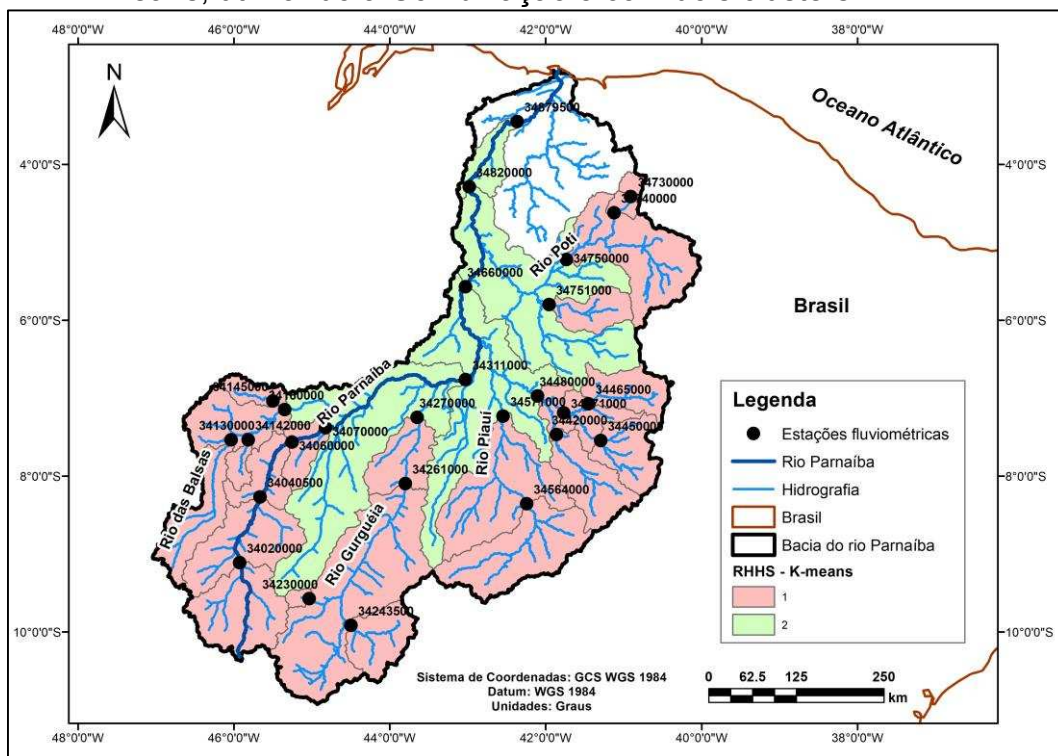
Fonte: a autora.

Figura C35 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 4 com quatro clusters.



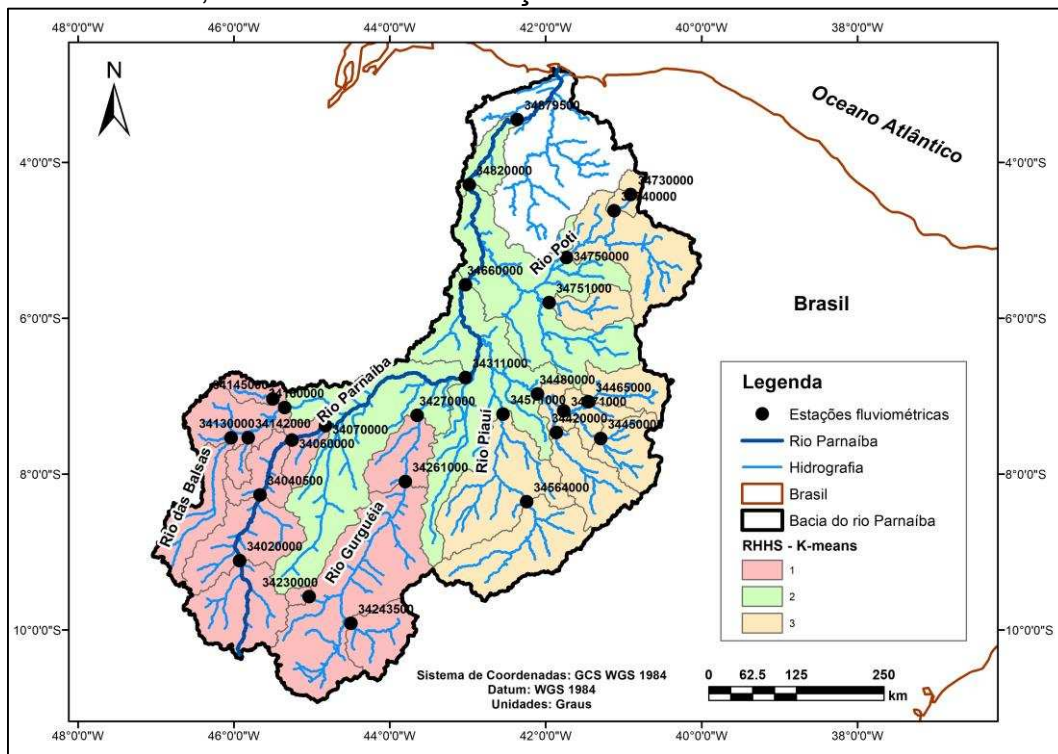
Fonte: a autora.

Figura C36 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 5 com dois clusters.



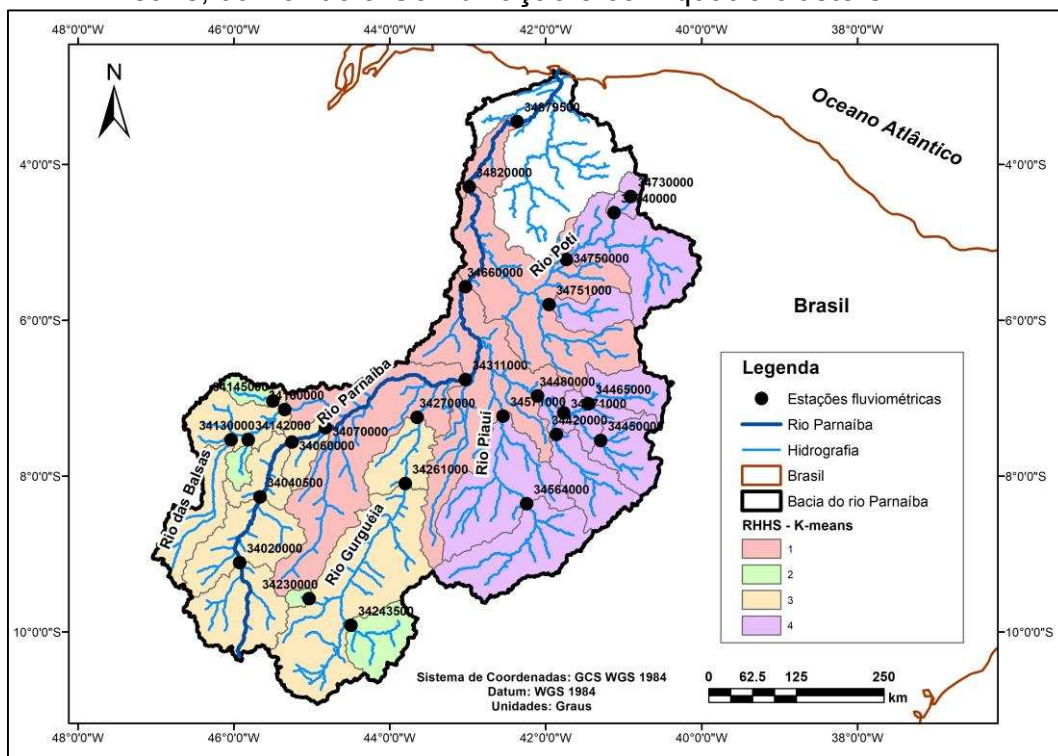
Fonte: a autora.

Figura C37 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 5 com três clusters.



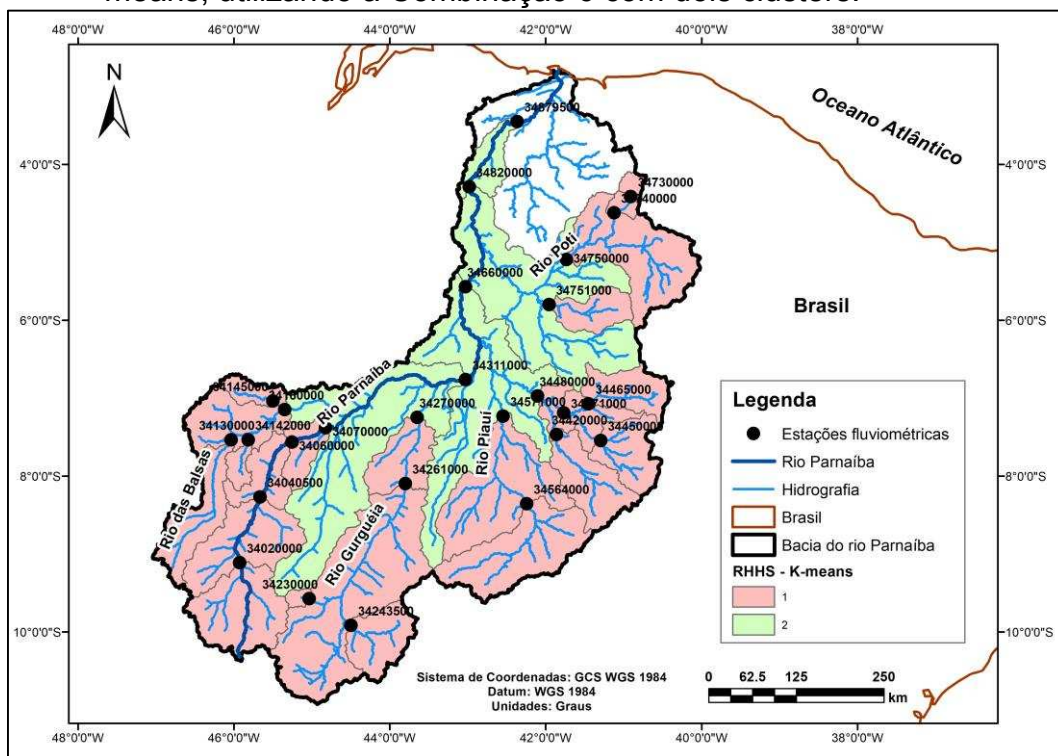
Fonte: a autora.

Figura C38 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 5 com quatro clusters.



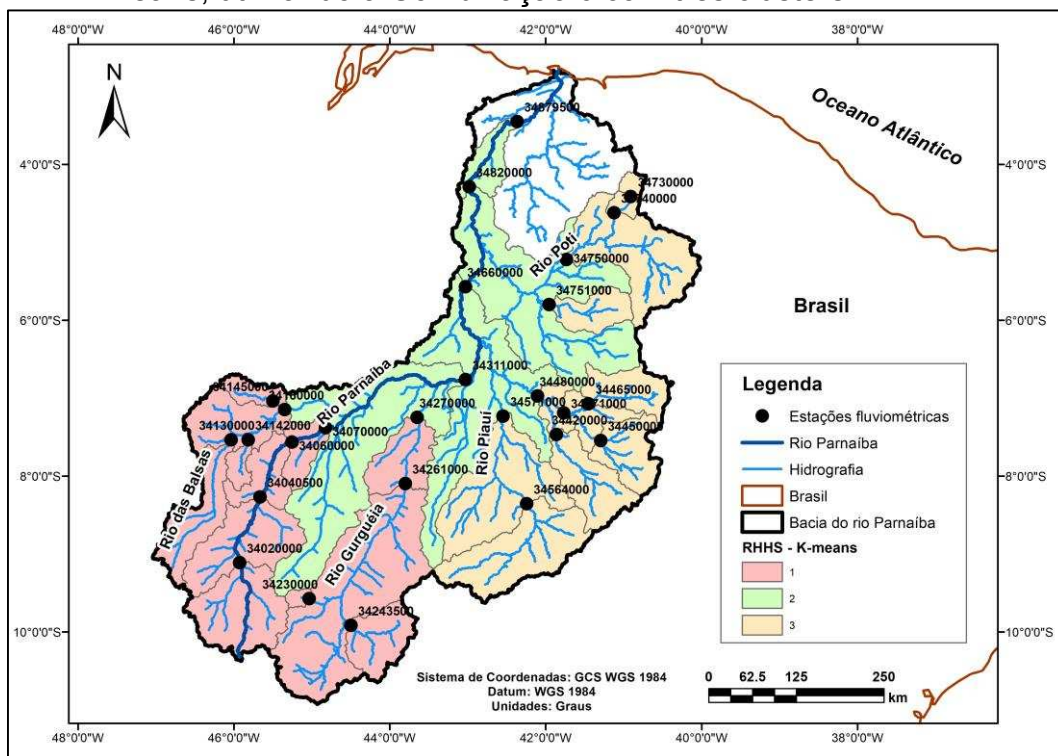
Fonte: a autora.

Figura C39 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 6 com dois clusters.



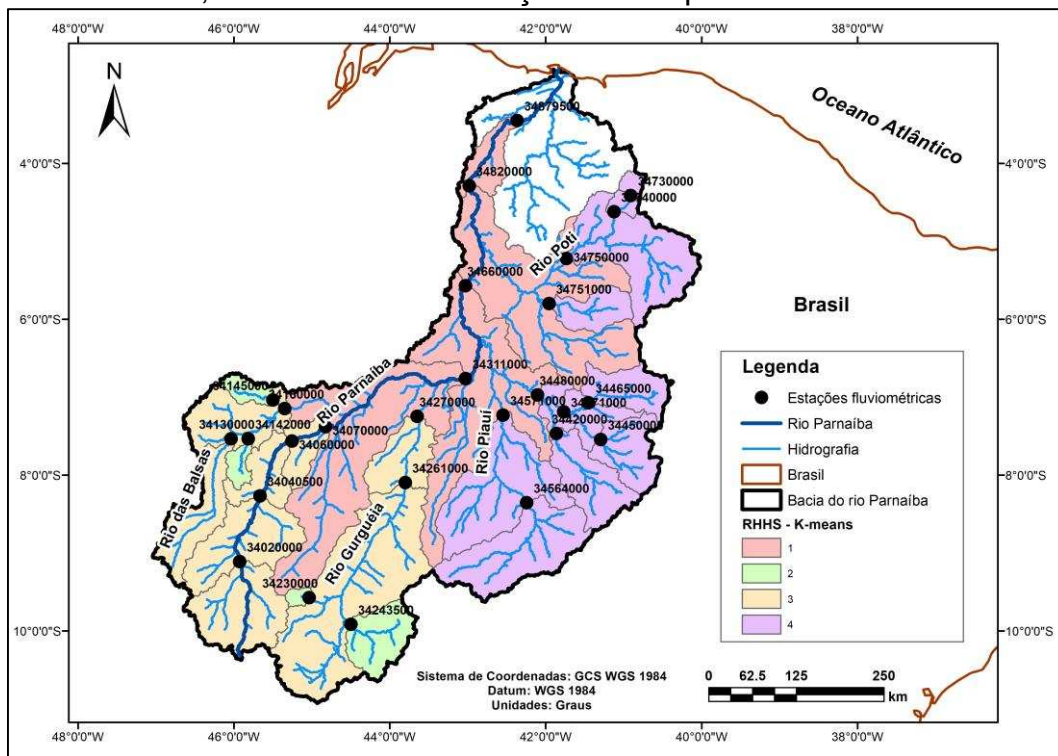
Fonte: a autora.

Figura C40 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 6 com três clusters.



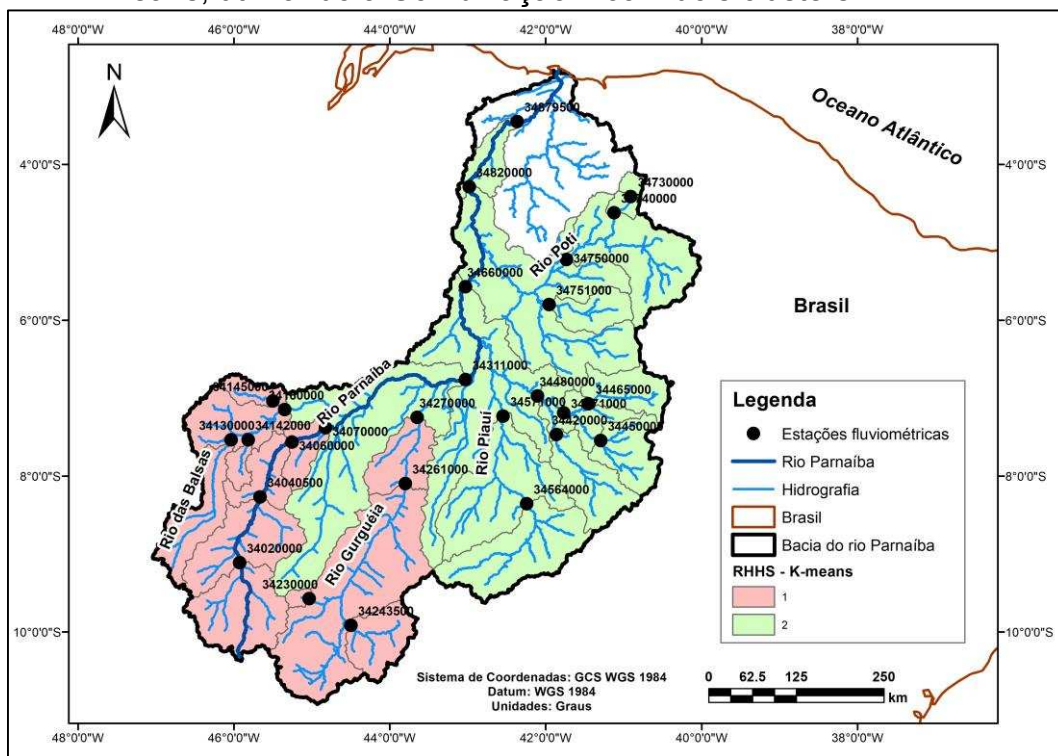
Fonte: a autora.

Figura C41 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 6 com quatro clusters.



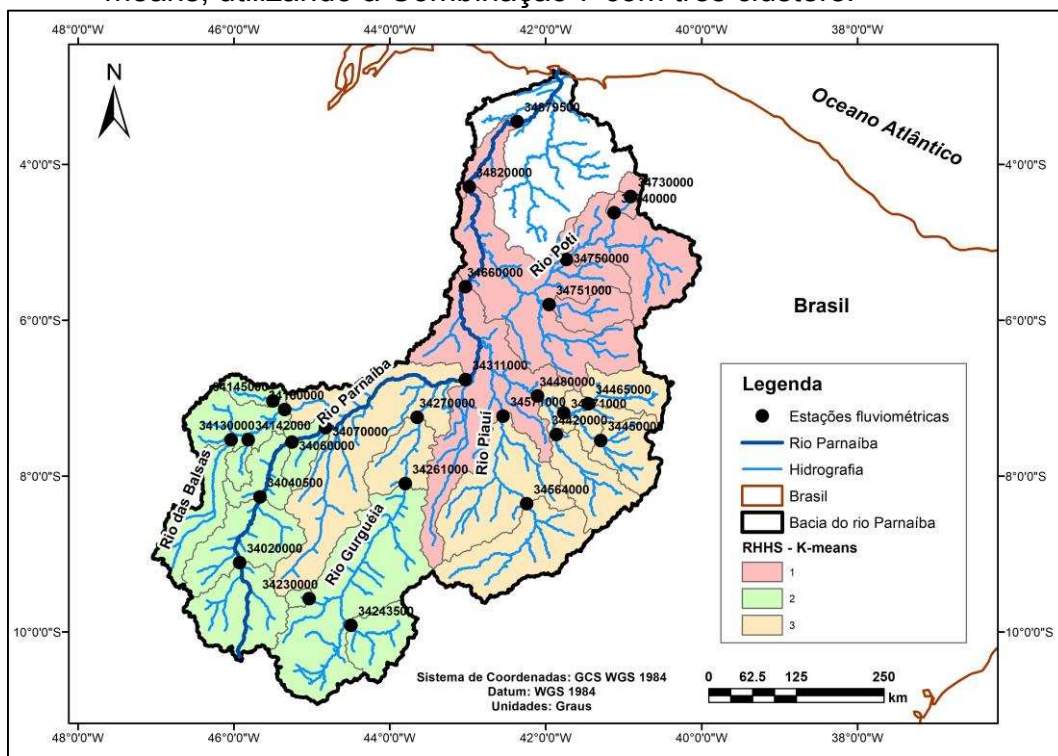
Fonte: a autora.

Figura C42 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com dois clusters.



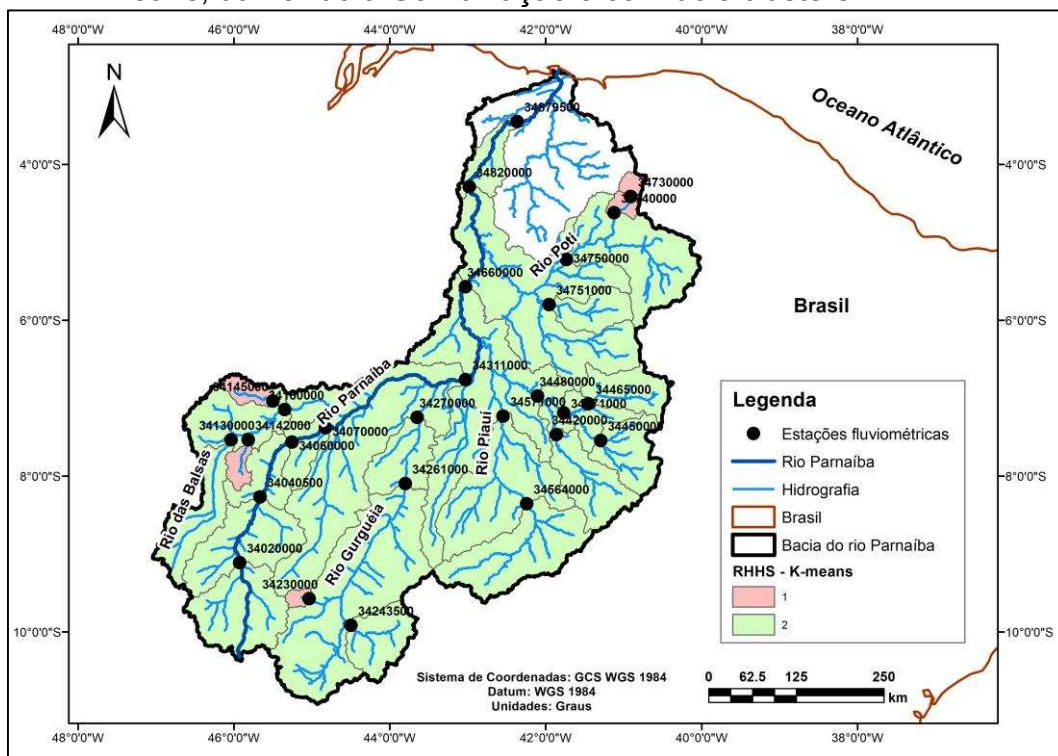
Fonte: a autora.

Figura C43 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com três clusters.



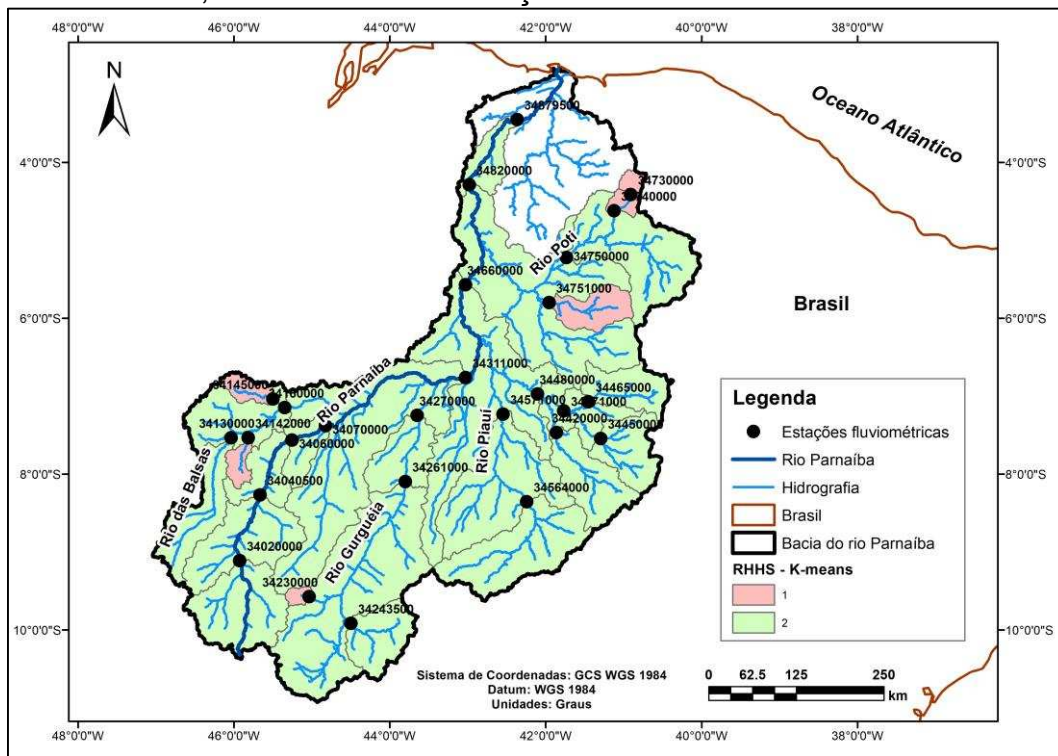
Fonte: a autora.

Figura C44 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 8 com dois clusters.



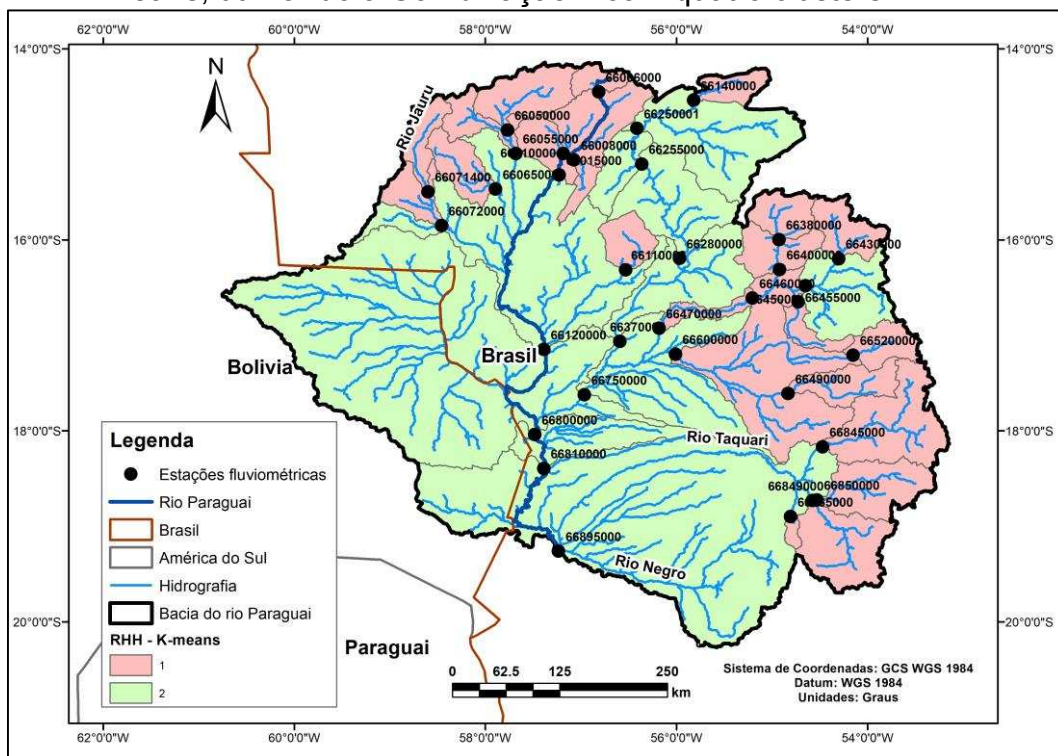
Fonte: a autora.

Figura C45 - RHHs encontradas para bacia do rio Parnaíba pelo método K-means, utilizando a Combinação 9 com dois clusters.



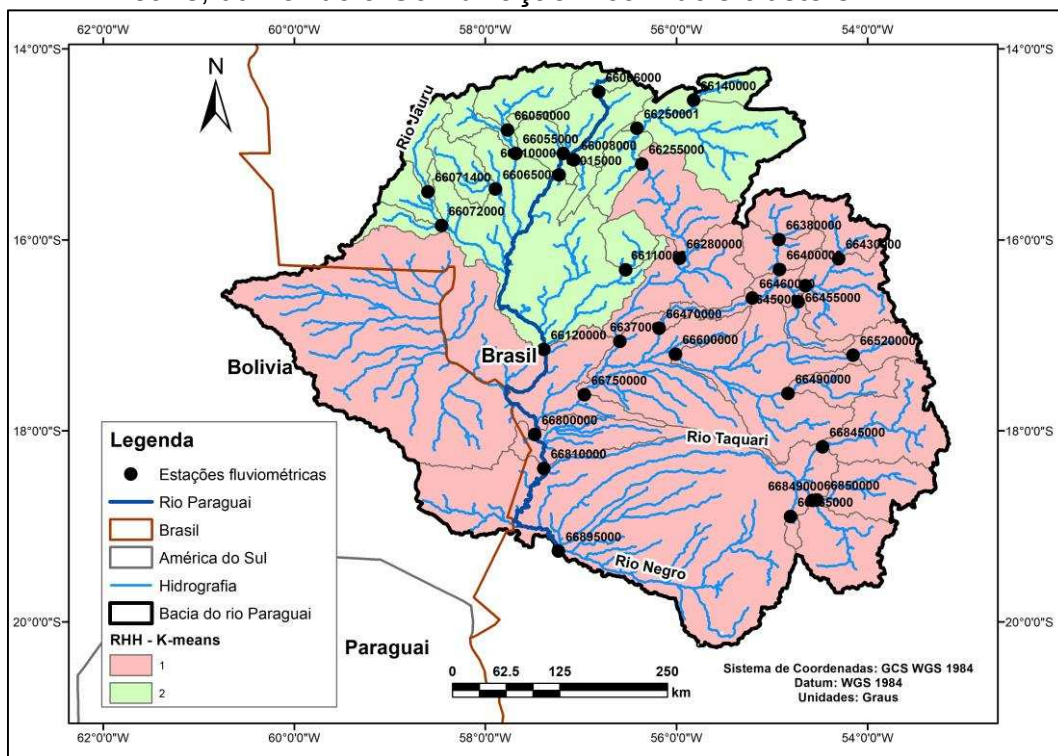
Fonte: a autora.

Figura C46 - RHHs encontradas para bacia do rio Paraguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com quatro clusters.



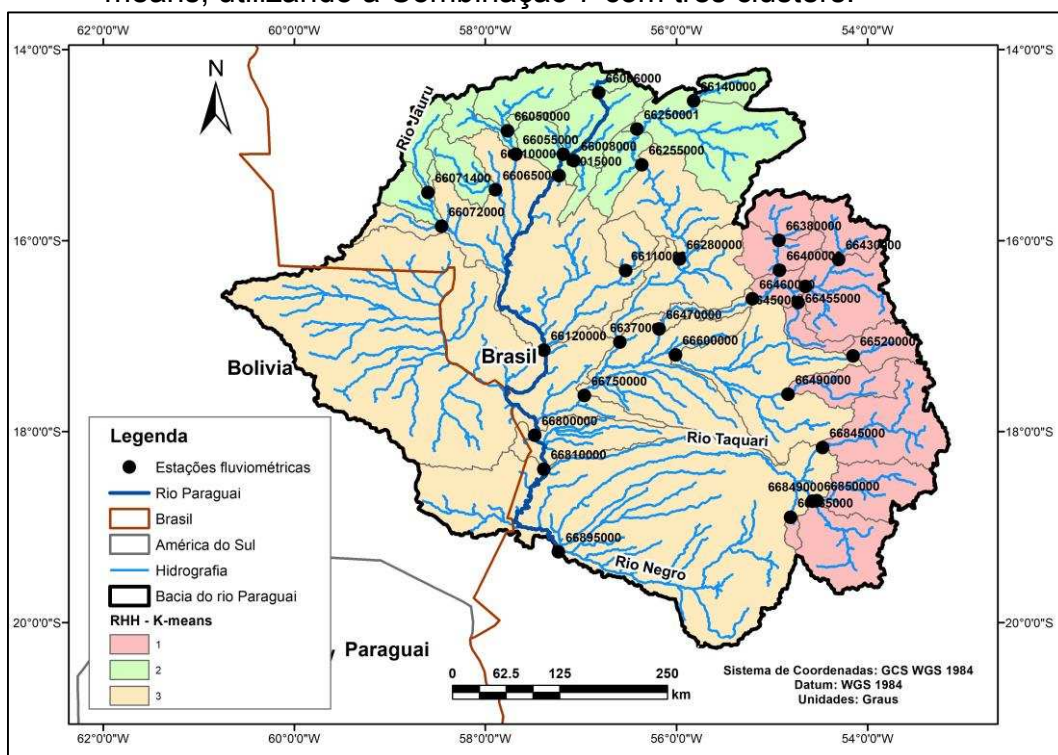
Fonte: a autora.

Figura C47 - RHHs encontradas para bacia do rio Paraguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com dois clusters.



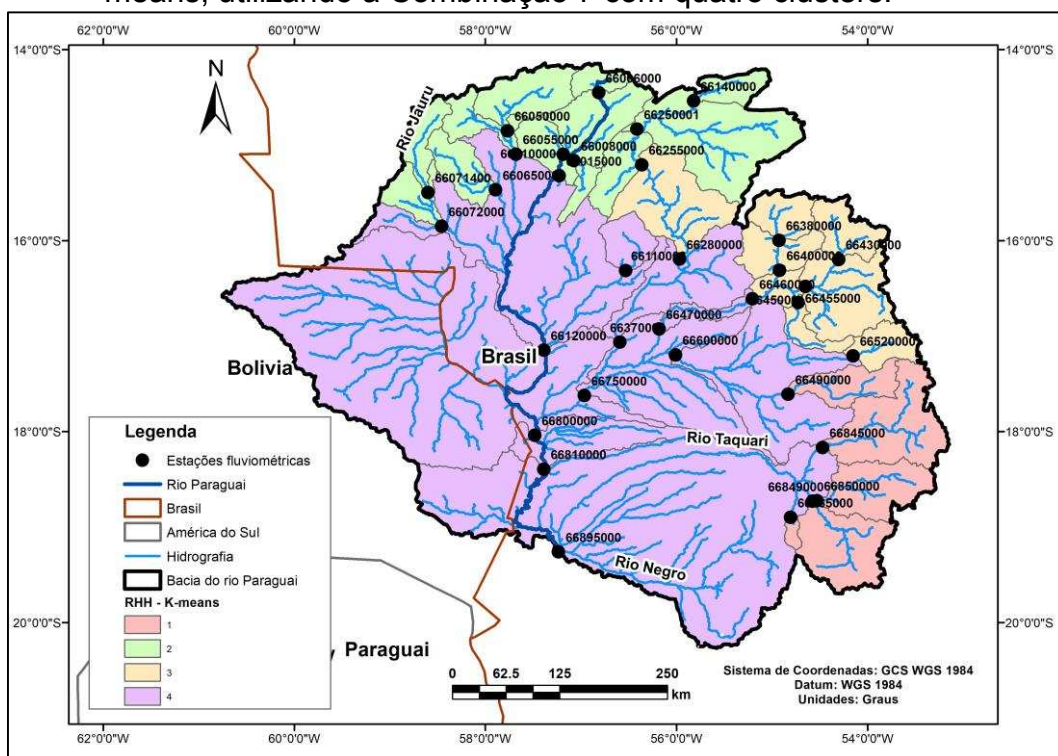
Fonte: a autora.

Figura C48 - RHHs encontradas para bacia do rio Paraguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com três clusters.



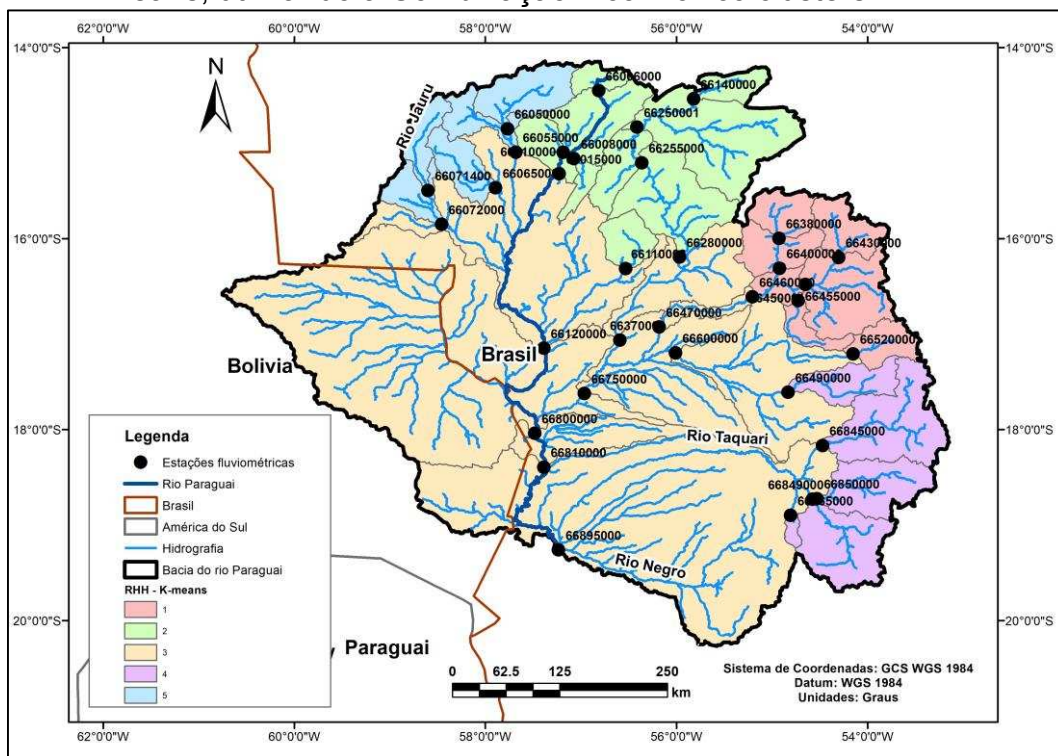
Fonte: a autora.

Figura C49 - RHHs encontradas para bacia do rio Paraguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com quatro clusters.



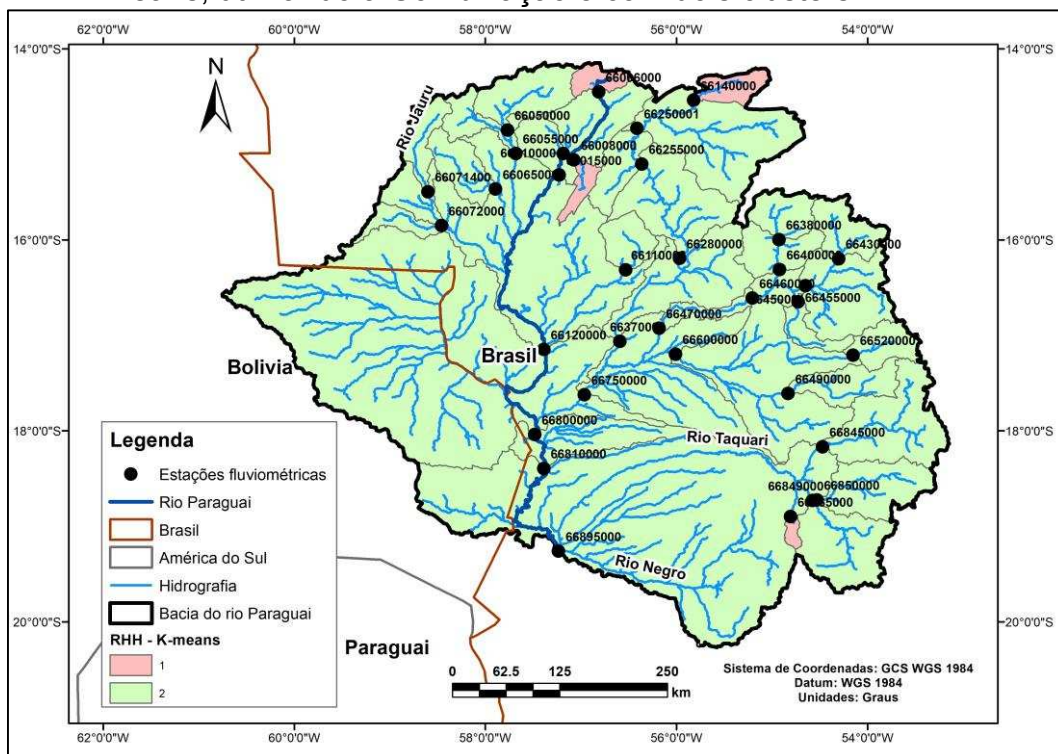
Fonte: a autora.

Figura C50 - RHHs encontradas para bacia do rio Paraguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com cinco clusters.



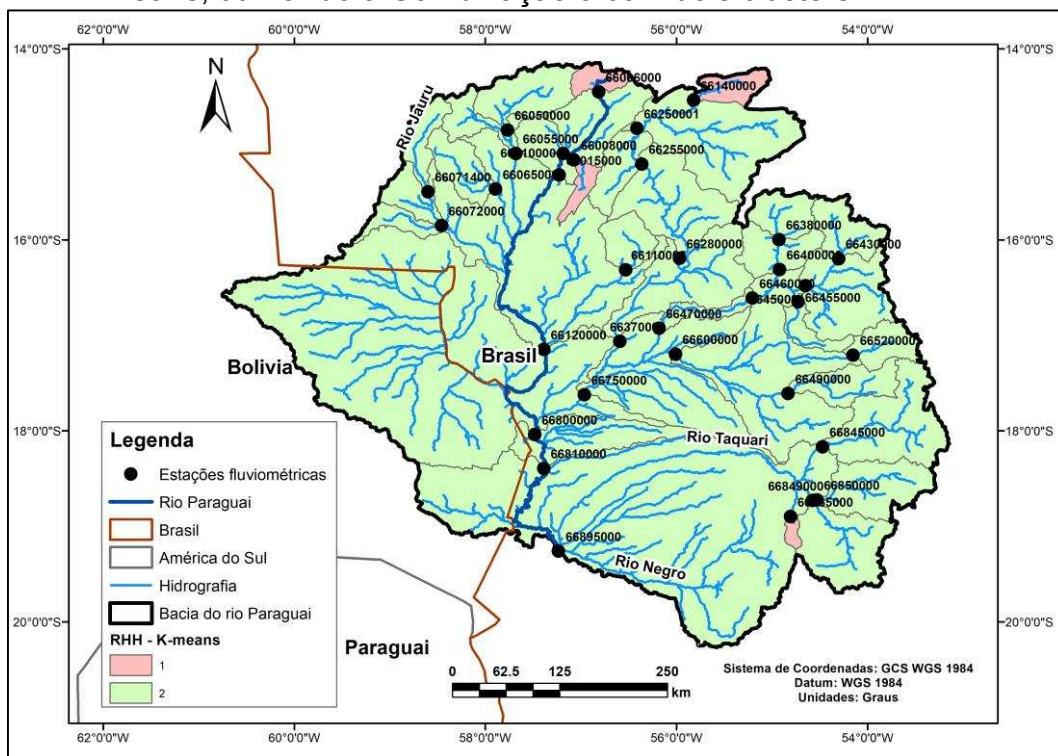
Fonte: a autora.

Figura C51 - RHHs encontradas para bacia do rio Paraguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 8 com dois clusters.



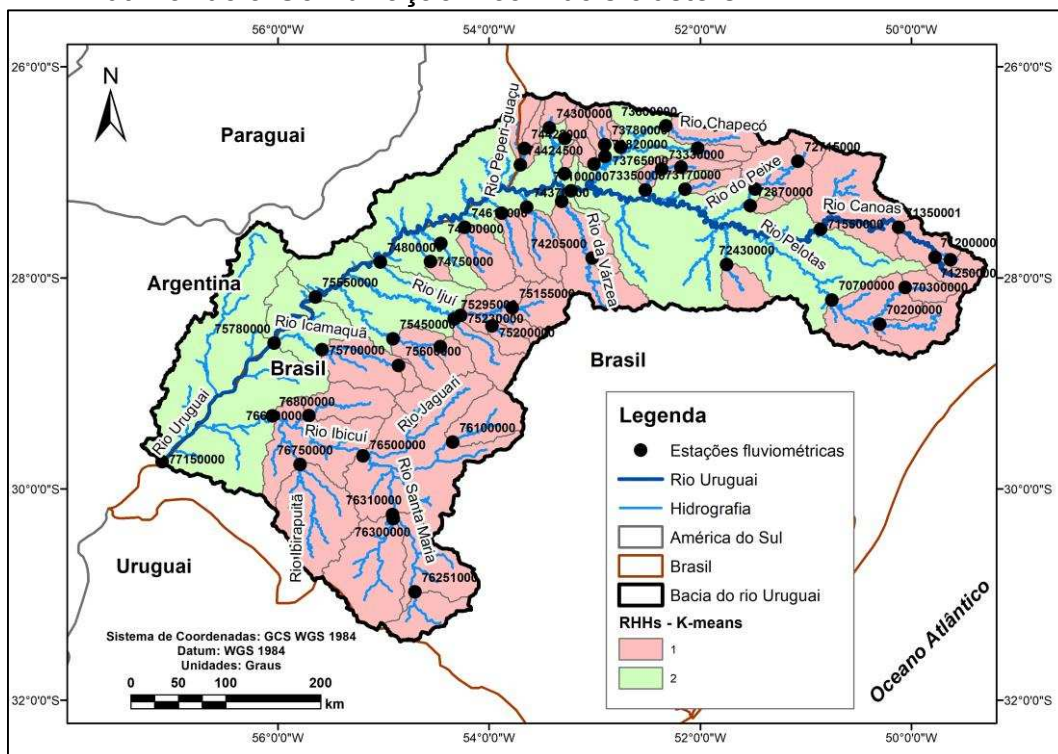
Fonte: a autora.

Figura C52 - RHHs encontradas para bacia do rio Paraguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 9 com dois clusters.



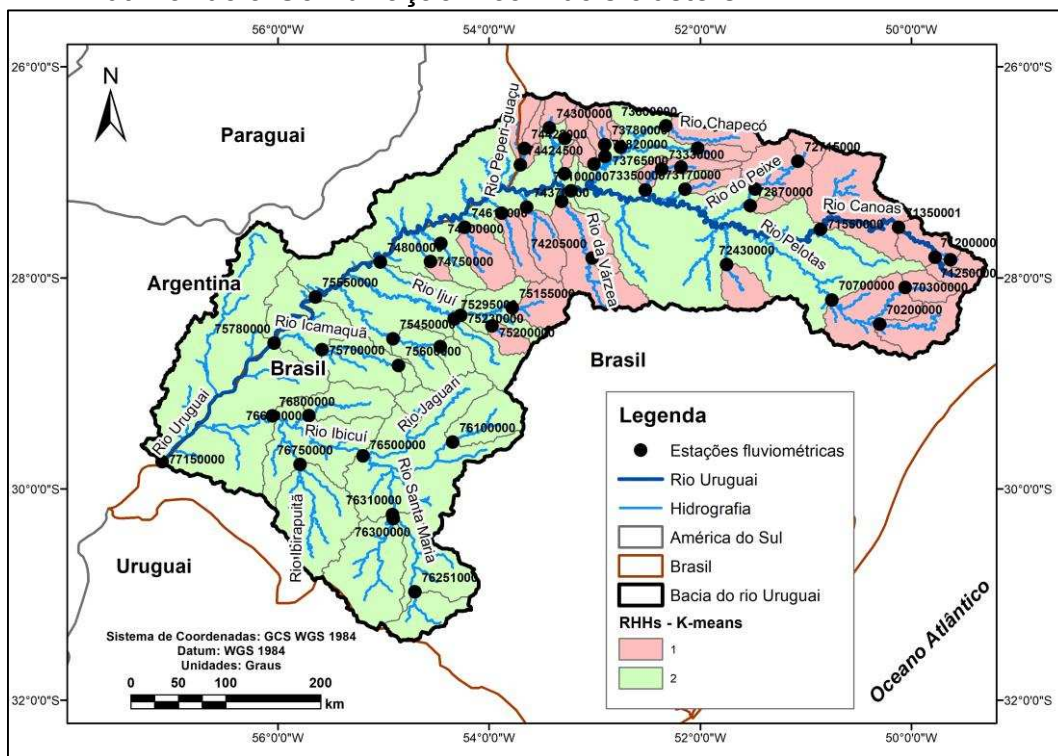
Fonte: a autora.

Figura C53 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 1 com dois clusters.



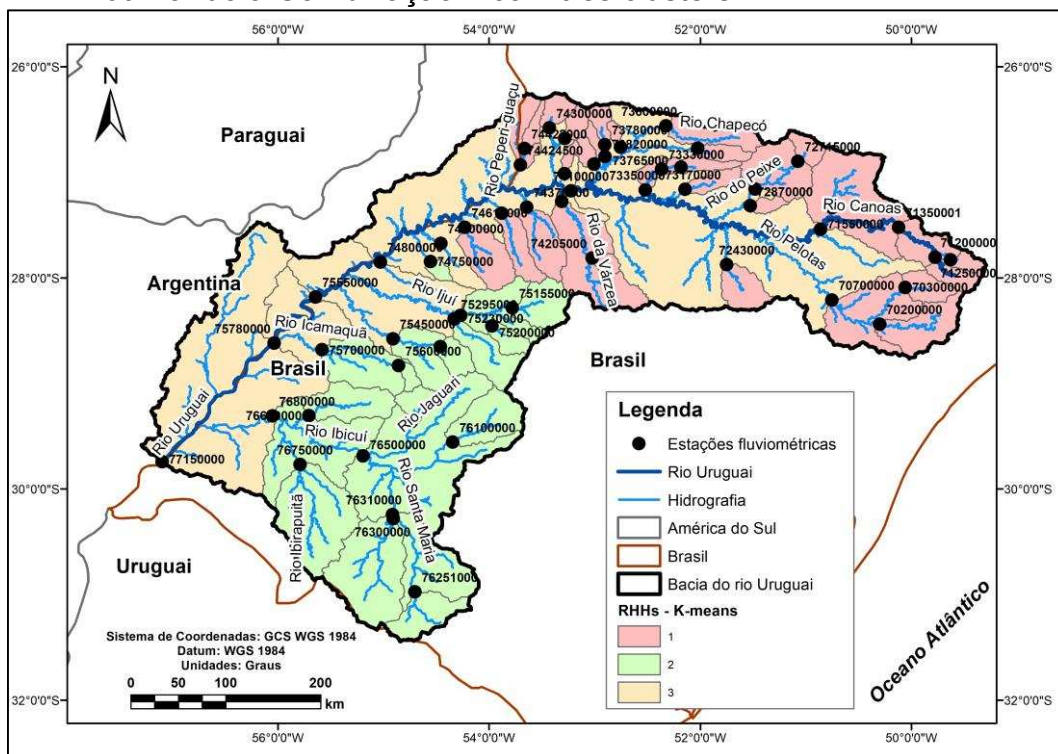
Fonte: a autora.

Figura C54 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com dois clusters.



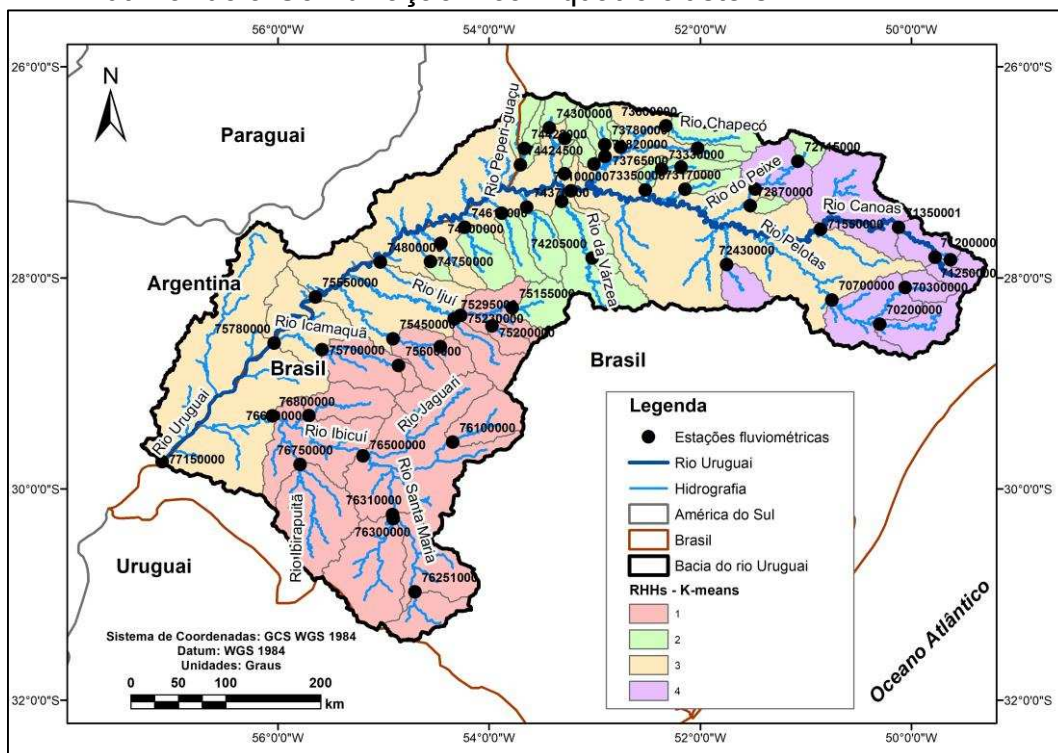
Fonte: a autora.

Figura C55 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com três clusters.



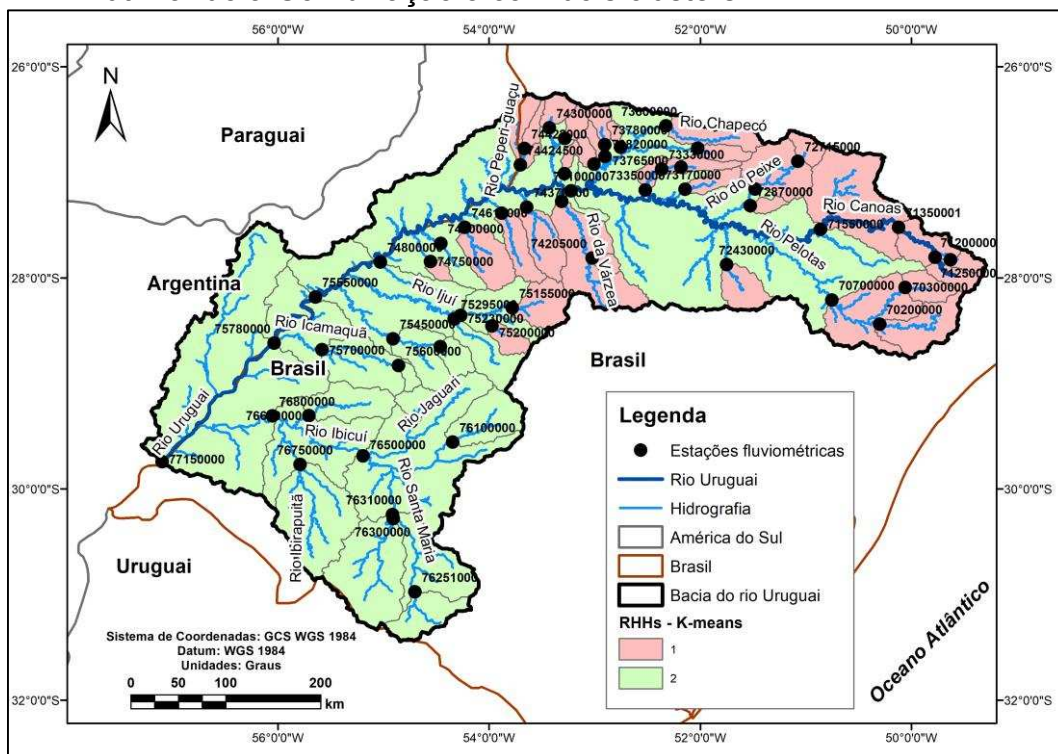
Fonte: a autora.

Figura C56 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 2 com quatro clusters.



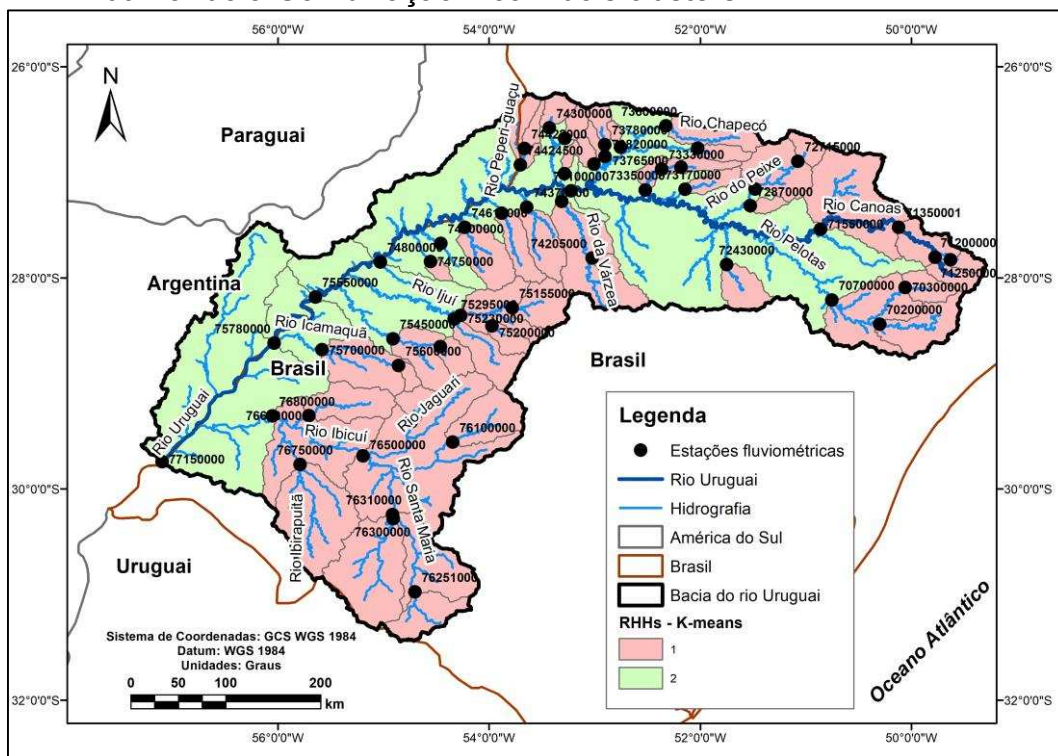
Fonte: a autora.

Figura C57- RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 3 com dois clusters.



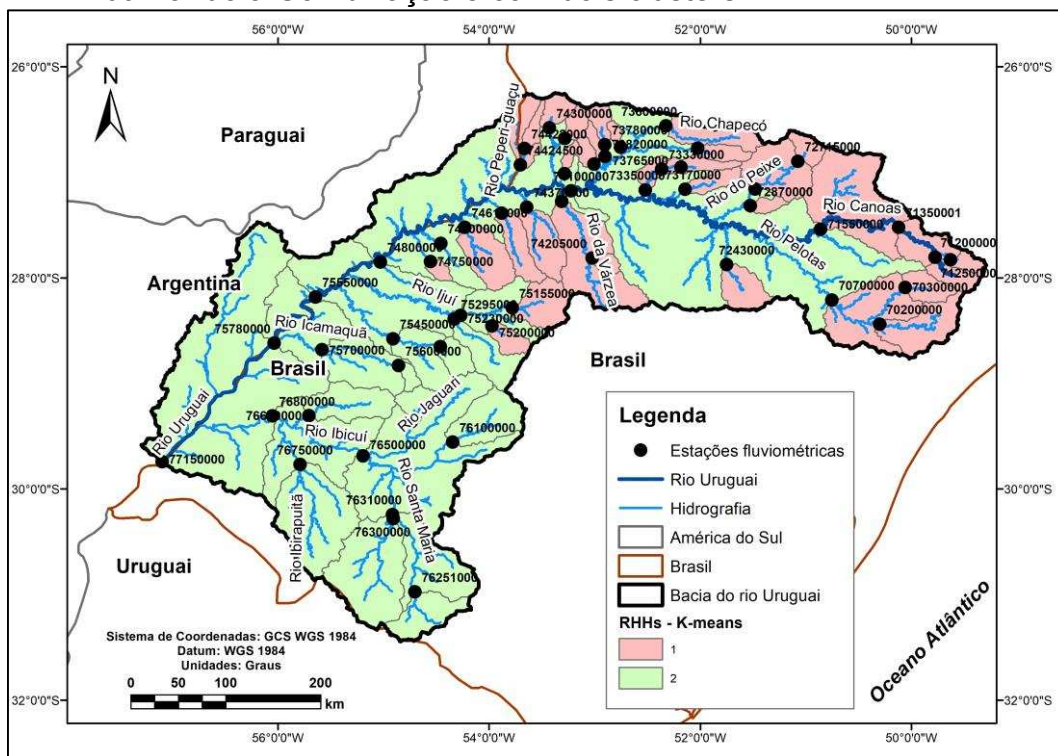
Fonte: a autora.

Figura C60 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 4 com dois clusters.



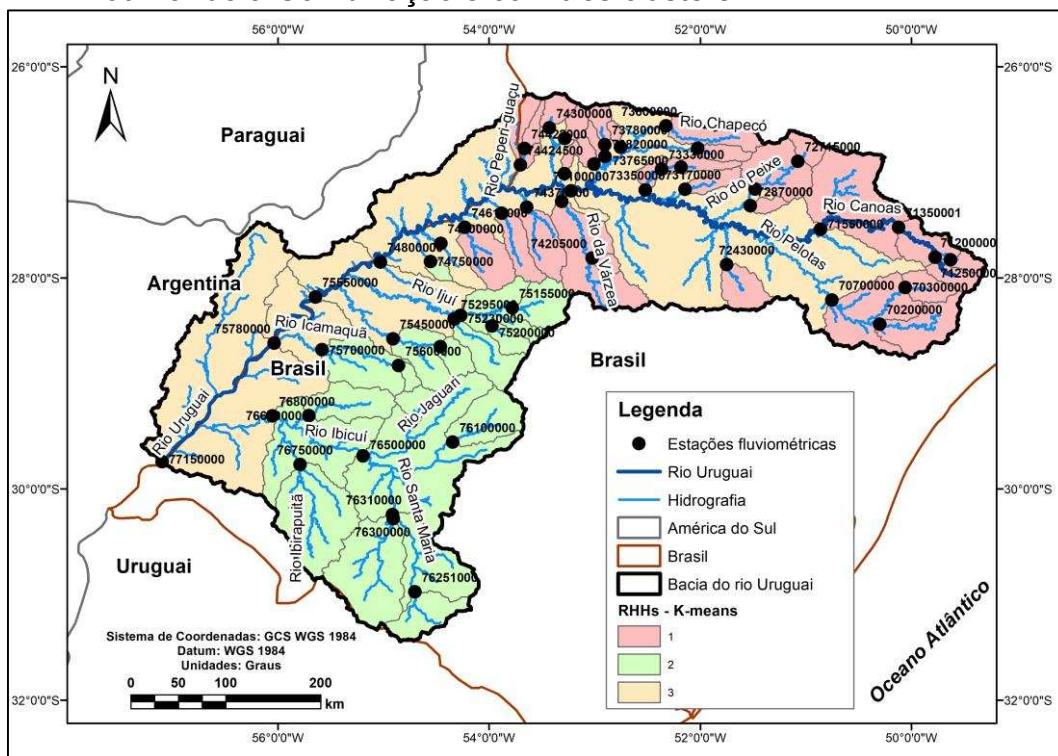
Fonte: a autora.

Figura C61- RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 5 com dois clusters.



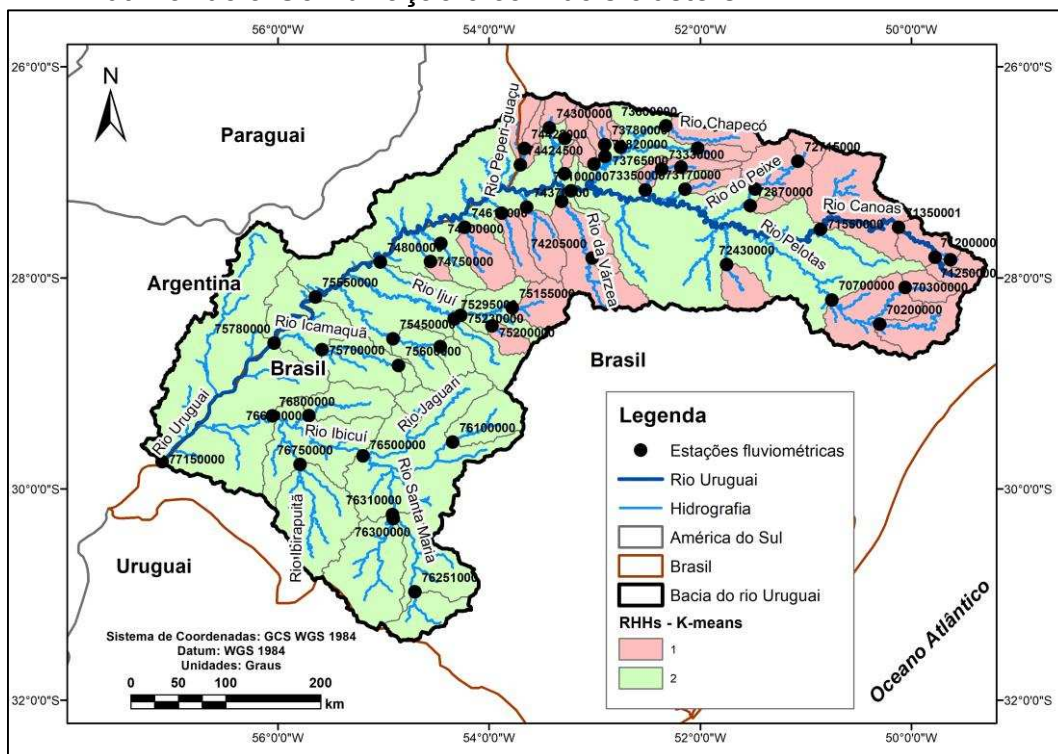
Fonte: a autora.

Figura C62 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 5 com três clusters.



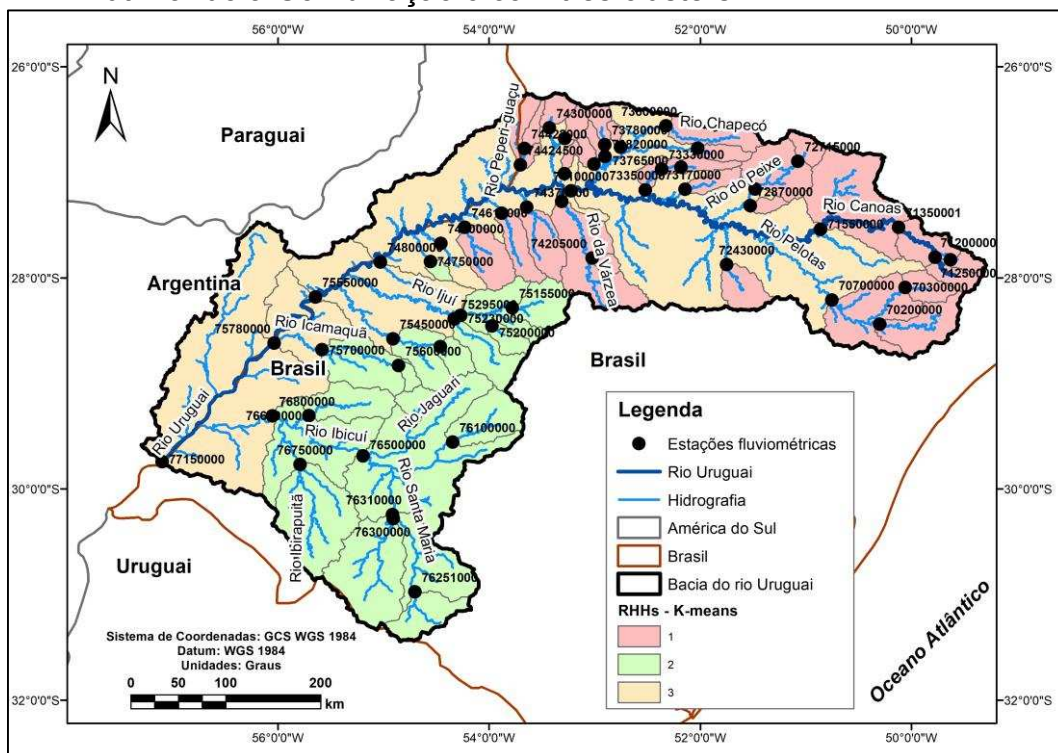
Fonte: a autora.

Figura C63 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 6 com dois clusters.



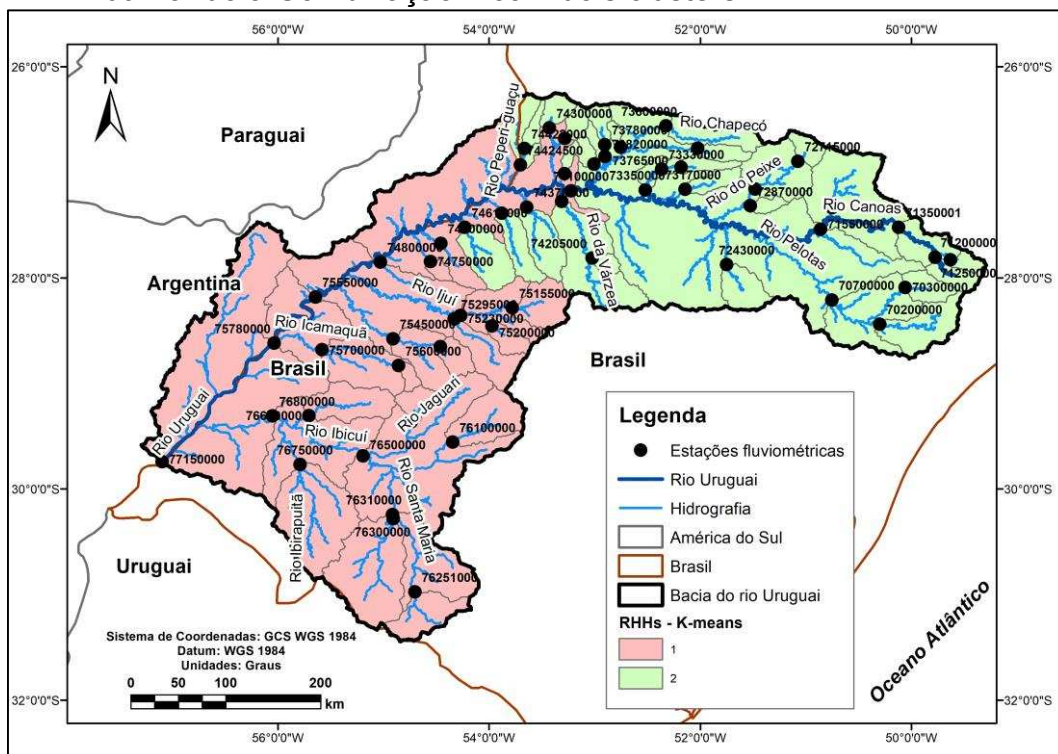
Fonte: a autora.

Figura C64 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 6 com três clusters.



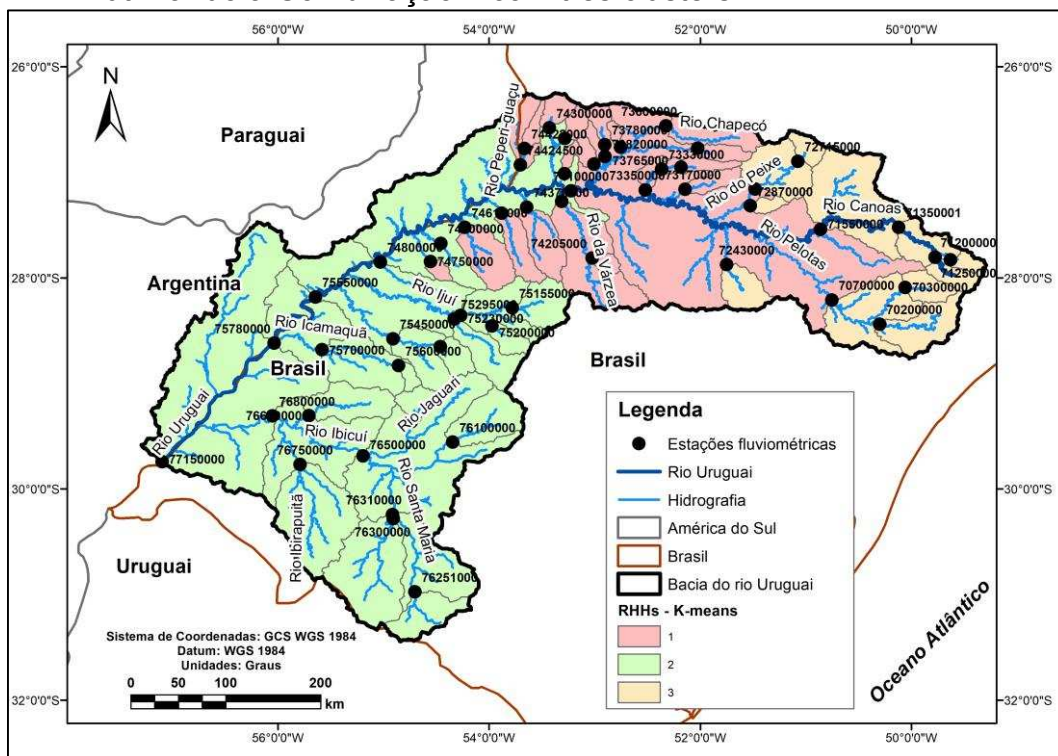
Fonte: a autora.

Figura C65 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com dois clusters.



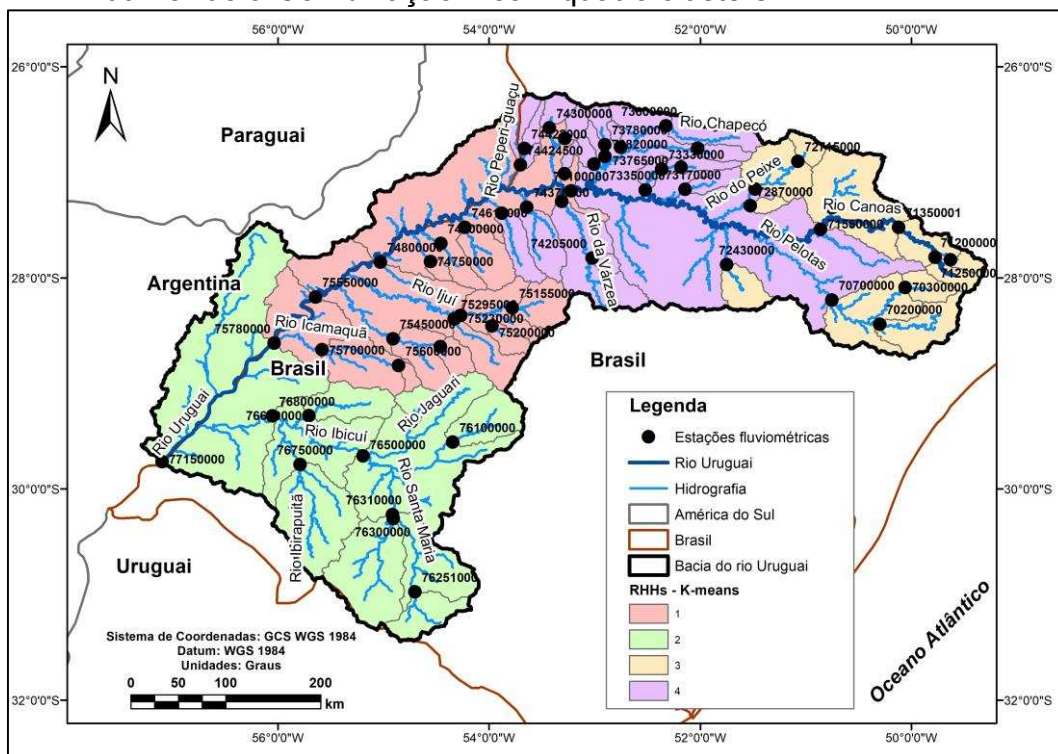
Fonte: a autora.

Figura C66 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com três clusters.



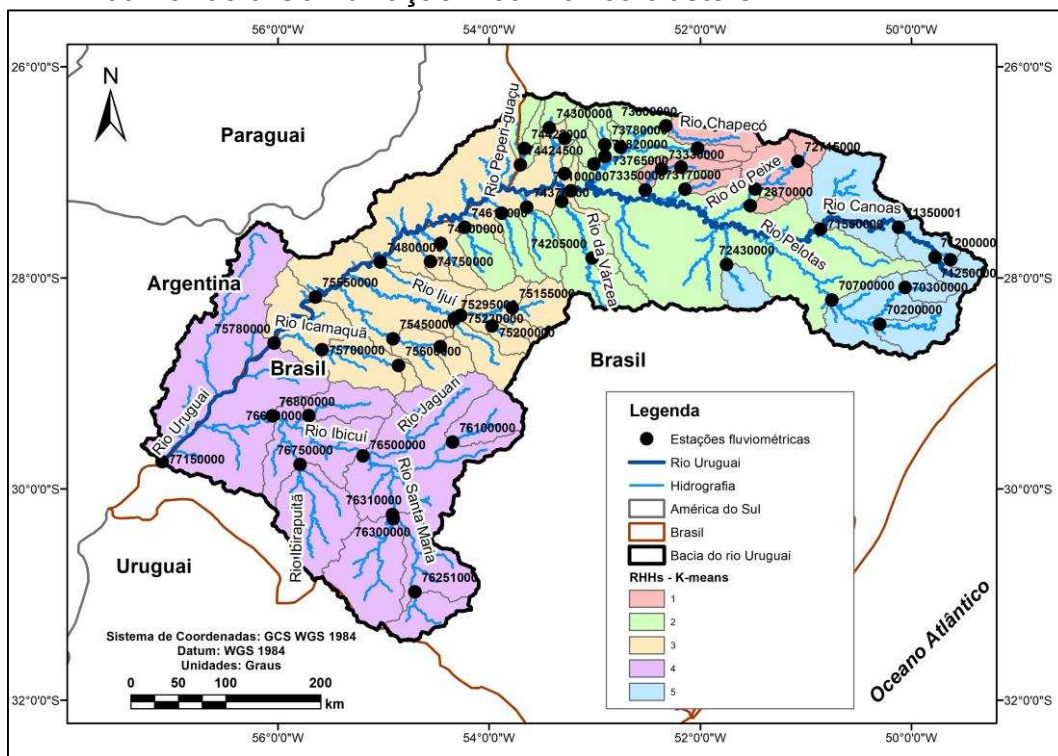
Fonte: a autora.

Figura C67 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com quatro clusters.



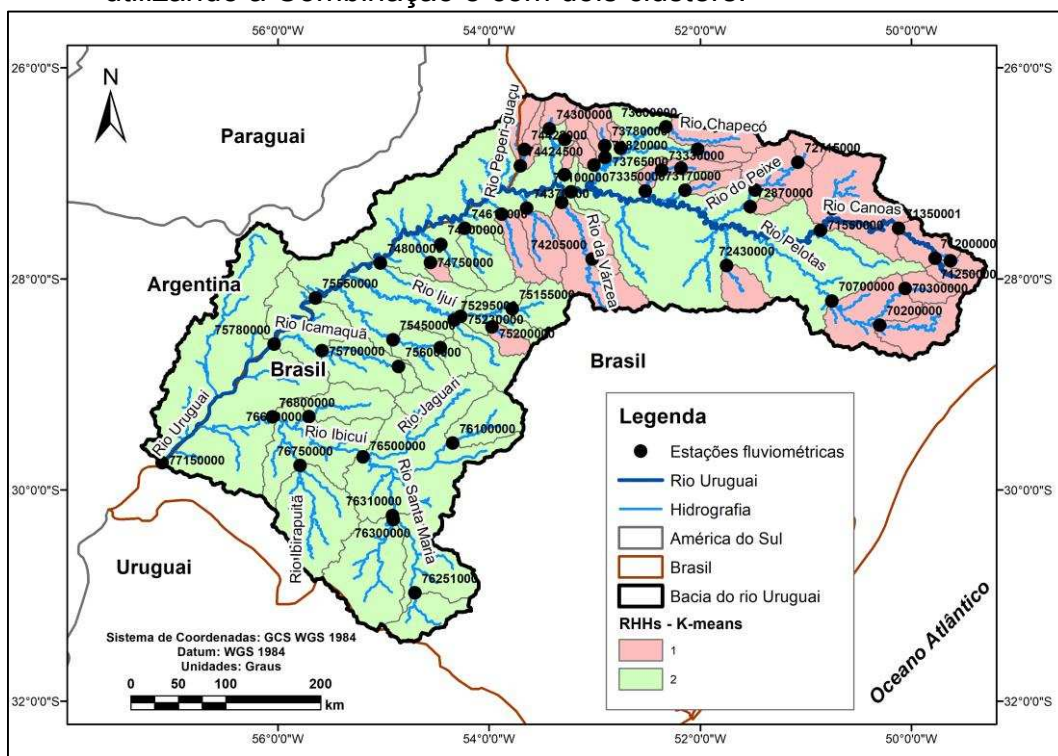
Fonte: a autora.

Figura C68 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 7 com cinco clusters.



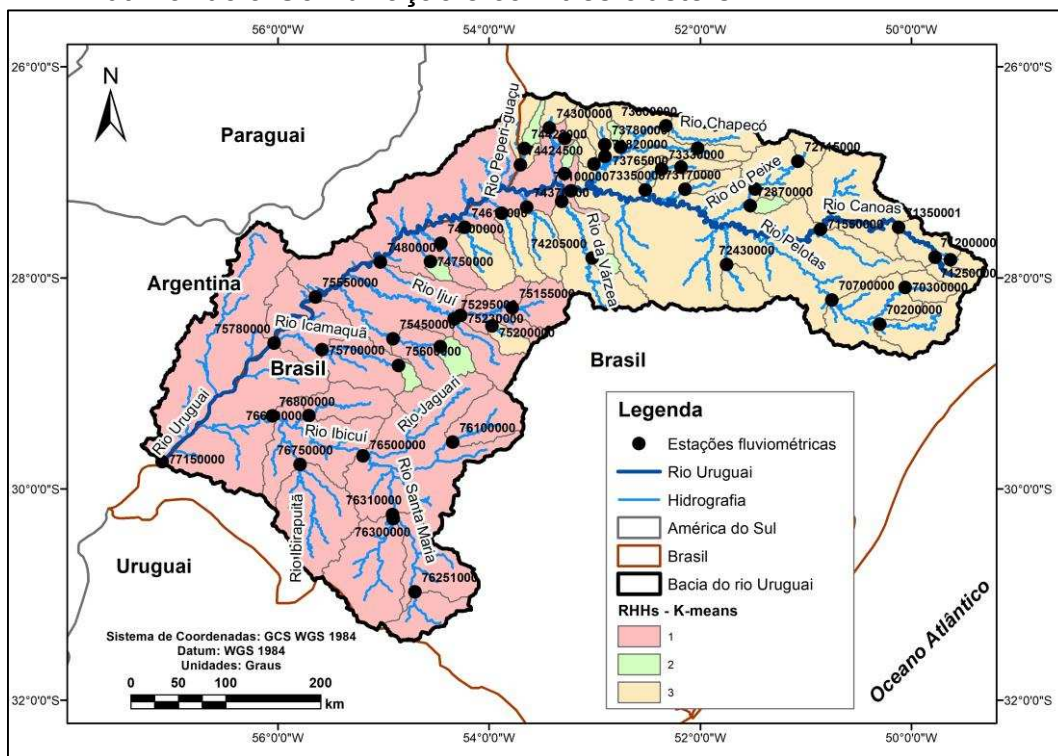
Fonte: a autora.

Figura C69 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 8 com dois clusters.



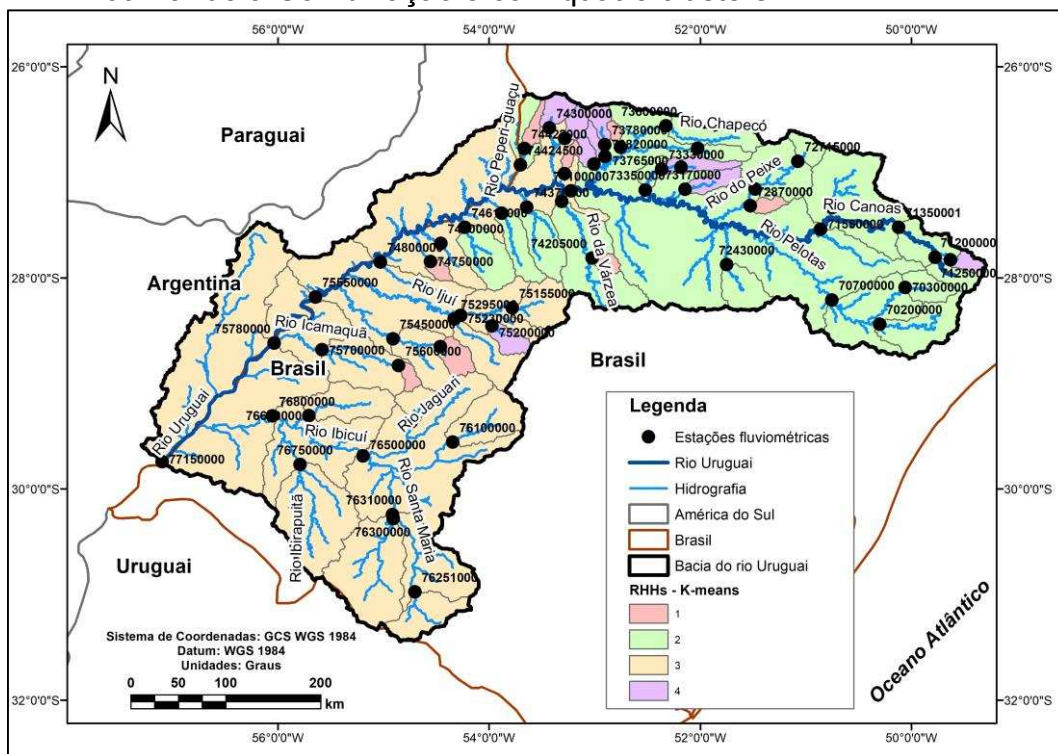
Fonte: a autora.

Figura C70 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 8 com três clusters.



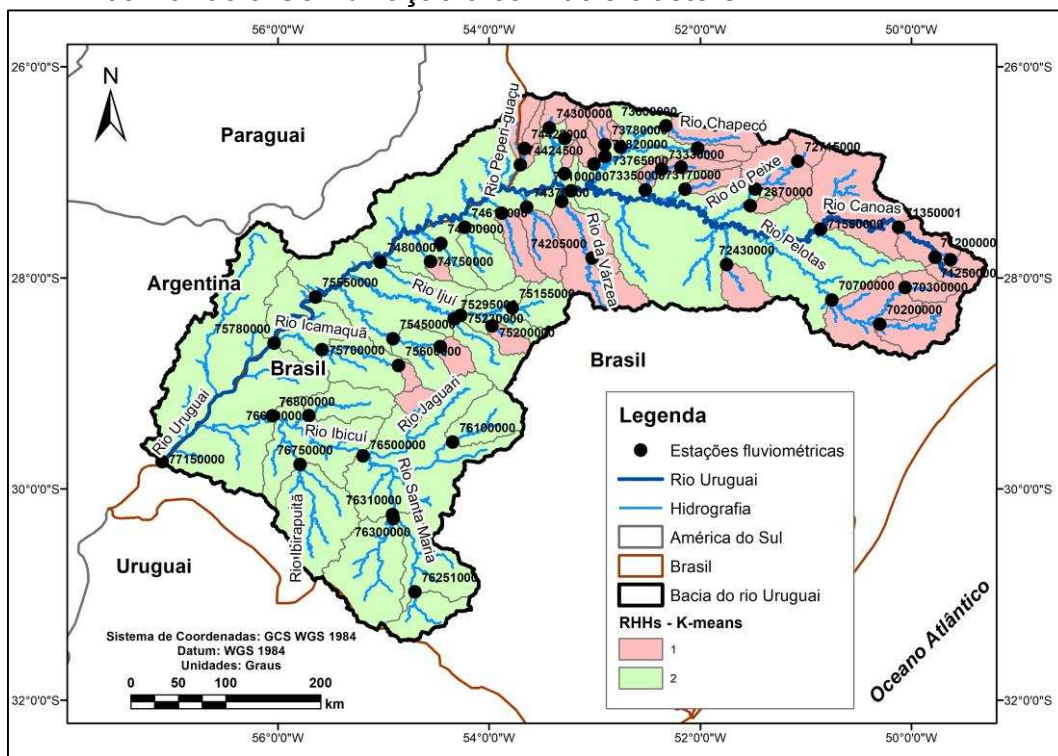
Fonte: a autora.

Figura C71 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 8 com quatro clusters.



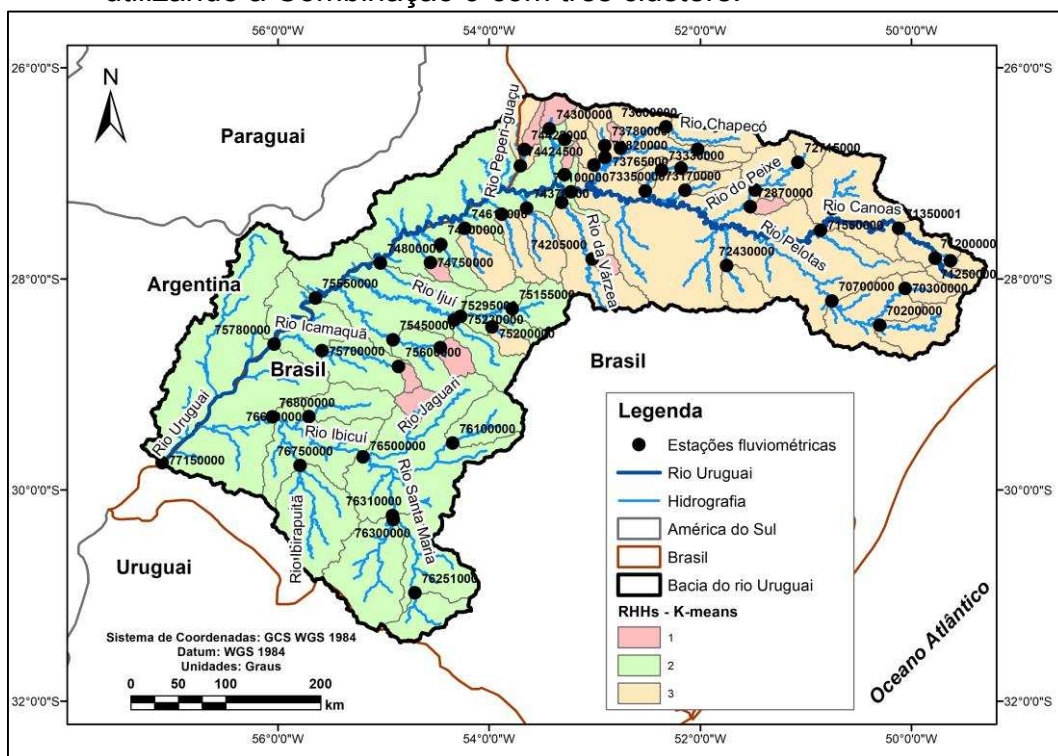
Fonte: a autora.

Figura C72 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 9 com dois clusters.



Fonte: a autora.

Figura C73 - RHHs encontradas para bacia do rio Uruguai pelo método K-means, utilizando a Combinação 9 com três clusters.



Fonte: a autora.