



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



RICHARD HARRISSON RECKEL

OTTOCODIFICAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUPÁ
UTILIZANDO DADOS SRTM

Ji-Paraná

2014

RICHARD HARRISSON RECKEL

**OTTOCODIFICAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUPÁ
UTILIZANDO DADOS SRTM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Robson Alves de Oliveira

Ji-Paraná

2014

R298o
2014

Reckel, Richard Harrison

Ottocodificação da bacia hidrográfica do Rio Urupá utilizando dados SRTM / Richard Harrison Reckel; orientador Robson Alves de Oliveira. -- Ji-Paraná, 2014

77 p. : 30 cm

Trabalho de conclusão de Curso Bacharel em Engenharia Ambiental. – Universidade Federal de Rondônia, 2014

Inclui referências

1. Recursos Hídricos. 2. Gestão Integrada. 3. Processamento de imagens. I. Oliveira, Robson Alves de. II. Universidade Federal de Rondônia. III. Título

CDU 502.51(282)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



TÍTULO: OTTOCODIFICAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUPÁ
UTILIZANDO DADOS SRTM

AUTOR: RICHARD HARRISSON RECKEL

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e aprovado pelo Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, no dia 09 de dezembro de 2014.

Nara Luísa Reis de Andrade
Universidade Federal de Rondônia

João Gilberto de Souza Ribeiro
Universidade Federal de Rondônia

Robson Alves de Oliveira
Universidade Federal de Rondônia

Ji-Paraná, 09 de dezembro de 2014.

DEDICO

Aos meus pais, Daniel Reckel e Suzinete Maria da Silva Reckel, por todo o amor e sacrifícios devotados a mim, com o intuito de me oferecer a melhor herança: a educação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nos criou e foi criativo nesta tarefa.

Aos meus pais e irmão, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Robson Alves de Oliveira, pelas horas despendidas a me orientar e pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho

A todos os professores do DEA, que foram tão importantes na minha vida acadêmica.

Aos meus colegas de classe, em especial aos grandes amigos Douglas Cenci, Victor Nathan e Rafael Ranconi. Tenho certeza que vocês serão excelentes profissionais.

À minha namorada, por sempre me apoiar e tornar minha vida mais afetuosa,

E, claro, a todos meus amigos pelo incentivo constante.

Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
A presença distante das estrelas!

Mário Quintana

RESUMO

A publicação da lei 9.433 de 1997, que institucionalizou a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil, trouxe a perspectiva de uma gestão integrada, participativa e descentralizada dos recursos hídricos. Com o intento de corroborar com esse propósito, o Brasil adotou, através da Resolução nº 30 de 2002, o sistema de codificação de bacias hidrográficas desenvolvido pelo engenheiro Otto Pfafstetter. Esse sistema, conhecido como ottocodificação, caracteriza-se pela sua racionalidade. Nele é associado um número de identificação único para cada bacia, que são organizadas em uma estrutura hierárquica, permitindo inferir quais bacias hidrográficas se localizam a jusante e a montante daquela em estudo. Dessa forma, a presente monografia teve como objetivo comparar a codificação ao nível seis para a região da bacia hidrográfica do rio Urupá, localizada no estado de Rondônia, obtida através de dados espaciais da SRTM com a codificação disponibilizada pela ANA na escala ao milionésimo, bem como ottocodificar essa bacia até o nível 8 e ottocodificar o curso d'água principal. Para gerar a codificação de Pfafstetter foram seguidas algumas etapas de pré-processamento, tais como: processamento da imagem SRTM, remoção das depressões espúrias e ajustes no posicionamento da drenagem numérica, além da revisão da metodologia. Comparando a ottocodificação de nível seis realizada pela ANA e a obtida, pôde-se concluir que, em face da escala cartográfica utilizada, o grau de detalhamento alcançado foi superior. A codificação ao nível oito somente pôde ser realizada para 4 sub-bacias do rio Urupá, pois a partir desse nível não puderam ser identificadas as quatro maiores bacias contribuintes, conforme a metodologia de Pfafstetter. O curso d'água principal foi identificado com precisão em todas as ottobacias aqui desenvolvidas, possibilitando que o gestor da bacia identifique a origem, a localização e a influência de um determinado tributário. Com o desenvolvimento do estudo, pode-se constatar que o método torna-se eficiente quão mais detalhada for a base de dados utilizada, sendo a escala cartográfica o maior fator limitante.

Palavras-chave: Otto Pfafstetter, processamento de imagens, ottobacias, sistema de informação geográfica, recursos hídricos

ABSTRACT

The publication of Law 9433 of 1997, which established the National Water Resources Policy in Brazil, opened the prospect of integrated managing, participatory and decentralized water resources. Aiming to corroborate this regard, Brazil has adopted, through Resolution 30 of 2002, the coding system of watersheds developed by engineer Otto Pfafstetter. This system known as Otto codification is characterized by its rationality. In it is assigned a unique identification number for each basin, which are organized in a hierarchical structure, allowing inferring which watersheds are located downstream and upstream of that study. Thus, this monography aimed to compare the coding level six for the region of the Urupá River watershed, located in the state of Rondônia, obtained from the spatial data SRTM with encoding provided by the ANA on the millionth scale, as well as encode up this basin until level 8 and encode up the main watercourse. To generate the Pfafstetter coding steps are followed some preprocessing, such as image processing SRTM removing spurious depressions and adjustments in the positioning of the numerical drainage, in addition to revising the methodology. Comparing Otto codification level six held by ANA and achieved in this research, it was concluded that, in the face of cartographic scale used, the degree of detail obtained was superior. The encoding to level eight could only be held for four sub-basins of the river Urupá because from that level the four largest contributors basins could not be identified, according the Pfafstetter methodology. The main watercourse was accurately identified in all ottobacias developed here, allowing the manager to identify the origin of the basin, the location and the influence of a particular tributary. With the development of the study, we can state that the method becomes more efficient according to how detailed the database used, the cartographic scale being the most limiting factor.

Keywords: Otto Pfafstetter, processing images, ottobasins, geographic information system, water resources

RESUMEN

La publicación de la Ley 9433 de 1997, que estableció la Política Nacional de Recursos Hídricos en Brasil, abrió la perspectiva de la gestión integrada, participativa y descentralizada de los recursos hídricos. Con el objetivo de corroborar este respecto, el Brasil ha adoptado, mediante la Resolución 32 de 2002, el sistema de codificación de las cuencas hidrográficas desarrollados por el ingeniero Otto Pfafstetter. Este sistema, conocido como ottocodificación, se caracteriza por su racionalidad. En él se le asigna un número de identificación único para cada cuenca, que se organizan en una estructura jerárquica, lo que nos permite inferir que las cuencas se encuentran aguas abajo y aguas arriba de dicho estudio. De este modo, esta tesis tiene como objetivo comparar el nivel de codificación de seis para la región de la cuenca del río Urupá, situado en el estado de Rondônia, que se obtiene a partir de los datos espaciales SRTM con codificación proporcionados por la ANA en la escala de un millón, así como ottocodificar esta cuenca hasta el nivel 8 y ottocodificar el principal curso del agua. Para generar el Pfafstetter pasos de codificación son seguido algunos de preprocesamiento, tales como procesamiento de imágenes SRTM la eliminación de depresiones espurias y ajustes en el posicionamiento del drenaje numérica, además de la revisión de la metodología. Comparando ottocodificación nivel seis en poder de ANA y obtenida, se concluyó que, en vista de la escala cartográfica utilizada, el grado de detalle alcanzado era superior. La codificación a nivel de ocho sólo podría celebrarse por cuatro subcuencas del río Urupá porque a partir de ese nivel no pudieron ser identificados las cuatro mayores cuencas contribuyentes de acuerdo con la metodología de Pfafstetter. El principal curso de agua del agua fue identificado con precisión en todas las ottobacias desarrollados aquí, lo que permite el gerente para identificar el origen de la cuenca, la ubicación y la influencia de un impuesto en particular. Con el desarrollo del estudio, se puede afirmar que el método se hace más eficiente de acuerdo con el grado de detalle utilizado la base de datos, siendo la escala cartográfica el factor más limitante.

Palabras-clave: Otto Pfafstetter, procesamiento de imágenes, ottobacias, sistema de información geográfica, recursos hídricos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ordenação de canais de sistema de drenagem.....	22
Figura 2 - Representação do método desenvolvido por Shreve (1966).....	23
Figura 3 - Divisão hidrográfica do Brasil segundo o CNRH.	29
Figura 4 - Exemplo de uma bacia hidrográfica ottocodificada.	30
Figura 5 - Localização da bacia do Rio Urupá.	34
Figura 6 - Plataforma do site EMBRAPA para download dos dados SRTM.....	35
Figura 7 - Fluxograma das etapas envolvidas na geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).	36
Figura 8 - Eliminação de depressões espúrias por meio do comando FILL.....	37
Figura 9 - Representação das oito possíveis direções de escoamento superficial.	37
Figura 10 - Representação da determinação do fluxo acumulado (<i>flow accumulation</i>).	38
Figura 11 - Exemplo de divisão de bacia e interbacia de acordo com o sistema proposto por Pfafstetter (1989).....	39
Figura 12 - Subdivisão do continente América do Sul ao nível 1 da Ottocodificação.....	40
Figura 13 - Subdivisão das bacias hidrográficas brasileiras ao nível 2 da Ottocodificação.....	41
Figura 14 - Curso d'água principal do rio Trombetas.....	42
Figura 15 - Identificação das quatro maiores áreas de contribuição da bacia.	42
Figura 16 - Identificação das interbacias dentro da bacia hidrográfica.	43
Figura 17 - Bacia codificada ao nível 4.	44
Figura 18 - Exemplo de codificação de curso d'água de acordo com Pfafstetter.	45
Figura 19 - Ottocodificação nível 1 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.....	46
Figura 20 - Ottocodificação nível 2 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.....	46
Figura 21 - Ottocodificação nível 3 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.....	47
Figura 22 - Ottocodificação nível 4 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.....	47
Figura 23 - Ottocodificação nível 5 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.....	48
Figura 24 - Ottocodificação nível 6 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.....	48
Figura 25 - Comparação entre a drenagem obtida pelo MDEHC e a utilizada pela ANA.....	49
Figura 26 - Ottobacia 46345 disponibilizada pela ANA contendo a bacia do rio Urupá.....	51
Figura 27 - Comparação entre as ottobacias do MDEHC e da ANA.	52
Figura 28 - Ottocodificação nível 7 para a bacia do rio Urupá gerada pelo MDEHC.	54
Figura 29 - Ottocodificação nível 8 para a sub-bacia de código 4634584.	55
Figura 30 - Ottocodificação nível 8 para a sub-bacia de código 4634588.	56
Figura 31 - Ottocodificação nível 8 para a sub-bacia de código 4634589.	57

Figura 32 - Ottocodificação nível 8 para a sub-bacia de código 4634585.	58
Figura 33 - Identificação do rio principal na bacia do rio Urupá segundo Pfafstetter.	60
Figura 34 - Identificação do rio principal na bacia 4634584 segundo Pfafstetter.	61
Figura 35 - Identificação do rio principal na bacia 4634588 segundo Pfafstetter.	62
Figura 36 - Identificação do rio principal na bacia 4634589 segundo Pfafstetter.	63
Figura 37 - Identificação do rio principal na bacia 4634585 segundo Pfafstetter.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA.....	Agência Nacional de Águas
CNRH.....	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CAERD.....	Companhia de Água e Esgoto de Rondônia
CODEVASF.....	Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco
DNAEE.....	Agência Nacional de Águas e Energia Elétrica do Brasil
DNOS.....	Departamento Nacional de Obras de Saneamento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GRDC.....	Global Runoff Data Centre
IBAMA.....	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
InSAR.....	Iterferometric Synthetic Aperture Radar
IRD.....	Instituto Francês de Pesquisa para o Desenvolvimento
MDE.....	Modelo Digital de Elevação
MDE's.....	Modelos Digitais de Elevação
MDEHC.....	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
MNT	Modelo Numérico do Terreno
NASA.....	National Aeronautics and Space Administration
NWIS.....	U.S. National Water Information System
ORSTOM.....	Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
PDI.....	Processamento Digital de Imagens
PNRH.....	Política Nacional de Recursos Hídricos
SAR	Radar de Abertura Sintética
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas

SINGREH..... Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIRH..... Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRH..... Secretaria de Recursos Hídricos
SRTM Shuttle Radar Topography Mission
USGS United States Geological Survey
WMO..... Organização Meteorológica Mundial

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 REFERENCIAL TEÓRICO	17
1.1 A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	17
1.2 A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS	17
1.3 MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	21
1.4 PANORAMA HISTÓRICO.....	23
1.5 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	25
1.5.1 Modelos digitais de elevação e dados SRTM	26
1.6 ADOÇÃO DO SISTEMA DE OTTOCODIFICAÇÃO NO BRASIL.....	27
1.7 A CODIFICAÇÃO DE OTTO PFAFSTETTER.....	30
1.7.1 Codificação de ottobacias	30
1.7.2 Limitações	31
1.8 A IMPORTÂNCIA DA OTTOCODIFICAÇÃO NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	32
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
2.1 ÁREA DE ESTUDO	34
2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS.....	35
2.3 GERAÇÃO DO MDEHC.....	36
2.4 OTTOCODIFICAÇÃO	38
2.4.1 Delimitação das ottobacias e interbacias.....	38
2.4.2 Codificação dos cursos d'água.....	44
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1 COMPARAÇÃO ENTRE A OTTOBACIA DO RIO URUPÁ AO NÍVEL SEIS PELO MDEHC E O FORNECIDO PELA ANA	50
3.2 OTTOCODIFICAÇÃO AO NÍVEL 7	53
3.3 OTTOCODIFICAÇÃO AO NÍVEL 8	55
3.4 CODIFICAÇÃO DO CURSO D'ÁGUA PRINCIPAL	59
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

INTRODUÇÃO

Uma bacia hidrográfica pode ser compreendida como uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água, sendo que toda vazão efluente seja descarregada por uma simples saída (TUCCI, 1997). Dada a importância da bacia hidrográfica, a legislação brasileira tem evoluído no sentido de preservar e gerenciar de maneira eficaz os recursos hídricos. A publicação da Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, além de estabelecer a bacia hidrográfica como unidade territorial administrativa para a operacionalização desta política e para a atuação do SINGREH. Em face disso, os Planos Básicos de Recursos Hídricos devem ser elaborados por bacia hidrográfica, em âmbito estadual e nacional, o que torna imprescindível a definição de um sistema único e integrado de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras.

Visando preencher essa lacuna, no ano de 2002 o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) aprovou a Resolução de nº 30, estabelecendo para efeito de codificação de bacias hidrográficas, a metodologia descrita pelo engenheiro brasileiro Otto Pfafstetter, sendo esta a ferramenta de referência a ser usada na PNRH (SILVA, 1999).

Esse sistema, conhecido como ottocodificação, caracteriza-se pela sua racionalidade, onde um identificador único é associado a cada bacia, organizadas em uma estrutura hierárquica. Outra característica importante é a informação topológica embutida nos códigos, sendo possível inferir quais bacias se localizam a jusante e a montante daquela em estudo. Além disso, a fácil integração com Sistemas de Informação Geográficas ajuda gestores na tomada de decisão em recursos hídricos, especialmente no que diz respeito à divisão de unidades de gestão (FÜRST E HÖRHAN, 2009).

Para a ottocodificação é necessária a delimitação das ottobacias, sendo essas as bacias e interbacias codificadas conforme o nível de detalhe para cada trecho da hidrografia. Para isso, é requerida a construção de uma rede hidrográfica unifilar topologicamente consistente,

possibilitando traçar os limites das bacias tributárias de cada trecho de curso d'água e o relevo da área em estudo.

Esses dados de relevo são frequentemente representados por Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes (MDEHC), sendo este obtido a partir do processamento computacional do Modelo Digital de Elevação (MDE). Essa edição do MDE tem como objetivo eliminar erros nos dados espaciais, como as depressões espúrias. Dessa forma, o MDEHC permite que as ottobacias sejam delimitadas com precisão, tendo em vista que apresenta conformidade com a realidade do terreno (FONTES E PEJON, 2008).

Visando atender aos objetivos do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos – SNIRH, em 2004, a ANA iniciou a construção de uma base ottocodificada para todo o Brasil, tendo por origem o mapeamento da carta hidrográfica do IBGE na escala do milionésimo. Esta escala foi escolhida por se tratar do único mapeamento que recobre de forma sistêmica todo o território nacional e atende os pré-requisitos para a gestão de recursos hídricos.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi empregar o método de classificação e codificação de bacias hidrográficas desenvolvido por Otto Pfafstetter na bacia hidrográfica do rio Urupá, a partir do nível 6. Em primeira análise, foi feita uma comparação da ottocodificação obtida para o nível 6 com a fornecida pela Agência Nacional de Águas (ANA). Em seguida, realizou-se a ottocodificação da bacia hidrográfica em estudo, do nível 6 ao 8, bem como a ottocodificação de seu curso d'água principal.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O tema da água caminha através do tempo sendo compreendido como recurso indispensável à vida humana. Seu uso para as mais diversas atividades faz dela um elemento essencial para a sociedade e, ao mesmo tempo, coloca em evidência os conflitos e interesses gerados pela sua escassez ou abundância. Com o aumento da população mundial, e portanto das atividades agrícolas e industriais, a qualidade desse recurso vem diminuindo e tornando-o escasso em algumas regiões do planeta. Isso tem preocupado não só a comunidade científica e acadêmica, mas a sociedade em geral, que tem questionado às autoridades públicas a adoção de medidas e leis mais sensíveis a importância da água. Assim, na condição de dependentes dela, é necessário buscar formas apropriadas de realizar de realizar sua gestão.

Uma destas formas é a gestão integrada de bacia hidrográfica, focada nos usos múltiplos e na responsabilidade compartilhada sobre a qualidade e quantidade da água. A Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para a operacionalização da Política Nacional dos Recursos Hídricos e define que os Planos Básicos de Recursos Hídricos devem ser elaborados por bacia hidrográfica, independente da divisão político-administrativa (BRASIL, 1997). Isso caracteriza um importante passo para a descentralização da gestão, pois reúne, nos organismos colegiados criados para tomadas de decisões, representantes do Poder público, dos usuários e da sociedade civil, efetivando uma parceria para o adequado gerenciamento dos recursos hídricos.

1.2 A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS

A atual Política Nacional de Recursos Hídricos foi antecedida pelo “Código de Águas”, instituído pelo Decreto Federal n 24.643, de 10 de julho de 1934, instrumento que consubstanciava a legislação básica de recursos hídricos no país. O referido código foi regulamentado com vistas ao aproveitamento do potencial energético para atender a crescente demanda industrial do país (JACOBI et al., 2009), além de consolidar a União como detentora singular da atribuição de legislar sobre as águas, formando um processo altamente centralizado e verticalizado, onde somente o Estado podia definir seus usos prioritários.

Conferências como a de Estocolmo, em 1972, despertou um envolvimento cada vez maior da sociedade civil e dos indivíduos em geral nas questões ligadas ao meio ambiente. Nesse período, tentativas de integração da gestão entre União e estados foram executadas, como o acordo entre o Ministério de Minas e Energia e o Governo de São Paulo, com a finalidade de criar Comitês Especiais de Estudos de bacias hidrográficas. Esses comitês trabalharam na classificação dos cursos d'água e realizaram estudos acerca da utilização sustentável e racional dos recursos hídricos (LANNA, 1999).

A Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), atendendo aos anseios da mobilização social e aos novos ditames da gestão de águas no plano internacional, institucionalizou a Política Nacional de Recursos Hídricos e foi responsável por profundas mudanças nos processos de gestão hídrica no Brasil (SOUZA, 2012).

Na Lei 9.433/97, cognominada Lei das Águas, o legislador se preocupou em cumprir o mandato normativo constitucional do artigo 21, inciso XIX, alínea a, da nossa Carta Magna, ao criar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Tal inciso diz que compete à União instituir sistema nacional de gerenciamento dos recursos hídricos (BRASIL, 1988).

Dentro do capítulo I da lei em comento se encontra os cinco fundamentos básicos do SINGREH, a saber:

1. A água é um bem de domínio público;
2. A sua gestão deve proporcionar os usos múltiplos para os recursos da bacia hidrográfica;
3. Reconhecimento da água como recurso natural limitado, dotado de valor econômico, inferindo seu uso racional e dando base para a cobrança;
4. A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação e planejamento da Política Nacional e atuação do SINGREH, inspirado no modelo francês;
5. Gestão descentralizada e participativa, com participação da comunidade e de usuários.

Jacobi (2000) enfatiza que a descentralização tem como objetivo maior obter mais democracia, mais eficácia e mais justiça social. Afirma ainda que ela deve visar o aperfeiçoamento das relações intergovernamentais, capacitar os governos estaduais para as funções que lhe são atribuídas e possibilitar o controle social do poder público pela população organizada. Em relação à área de atuação, é ao nível da bacia que as decisões de alocação têm implicações econômicas mais abrangentes. Segundo Carrera-Fernandez e Garrido (2003), é na bacia hidrográfica que as relações hidrológicas, agrônomicas e econômicas podem ser integradas em uma estrutura de modelagem mais ampla, o que possibilita a criação e

aplicação de instrumentos de política que objetivem o uso racional e econômico dos recursos hídricos.

Nesse contexto, é possível destacar outras vantagens do gerenciamento por bacias, tais como:

1. Visão sistêmica para a gestão, estimulando a articulação dos usos múltiplos dos recursos hídricos;
2. Unidade física com limites definidos geograficamente, independente da divisão político-administrativa;
3. Oportunidade para o crescimento de parcerias entre o setor público, o setor privado, os usuários e a população; e
4. Participação da população em sua bacia hidrográfica, fomentando uma gestão participativa que possa refletir os anseios, necessidades e metas das populações regionais.

Especificamente em relação ao SINGREH, a Lei das Águas, em seu artigo 32 elenca seus principais objetivos:

- A. coordenar a gestão integrada das águas;
- B. arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;
- C. implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- D. planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;
- E. promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

O artigo 33 – com redação dada pela Lei 9.984, de 2000 – define os integrantes do SNGREH. Analisando a composição de alguns desses integrantes, é possível notar que a Lei 9.433 enfatizou na gestão mais descentralizada, uma vez que todos os agentes envolvidos devem participar do procedimento de tomada de decisões. Abaixo, no Quadro 1, é apresentado os integrantes e as funções de cada um no sistema.

Quadro 1 – Integrantes do SNGREH e suas principais funções.

Poder Executivo Federal
→ nos corpos de água sob domínio da União: tomar as providências necessárias à implementação e ao funcionamento do SNGREH; outorgar os direitos de uso de recursos hídricos; regulamentar e fiscalizar os usos; implantar e gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, em âmbito nacional, e promover a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental (art. 29);

<p style="text-align: center;">Poderes Executivos Estaduais e do Distrito Federal</p> <p>→ nos corpos de água sob domínio dos Estados e do Distrito Federal: outorgar os direitos de uso de recursos hídricos; regulamentar e fiscalizar os seus usos; realizar o controle técnico das obras de oferta hídrica; implantar e gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, no âmbito estadual e do Distrito Federal, e promover a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental (art. 30);</p>
<p style="text-align: center;">Poderes Executivos Municipais</p> <p>→ promover a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federais e estaduais de recursos hídricos (art. 31);</p>
<p style="text-align: center;">Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)</p> <p>→ (i) promover a articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regional, estaduais e dos setores usuários; (ii) arbitrar, em última instância administrativa, os conflitos existentes entre Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos; (iii) deliberar sobre os projetos de aproveitamento de recursos hídricos cujas repercussões extrapolem o âmbito dos Estados em que serão implantados; (iv) estabelecer diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; (v) aprovar propostas de instituição dos Comitês de Bacia Hidrográfica e estabelecer critérios gerais para a elaboração de seus regimentos; (vi) acompanhar a execução e aprovação do Plano Nacional de Recursos Hídricos, e determinar as providências necessárias ao cumprimento de suas metas; e (vii) estabelecer critérios gerais para a outorga de direitos de uso de recursos hídricos e para a cobrança por seu uso (art. 35).</p>
<p style="text-align: center;">Comitês de Bacias</p> <p>→ (i) promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes; (ii) arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos; (iii) aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia; (iv) acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas; (v) propor ao Conselho Nacional e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção de obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com os domínios desses; (vi) estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir valores a serem cobrados; e (vii) estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo (art. 38);</p>
<p style="text-align: center;">Agência Nacional de Água (ANA)</p> <p>→ implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos e coordenar o SINGREH; → implementar a outorga e a cobrança pelo uso desses recursos, orientando inclusive a escolha da melhor metodologia para a determinação dos preços (CARRERA-FERNANDEZ; GARRIDO, 2003);</p>
<p style="text-align: center;">Agências de Água</p> <p>→ trata-se do “órgão técnico dos respectivos comitês e são destinadas a gerir os recursos oriundos da cobrança pelo uso da água” (BORSOI; TORRES, 1997).</p>

Fonte: Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997).

Observando as diretrizes e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, depreende-se da leitura do artigo 25 da referida lei que “o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de

informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão”, e que “os dados gerados pelos órgãos integrantes do SINGREH serão incorporados ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), auxiliando assim na tomada de decisões relacionadas ao setor.

Seus princípios básicos estão citados no artigo 26 e compreendem a descentralização da obtenção e produção de dados e informações, a coordenação unificada do sistema e acesso aos dados e informações garantidos à toda a sociedade. Por fim, no artigo 27 estão os objetivos do SNIRH, que são: reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos; atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos no território nacional; e fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

A falta de consolidação do SNIRH impede a avaliação consistente e, conseqüentemente, a tomada de decisão consciente e fundamentada nos dados físicos de qualidade e quantidade, em que há muitas variáveis e um alto grau de incerteza (AZEVEDO et al., 2003) ao planejamento gerencial da bacia hidrográfica.

1.3 MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Sistemas de classificação de bacias tratam diretamente da necessidade de codificação das paisagens naturais, que são o foco da gestão de bacias hidrográficas. O ordenamento ou numeração de canais do sistema de drenagem tem como objetivo contribuir para a gestão dos recursos hídricos com base em uma classificação hierárquica das bacias hidrográficas, que se utilizam de diferentes critérios e abordagens. Para alcançar esse objetivo, várias propostas de codificação de áreas de mananciais têm sido formuladas até agora, tanto no Brasil quanto no exterior.

Beckinsale e Chorley (1991) afirmam que um dos primeiros estudos realizados para ordenar e hierarquizar as seções dentro de uma bacia de drenagem se referem à Jackson (1834). No trabalho de Jackson, conforme os autores supramencionados, é proposto um sistema de classificação no qual a corrente que flui para o mar é classificada como um fluxo de primeira ordem, enquanto que o fluxo de segunda ordem é formado pela junção de duas correntes de primeira ordem, e assim por diante. Na figura 1, a análise é realizada de jusante para montante e o mar é a referência inicial.

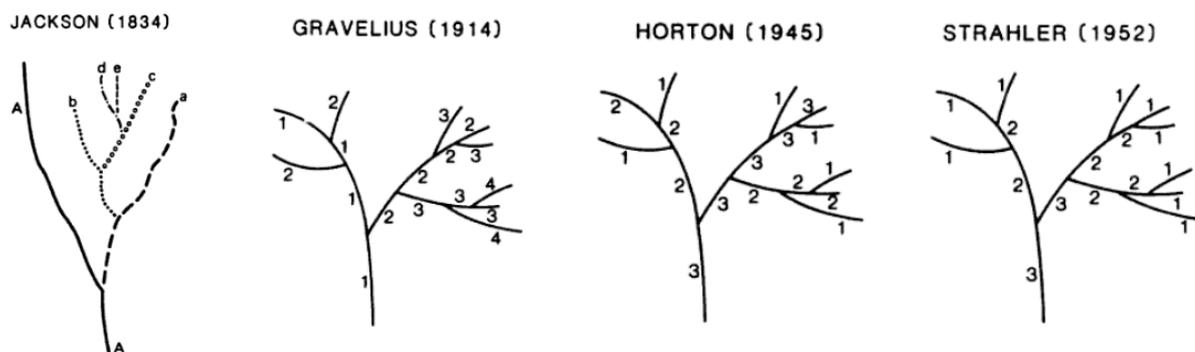


Figura 1 - Ordenação de canais de sistema de drenagem.
Fonte: Beckinsale (1991).

Oitenta anos depois, Gravelius (1914) propôs um novo método no qual os sistemas de drenagem podiam ser ordenados na mesma linha de raciocínio de Jackson. Ele então propôs que todos os segmentos que formam o tronco principal fluindo para o mar devem ser designados como sendo de ordem 1 (um), enquanto que todos os fluxos de segmentos que drenam para este fluxo sejam de ordem 2 (dois), e assim por diante (FIGURA 1). Zhang et al. (2007) alegaram que esse sistema de codificação tinha algumas limitações, porque apesar das bacias hidrográficas terem a mesma ordem do rio, ainda haveria diferença notável entre os seus tamanhos.

Horton (1945) propôs o método em que os canais de drenagem que não possuem afluentes devem considerados os de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são aqueles que têm como tributários somente fluxos de primeira ordem. Canais de terceira ordem recebem afluentes de canais de segunda e podem receber diretamente de canais de primeira ordem e assim sucessivamente, desde a nascente até à foz da bacia. Nesta classificação, a maior ordem é atribuída ao rio principal.

O método de classificação de fluxo proposto por Strahler (1952, 1957) baseou-se na primeira parte da proposta do sistema de Horton (1945). Segundo Strahler (1957), os fluxos de primeira ordem são aqueles que não possuem afluentes. Os fluxos de segunda ordem são formados quando duas correntes de primeira ordem se unem a jusante e os de terceira ordem são formados pela reunião de dois cursos d'água de segunda ordem, e assim por diante até a foz da bacia. Quando fluxos desiguais se encontrarem, o fluxo a jusante da junção terá a mesma ordem de grandeza da corrente de ordem superior.

Tucci (1993) afirma que a principal diferença entre os sistemas de Horton (1945) e Strahler (1957) é que o sistema de Strahler considera que o fluxo principal e seus afluentes não mantém a ordenação numérica em todas as suas extensões, como é caso do sistema de Horton. Outra diferença é que a codificação de Strahler considera que todos os canais que não

tenham tributários são de primeira ordem, incluindo as cabeceiras dos principais rios e afluentes. Isto é contrário ao critério subjetivo de Horton no que diz respeito à determinação da nascente.

Shreve (1966) trouxe uma classificação alternativa de fluxo, na qual somou as ordens de tributários para chegar à seguinte ordem na hierarquia: cabeceiras são canais de primeira ordem; o canal seguinte é a soma das ordens dos seus afluentes; e assim por diante. É intuitivamente simples, mas pode significar grandes ordens em alguns canais.



Figura 2 - Representação do método desenvolvido por Shreve (1966).

1.4 PANORAMA HISTÓRICO

Entre alguns trabalhos realizados no exterior para a determinação de sistemas de codificação de bacias, Verdin e Verdin (1999) destacou o trabalho do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, sigla em inglês) (SEABER et al., 1987), o Sistema de Informação Nacional de Águas (NWIS, em inglês) (WAHL, 1985), o Office de la Recherche Scientifique et Technique d’Outre-Mer (ORSTOM) (ROCHE, 1968), atualmente substituído pelo Instituto Francês de Pesquisa para o Desenvolvimento (IRD, em inglês) e o Global Runoff Data Centre (GRDC, 1996), da Organização Meteorológica Mundial (WMO, em inglês). Nesse sentido, Teixeira (2012) afirma que nenhum dos sistemas de codificação propostos por essas organizações têm empregado dígitos que carregam a informação topológica em seus trechos d’água.

A Divisão de Recursos Hídricos da USGS propôs a divisão do território norte-americano em 21 bacias hidrográficas, composta por 222 sub-regiões. Nesta proposta, os

limites de unidades hidrológicas para bacias de drenagem maior do que 1800 km² estão representados, exceto para o Alasca. Cada unidade hidrológica é identificada por um código de oito dígitos que tem dois dígitos para indicar cada região, sub-região, a unidade contábil e a catalogação. Para cada nível de classificação, há uma associação estimada de área de influência de aproximadamente 500.000 km² para as regiões, 50.000 km² para as sub-regiões, 25.000 km² para as unidades contábeis e 4.000 km² para as unidades de catalogação (SEABER et al., 1987).

O Sistema de Informação Nacional de Águas Americano (NWIS, sigla em inglês) é o repositório das estações fluviométricas de água superficial da USGS e emprega um sistema baseado no sistema de drenagem para a numeração destas estações. O número de identificação das estações consiste em oito dígitos, cujo valor ordinal aumenta no sentido da jusante. A posição de uma estação num afluente é indicado por um recuo do numeração, e há um recuo sucessivo para indicar o nível do tributário. A numeração em si não oferece qualquer distinção entre o afluente e o rio principal, nem tampouco indicam a topologia do sistema de drenagem (WAHL, 1985).

O Global Runoff Data Centre (GRDC), da Organização Meteorológica Mundial, operado pelo Instituto Federal de Hidrologia em Koblenz, Alemanha, propõe um sistema de codificação de sete dígitos para as estações. O primeiro dígito indica o continente, o segundo o país, o terceiro e o quarto, uma bacia continental e os dígitos cinco, seis e sete são para a própria estação (GRDC, 1996).

A Organização Francesa de Pesquisa – ORSTOM, em francês – apresenta outro exemplo de classificação aplicado ao sistema de drenagem para a identificação de estações fluviométricas, baseada em um sistema de nove dígitos. O primeiro dígito desse sistema identifica o continente onde a estação é encontrada, o segundo e terceiro identificam o país. O quarto e quinto dígitos identificam o rio principal da estação. Para isto, a ORSTOM seleciona e classifica os 99 principais rios do continente em ordem alfabética. O sexto e sétimo dígitos são empregados para identificar o fluxo onde a estação está posicionada, e os dígitos oito e nove são da ordem numérica da própria estação (ROCHE, 1968).

Em 1972, a extinta Agência Nacional de Águas e Energia Elétrica do Brasil (DNAEE) apresentou o primeiro sistema de codificação para identificar as estações fluviométricas que formavam o Sistema de Informações Hidrológicas (IBIAPINA et al., 1999). Este sistema é semelhante ao proposto pelo NWIS. O sistema de codificação do DNAEE usa dois algarismos para representar bacias e sub-bacias, e seis algarismos para identificar o número da estação. O primeiro dígito representa uma das oito bacias em que o

país foi dividido, exceto para o número nove, que é usado para determinar qualquer bacia na América do Sul que não tenha interferência na rede do Brasil (GALVÃO E MENESES, 2005). Cada uma dessas oito bacias é dividida em dez grandes sub-bacias, numeradas de 0 a 9. Os dígitos de três a oito são usados para identificar os números das estações, com valores crescentes de montante para jusante (FERNANDES, 1987).

Posteriormente, Otto Pfafstetter, engenheiro do antigo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), propôs um novo sistema de codificação para a classificação de bacias hidrográficas, que mais tarde foi empregado pelo Cadastro Nacional de Irrigação, do extinto Departamento Nacional de Irrigação (RUBERT E FIGUEIREDO, 2001). Esse sistema utiliza os dez dígitos do sistema de numeração de base 10 e foi concebido para explorar as características da área de influência, sua topologia ou conectividade e posição do sistema de drenagem. Em comparação com outros sistemas de classificação, a codificação de Pfafstetter apresenta várias vantagens, uma vez que é um método natural, hierárquico com base na topografia da área drenada e da topologia do sistema de drenagem. Além disso, os códigos transmitem a informação topológica presente entre as bacias hidrográficas (GALVÃO E MENESES, 2005)

1.5 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

No desenvolvimento de estudos ambientais é essencial a análise das características morfométricas¹ das bacias hidrográficas (FLORENZANO, 2008). Tonello et al. (2006) afirmam que as características físicas e bióticas de uma bacia desempenham importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando a infiltração, o deflúvio, a evapotranspiração e o escoamento superficial e subsuperficial.

Hoje, a caracterização morfométrica das bacias hidrográficas é realizada com a integração de informações de relevo em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), de modo manual ou automático (OLIVEIRA et al., 2010).

No tocante aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), Fitz (2008) define estes como:

¹ Morfometria é a caracterização do relevo por meio de variáveis quantitativas. Desta forma, pode-se dizer que as variáveis morfométricas de uma bacia hidrográfica são aquelas relativas aos seus aspectos quantitativos, ou seja, às suas medidas.

...um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido. (FITZ, 2008, p. 23).

As informações de relevo são representadas por uma estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da altitude e da superfície terrestre, cognominada Modelo Digital de Elevação (MDE). Esses modelos podem ser obtidos por cartas topográficas ou por meio de imagens de sensores remotos.

1.5.1 Modelos digitais de elevação e dados SRTM

Um MDE é uma representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço (MORAIS e SANTOS, 2007). Para Valeriano (2003), o MDE é um exemplo evidente da utilização dos Modelos Numéricos de Terreno (MNT), termo que trata de uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica relacionada à uma superfície. Esta superfície é, em geral, contínua.

Entre os Modelos Digitais de Elevação (MDE's), um deles merece destaque: o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente – ou condicionados (MDEHC). O MDEHC é estruturado a partir da altimetria, sendo uma representação que corresponde com a realidade de campo. Segundo ESRI (2014) apud Elesbon et al. (2011), o MDEHC é uma representação que reproduz com fidelidade e exatidão o caminho preferencial de escoamento da água superficial observado no mundo real. Elesbon (2011) ainda afirma que a utilização do MDEHC em conjunto com os SIGs é fundamental para obtenção automática das características morfométricas das bacias de drenagem.

A adoção de um MDEHC se torna ainda mais relevante na geração da base hidrográfica otocodificada quando se tem em foco o destino principal dessa base, que é a integração e compatibilização das informações espaciais do SNIRH.

MDE's produzidos a partir de informações de sensoriamento remoto, tal como *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR), têm se destacado por advirem de uma técnica rápida e acurada de coletar dados topográficos (RABUS et al., 2003). O sistema InSAR torna possível a obtenção de informações sobre as variações de altitude da superfície terrestre, possibilitando sua aplicação em diversos estudos relacionados à geomorfologia, análise da rede hidrográfica, perfis topográficos e delimitação automática de bacias hidrográficas, entre outros.

A missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), realizada em 2000 a bordo da nave Endeavour, incorpora a técnica InSAR e dispõe ao público em geral seus dados por intermédio do Serviço Geológico dos Estados Unidos. Dessa maneira, diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de comparar, analisar e atualizar informações da superfície terrestre através de dados SRTM (RENNÓ et al., 2008).

Gerstenecker et al. (2005) avaliando várias bases para geração de MDE – inclusive cartas topográficas – concluíram que a missão SRTM é um passo de grande importância no detalhamento apurado dos MDE's terrestres. Santos et al. (2006) afirmaram que o MDE obtido a partir de dados SRTM apresentou melhores resultados altimétricos em comparação com o MDE gerado a partir de cartas topográficas de escala 1:100.000. No mesmo sentido, Oliveira (2008), ao estudar uma área de relevo plano e montanhoso da região Amazônica, concluiu que o MDE de dados SRTM atendeu aos padrões de exatidão cartográficos Classe A, de escala 1:100.000.

A SRTM possui como sensor ativo o radar *Sintethic Aperture Radar* (SAR), que é um dos sensores de maior relevância mundial, tendo em vista a geração de um MDE para mais de 80% da superfície terrestre. No tangente à resolução espacial dos dados, no Brasil eles são disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na resolução de 90 metros, porém, há possibilidade de aquisição de dados com resolução de 30 metros na *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

1.6 ADOÇÃO DO SISTEMA DE OTTOCODIFICAÇÃO NO BRASIL

Em conformidade com a Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997), a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) do Ministério do Meio Ambiente, em 1998, lançou um plano para a codificação de todas as bacias hidrográficas do Brasil a ser georreferenciadas em uma escala de 1:1.000.000 do sistema de mapeamento brasileiro. Este projeto contou com a participação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). A codificação foi baseada no sistema concebido por Pfafstetter (1989) e foi detalhado até o nível 5 do sistema de drenagem (SILVA, 1999).

Seguindo a revisão e modificação de Silva (1999), por meio de um acordo com a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), foi possível detalhar o nível 1 das regiões delineadas pela ottocodificação (RUBERT E FIGUEIREDO, 2001). Nesse artigo, os autores afirmam que o nível 1 de codificação resultante difere daquele proposto por Pfafstetter (1989). A diferença se deve a três fatores principais: a natureza digital

e mais precisa do sistema fluvial, o mapa base em uma escala de 1:1.000.000 e a mudança da fronteira entre o número de bacias um e nove.

Paralelo a isso, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2000, apresentou uma classificação geral para as bacias hidrográficas brasileiras em que elas estão divididas em 10 bacias e 57 sub-bacias, com base no mapeamento cartográfico de 1:1.000.000.

No ano de 2002, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) aprovou a Resolução de número 30 (BRASIL, 2003), estabelecendo o sistema de codificação de Pfafstetter como a ferramenta de referência a ser usada na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (SILVA, 1999).

Até 2003, o território do Brasil era dividido em sete regiões hidrográficas. Porém, considerando a importância de se estabelecer uma base organizacional que contemple as bacias hidrográficas como unidade de gerenciamento dos recursos hídricos onde possa ser implementada a PNRH e o SINGREH, em outubro de 2003 foi aprovada a Resolução de número 32, alterando o número de regiões hidrográficas para doze (BRASIL, 2003). De modo a nortear o planejamento e gestão dos recursos hídricos, a delimitação dessas regiões não se limita às suas características hidrográficas, como também são caracterizadas pelo espaço territorial brasileiro dentro de uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias adjacentes, com características naturais, sociais e econômicas.

Na figura 3 é apresentada a divisão hidrográfica do Brasil de acordo com a Resolução 32/2003 do CNRH.



Figura 3 - Divisão hidrográfica do Brasil segundo o CNRH.

Fonte: Resolução nº 32 (BRASIL, 2003).

A Agência Nacional de Águas (ANA) foi criada em 2000 pela Lei 9.984 (BRASIL, 2000) para a gestão da rede hidrometeorológica do Brasil e empregou o sistema de codificação do DNAEE desde então. No entanto, em 2006 a ANA lançou um banco de dados hidrológico para o território brasileiro com base no sistema de codificação de Pfafstetter, na escala de 1:1.000.000, composto pela rede hidrográfica e bacias hidrográficas (ANA, 2006).

A ottocodificação da ANA foi desenvolvida para atender as diretrizes do SNIRH, especificamente no que diz respeito à modelagem e processamento de dados geoespaciais da rede hidrográfica que formam o banco de dados do sistema. Ao contrário dos trabalhos anteriores, esse banco de dados não se limitou a enumerar as bacias de Pfafstetter (ottobacias) até o nível 5. Em vez disso, considerando que o processo de desenvolvimento dessa base de dados foi realizada em um ambiente computacional e envolvendo um Sistema de Informação Geográfica (SIG), as bacias hidrográficas de todos os segmentos de rios foram numeradas, com 96,38% das bacias de Pfafstetter estando, ao menos, no nível 6 de ottocodificação.

1.7 A CODIFICAÇÃO DE OTTO PFAFSTETTER

1.7.1 Codificação de ottobacias

O sistema de codificação idealizado por Otto Pfafstetter, também conhecido como Ottocodificação (BARROS, 2011), emprega dez dígitos do sistema de numeração de base 10, na qual cada dígito identifica uma corrente dentro de uma bacia específica. Nessa proposta, números pares, com exceção do zero, são para as bacias hidrográficas principais e os números ímpares são para as interbacias. O número zero é para bacias endorréicas – bacias que possuem a característica de correr para dentro do continente.

Assim, é possível delimitar os quatro afluentes com as maiores áreas de drenagem que desaguam no rio principal, de jusante a montante, a qualquer nível de classificação. Ou seja, a foz é a bacia 1 enquanto a nascente é sempre a bacia 9. Em cada ponto de bifurcação, o afluente é definido como a menor área de drenagem, enquanto o rio principal é definido como a maior área. Os tributários do rio principal com maior área de contribuição recebem os números pares 2, 4, 6 e 8. Os quatro principais tributários são mais uma vez delimitados para cada um desses afluentes, sendo atribuído um novo algarismo no fim do código de Pfafstetter do próximo nível e assim por diante, até que todos os outros córregos dentro do sistema de drenagem sejam numerados. Todos os demais tributários dentro do rio principal são agrupados em cinco áreas definidas por Pfafstetter (1989) como interbacias, às quais são atribuídos os números ímpares 1, 3, 5, 7 e 9, novamente com a direção de jusante a montante (FIGURA 4).

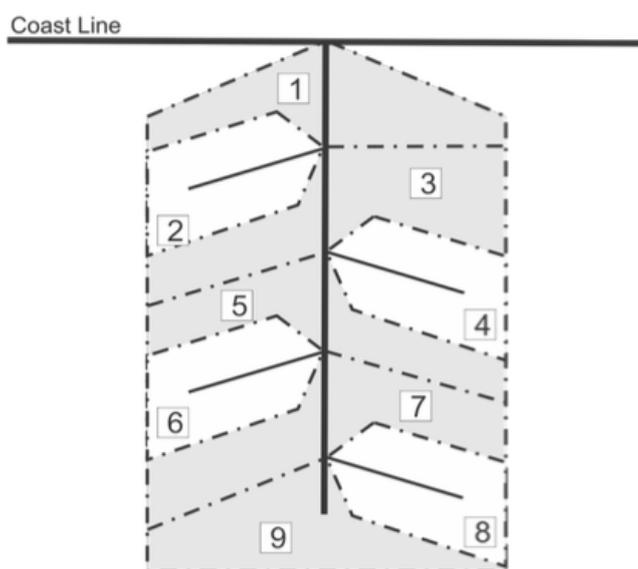


Figura 4 - Exemplo de uma bacia hidrográfica otocodificada.

Fonte: Teixeira (2012)

A ottocodificação caracteriza-se pela sua racionalidade (GOMES, 2011; ELESBON et al., 2011). Segundo Rubert (2000), trata-se de um método natural, baseado na topografia da área drenada e na topologia (conectividade e direção) da rede de drenagem.

Utilizando uma pequena quantidade de dígitos em um código único para uma dada bacia, o método permite inferir através desse código quais bacias hidrográficas se localizam a montante e a jusante daquela em estudo. Dessa maneira, sempre que for citada uma determinada numeração de Pfafstetter, sabe-se com precisão a identificação da bacia hidrográfica, seu rio principal e o relacionamento desta bacia com as demais da mesma região hidrográfica (SILVA, 1999).

A ottocodificação é também aplicada à classificação de cursos d'água. Neste caso, o código do curso d'água decorre do próprio código da bacia, porém excluídos os últimos dígitos ímpares, que identificam as interbacias, até o próximo número par (PFAFSTETTER 1989; ANA, 2006).

1.7.2 Limitações

A ottocodificação oferece uma série de vantagens em relação a outros sistemas de codificação, principalmente por sua simplicidade e numeração, que transmitem informações sobre a relação topológica entre trechos de cursos d'água que formam o sistema de drenagem (TEIXEIRA, 2012). Galvão e Meneses (2005) afirmam que as principais vantagens do sistema de ottocodificação envolve a utilização de um método natural e hierárquico, com base na topográfica da área drenada, onde a topologia do sistema de drenagem pode ser identificada através do código de dígitos, e é facilmente implementado por um programa de computador, bem como por um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Essas vantagens permitiram a difusão do sistema de Pfafstetter (1989) na comunidade internacional, inclusive a adoção pelo USGS para a codificação das bacias hidrográficas em todo o mundo (VERDIN e VERDIN, 1999) e recentemente pela Comissão Europeia para a aplicação de elementos que formam o Sistema de Informação Geográfica do Quadro Diretivo de Água (WFD, em inglês).

Apesar das vantagens até aqui descritas, a principal limitação da ottocodificação está relacionada à representação do sistema fluvial por meio de um grafo binário do tipo anti-arborescência (NETTO, 2006). Esse tipo de representação é caracterizado pela direção do arco a partir das folhas para a raiz, ou seja, de montante para jusante, com a convergência de

dois arcos em um só nó, com exceção do nó que representa a foz ou a anti-raiz da arborescência, onde um arco converge em um único nó.

Christofolletti (1981) afirma que a representação da rede de drenagem por meio de anti-arborescência não é possível em regiões onde existem canais múltiplos dos tipos reticulados, ramificados, anastomosado, deltaico ou labiríntico, sendo adequado exclusivamente para canais do tipo reto, sinuoso, meandrante e tortuoso.

Tanto a representação espacial do sistema de drenagem de Pfafstetter, quanto todos os outros sistemas de codificação propostos apresentam uma limitação em áreas onde o sistema de drenagem têm múltiplas junções ou canais ramificados com ciclos em foz em delta, anastomosado, ramificado e canais entrelaçados.

Além disso, embora incomum, na natureza existem situações em que três ou mais canais de drenagem convergem para um único ponto. Esse fenômeno é conhecido como multi-confluências. O problema com esse tipo de caso no sistema da otocodificação é que, quando se enumera os quatro principais tributários de jusante para montante, as confluências duplas devem estar, teoricamente, no mesmo nível após os números ímpares serem atribuídos. Isso tem sido resolvido através da inserção de um pequeno trecho de drenagem entre ambas as confluências, movendo o trecho de jusante ou a montante. Porém, essa ação não representa a real natureza do sistema de drenagem.

1.8 A IMPORTÂNCIA DA OTOCODIFICAÇÃO NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O planejamento e manejo de bacias hidrográficas são estratégias para a utilização racional e integrada dos recursos ambientais, nos quais está incluso a água. A Lei Federal nº 9.433/97 definiu a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, assim como a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992, já havia afirmado a importância de se determinar unidades administrativas para o gerenciamento e planejamento integrado dos recursos hídricos (SILVA et al., 2008).

De forma a atender os requisitos da Lei 9.433/97, o CNRH aprovou a Resolução de número 30 (BRASIL, 2003), estabelecendo o sistema de codificação de Pfafstetter (1989) como o modelo de referência a ser usada na PNRH, uma vez que este apresentava vantagens em sua utilização quando comparado com os demais métodos de classificação (SILVA 1999; MEDEIROS, 2007). Devida à grande importância e facilidade na codificação proposta por

Pfafstetter, o Serviço Geológico dos Estados Unidos implementou esse método nos EUA e propôs de aplicar também nos sete continentes, exceto a Antártida.

Para Galvão e Meneses (2005), a codificação segundo Pfafstetter se mostra eficiente por se tratar de um método natural e hierárquico, que tem como base a topografia da área drenada, além da economia de dígitos e da fácil implementação e integração por SIGs. Outra característica importante é a informação topológica embutida nos dígitos. Ao analisar uma bacia em que o código se inicia por 0, pode-se constatar que se trata de uma bacia que não drena para o mar, uma vez que o código 0 é definido para bacias fechadas – ou endorréicas. Da mesma forma, ao observar ottobacias que se iniciem do código 1 ao 9, constata-se que são bacias continentais que drenam para o mar.

Usando a metodologia de Pfafstetter, o usuário pode entender a posição relativa de cada bacia dentro de uma ottobacia ao longo de um continente. Como exemplo, podemos citar a bacia 9, conforme o nível 1 da ottocodificação da Figura 4. Verifica-se que essa bacia não faz parte dos quatro maiores afluentes da bacia, uma vez que a mesma recebe um número ímpar, sendo assim uma interbacia. Em seguida, constatamos que se trata da interbacia mais afastada da foz.

De maneira semelhante, a codificação de cursos d'água pode ser usada, por exemplo, para determinar se a descarga de um rio causa impacto em potencial sobre um canal a jusante. A princípio, isso pode ser analisado sem a necessidade uma análise mais profunda em um SIG. Como consequência disso, o sistema de ottocodificação tem sido amplamente utilizado (BRITTON, 2002)

Assim, uma vez que essas informações estejam disponíveis, poderão auxiliar gestores na tomada de decisão em recursos hídricos, principalmente no que diz respeito à divisão de unidades de gestão administrativa, que se baseia na divisão por bacias, bem como na determinação de dominialidade de cursos d'água (FÜRST E HÖRHAN, 2009).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Urupá abrange os municípios de Ji-Paraná, Ouro Preto D'Oeste, Teixeirópolis, Mirante da Serra, Presidente Médici, Alvorada D'Oeste e São Miguel do Guaporé, se encontrando na porção centro-leste do estado de Rondônia, na Região Norte brasileira. Possui altitude média de 385 m, latitude $10^{\circ} 28' 40''$ S e longitude $61^{\circ} 53' 10''$ W, com área de drenagem equivalente a 4193,4 km². A região não sofre grandes influências do mar ou da altitude. Conforme Fernandes e Guimarães (2002), a média de temperatura anual é de 26°C, a umidade relativa média do ar em torno de 85 % e a precipitação de chuvas em torno de 1700 a 1800 mm/ ano. O clima é predominantemente tropical, úmido e quente, durante todo o ano, com insignificante amplitude térmica anual e notável amplitude térmica diurna, principalmente no inverno. Apresenta um relevo constituído usualmente sobre rochas do embasamento cristalino, com altitude média variando entre os 130 a 580 metros. (BRASIL, 2007).

A Figura 5 apresenta a localização da bacia em estudo.

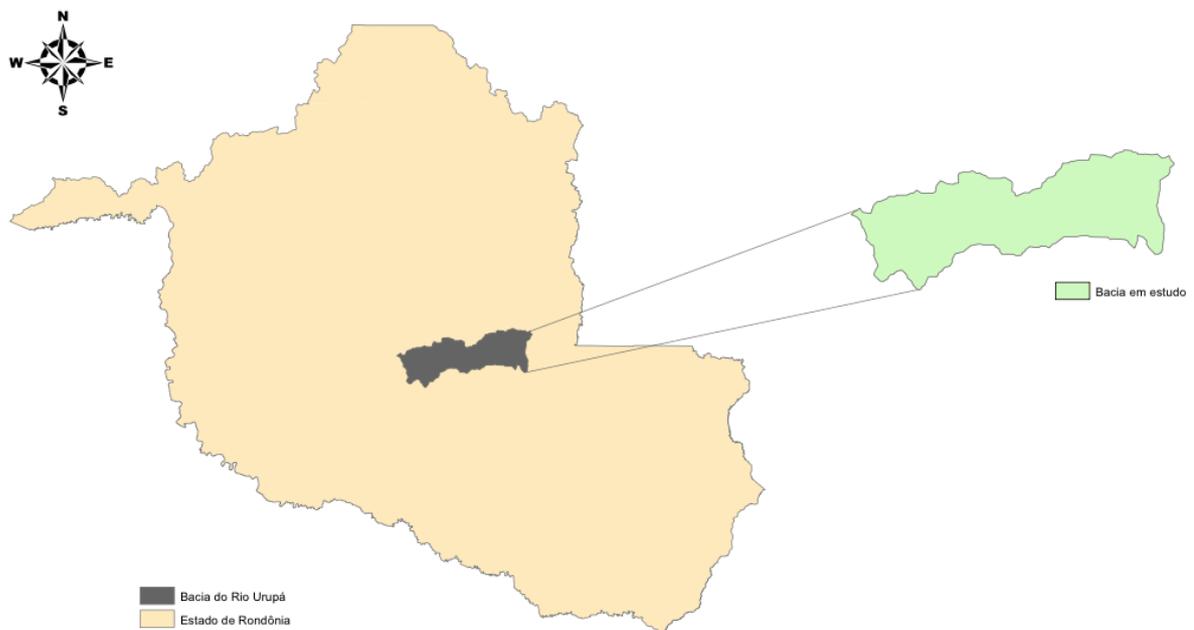


Figura 5 - Localização da bacia do Rio Urupá.

2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

A rede hidrográfica utilizada nessa pesquisa foi a base digital vetorial do mapeamento cartográfico do IBGE na escala 1:1.000.000. As áreas de contribuição hidrográficas foram obtidas dos dados do modelo digital de elevação (MDE) a partir das imagens do projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) (NASA, 2012). Essas imagens foram obtidas a partir do site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo endereço: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/index.htm>. Na plataforma *dados para downloads*, selecione o Estado e em seguida as cartas disponíveis para a região de interesse. As mesmas se encontram separadas em folhas com as devidas articulações e compatíveis na escala de 1:250.000, na resolução de 90 m x 90 m e no Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum WGS 1984. Para o estudo foram selecionadas as imagens SC-20-Z-A, SC-20-Z-C, SC-20-Y-D e SC-20-Y-B, abrangendo toda a área da bacia hidrográfica do Rio Urupá.

A Figura 6 apresenta o estado de Rondônia na plataforma do website da EMBRAPA para download dos dados SRTM.

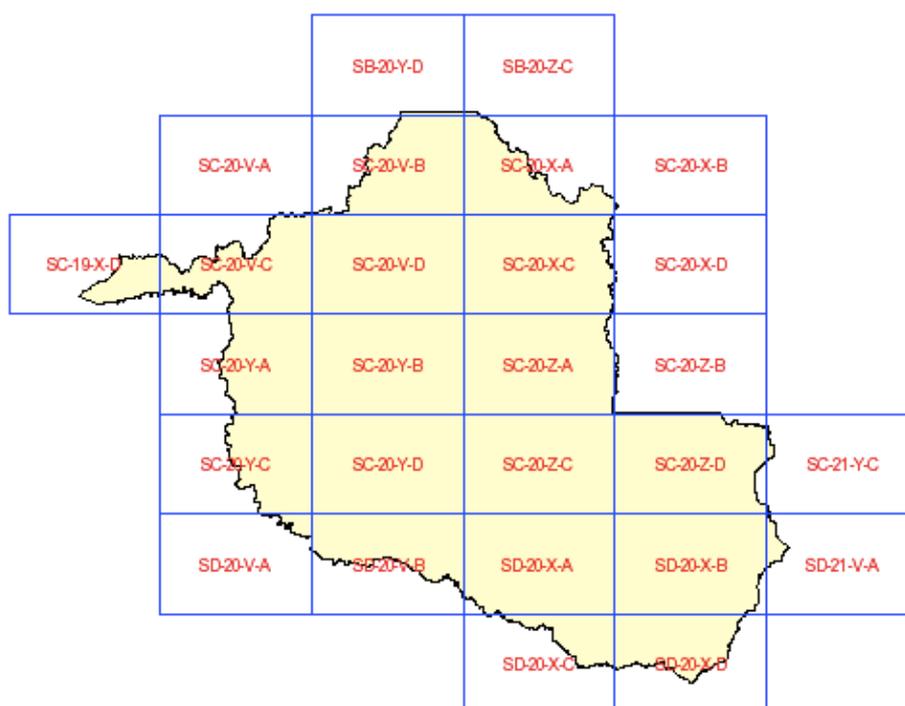


Figura 6 - Plataforma do site EMBRAPA para download dos dados SRTM.
Fonte: Embrapa (2005).

Para manipulação dos dados SRTM e obtenção das bacias otocodificadas utilizou-se o software ArcGIS® 10.2.2 da ESRI.

No website da ANA (<http://www.ana.gov.br>) foi possível obter a rede hidrográfica otocodificada para todo o Brasil em um arquivo *shapefile* (shp) de formato vetorial, a partir da base de dados hidrográficos do IBGE na escala de 1:1.000.000, compreendendo as otobacias do nível 1 ao nível 6. Também foi possível obter em um arquivo vetorial no formato *shapefile*, a divisão da rede hidrográfica nacional de acordo com a Resolução n° 32 do CNRH, adotada pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

2.3 GERAÇÃO DO MDEHC

Para a confecção do MDEHC utilizou-se o MDE originário do SRTM. Devido às limitações sistemáticas desses dados orbitais, foi necessário realizar tratamento objetivando a eliminação das depressões espúrias e a correta posição da hidrografia mapeada pelo IBGE com a drenagem numérica gerada. Portanto, para realizar a modelagem consistente do relevo em SIG, foram realizadas operações computacionais a fim de garantir a convergência do escoamento superficial até a foz da bacia. A Figura 7 representa o fluxograma das etapas envolvidas na geração do MDEHC.



Figura 7 - Fluxograma das etapas envolvidas na geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).

A primeira operação visou eliminar as depressões espúrias, que são células cercadas por células com grande diferença de cotas entre elas. Para isso, utilizou-se o comando FILL dentro da ferramenta *Spatial Analyst* do programa computacional ArcGIS® (FIGURA 8). Depressões espúrias podem causar problemas como a descontinuidade da drenagem, interrompendo o escoamento superficial, além da segmentação da área de contribuição, impedindo a sua correta delimitação (POLETO, 2008).

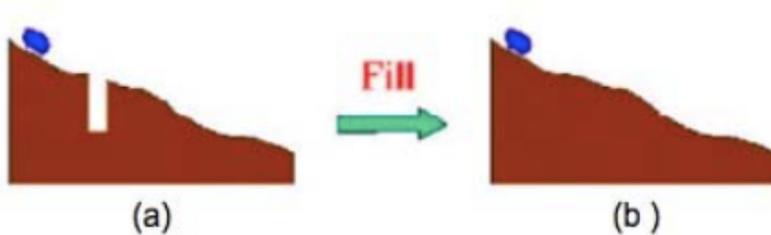


Figura 8 - Eliminação de depressões espúrias por meio do comando FILL.

Em seguida, foi calculada a direção de escoamento em cada célula do MDE por meio da ferramenta *Flow Direction* e então gerado o mapa temático. Este recurso calcula a direção de escoamento através do método determinístico de oito células vizinhas, comumente conhecido como modelo de fluxo de 8 direções (JENSEN e DOMINGUE, 1988), que considera apenas uma das oito direções válidas de escoamento para cada célula. Dessa maneira, a direção do escoamento tende a fluir para o terreno de maior declividade.

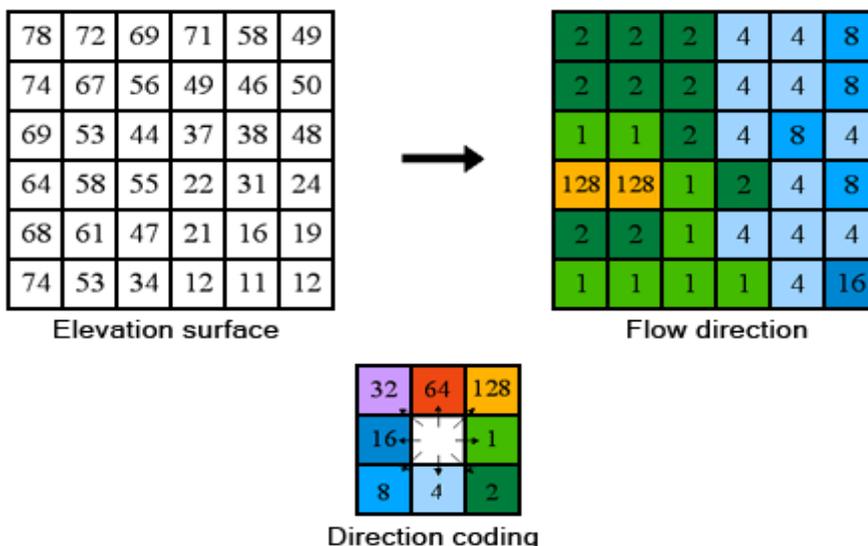


Figura 9 - Representação das oito possíveis direções de escoamento superficial.

A próxima etapa foi obter o escoamento superficial acumulado das células através da ferramenta *Flow Accumulation*. Esta ferramenta calcula o fluxo acumulado como o peso acumulado de todas as células que fluem em cada célula do *raster*. Na Figura 10, a imagem esquerda superior mostra a direção de fluxo a partir de cada célula e a da direita o número de células que fluem em cada célula.

Após gerada a rede de drenagem numérica a partir do MDE, foi realizada a sobreposição da hidrografia mapeada pelo IBGE. Comparou-se as duas hidrografias e verificou-se a ramificação da drenagem numérica de modo que a mesma estivesse georreferenciada com a drenagem do IBGE. Para finalizar, as depressões espúrias foram mais uma vez identificadas e eliminadas, visando validar o MDEHC.

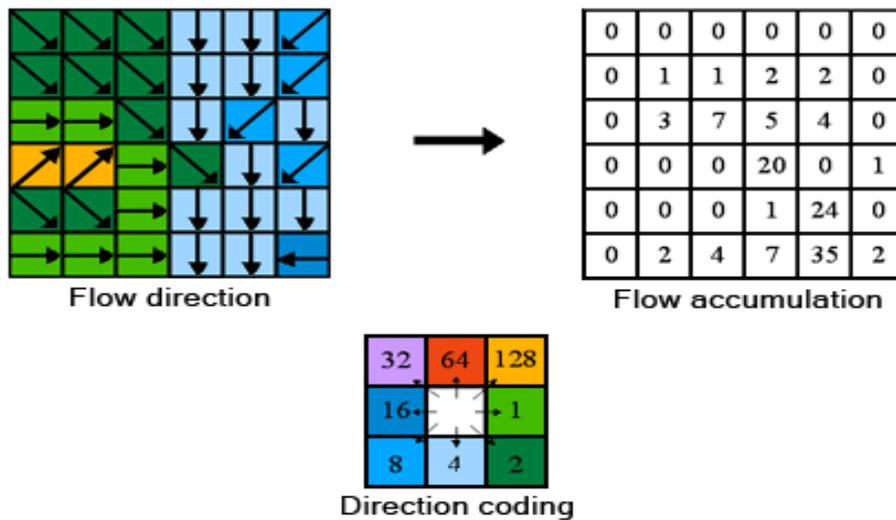


Figura 10 - Representação da determinação do fluxo acumulado (*flow accumulation*).

2.4 OTTOCODIFICAÇÃO

2.4.1 Delimitação das ottobacias e interbacias

Para obter a codificação de Pfafstetter (1989) na bacia do rio Urupá foram seguidas algumas etapas, como:

a) o rio principal da bacia (ou curso d'água principal) foi definido a partir da foz para a nascente, em que o único critério observado foi a maior área a montante em cada ponto de bifurcação do sistema fluvial;

b) em seguida os quatro maiores tributários do fluxo principal foram identificados;

c) aos quatro maiores afluentes do rio principal foram atribuídos os números 2, 4, 6 e 8, de jusante para montante;

d) as interbacias, encontrados entre as maiores bacias codificadas, receberam os algarismos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9, de jusante para montante;

e) os procedimentos de (a) a (d) foram repetidos para cada um dos afluentes do rio principal e um novo dígito foi adicionado ao final da codificação. Este procedimento foi aplicado de forma repetitiva até que todos os segmentos da bacia foram codificados.

A interbacia 1 é a área drenada pelo tronco principal entre a saída da bacia 2 e a foz. Interbacia 3 é a área drenada pelo tronco principal entre as saídas das bacias 2 e 4. Interbacia 5 é a área drenada pelo tronco principal entre bacias 4 e 6, e a interbacia 7 se encontra entre as bacias 6 e 8. A interbacia 9 consiste sempre área de cabeceira da rio principal, e sempre drena uma área maior do que a bacia 8, por definição (PFAFSTETTER, 1989).

Na Figura 11 é possível observar as subdivisões de uma bacia e de uma interbacia obtida aplicando as regras do sistema de codificação de Pfafstetter (1989).

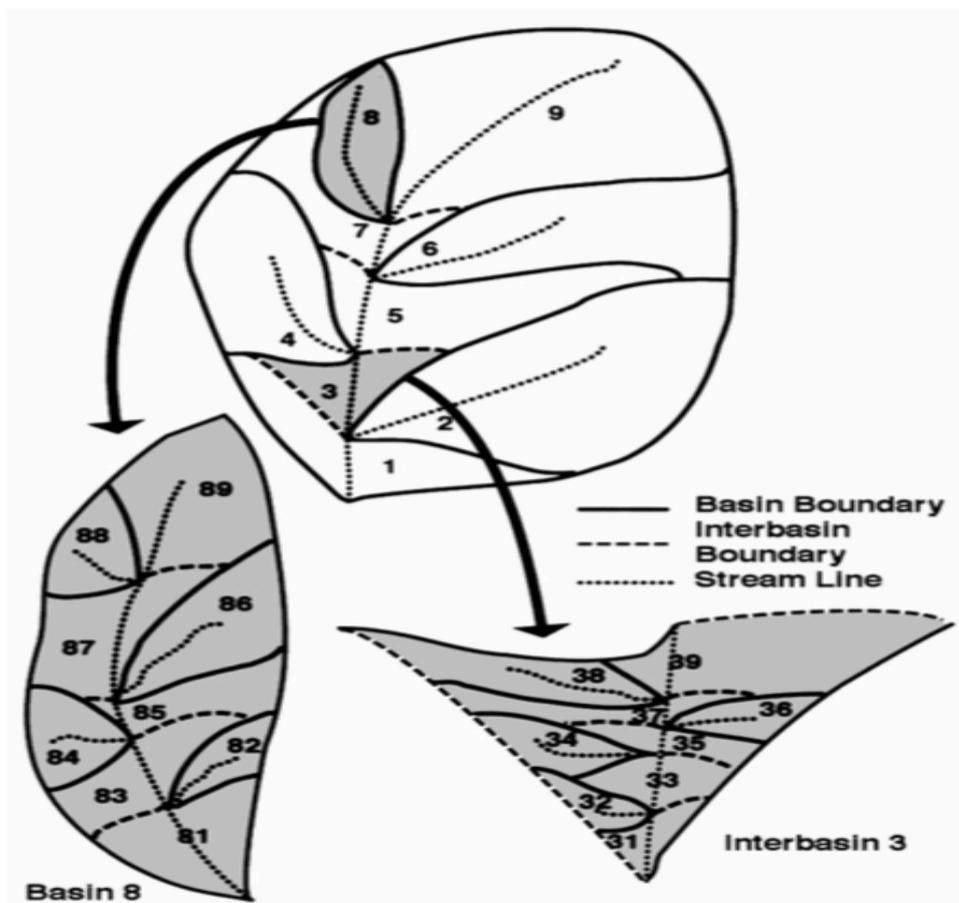


Figura 11 - Exemplo de divisão de bacia e interbacia de acordo com o sistema proposto por Pfafstetter (1989).

Fonte: Verdin e Verdin (1999).

Cada bacia ou interbacia pode ser subdividida pela simples aplicação das mesmas regras em sua área interna. Dentro de cada bacia ou interbacia, os quatro afluentes com maior área de drenagem são identificados primeiro, depois identifica-se as interbacias, a partir de jusante para montante (PFAFSTETTER, 1989). Assim, a bacia 8 do exemplo da Figura 11 é subdividida em bacias 82, 84, 86 e 88, e nas interbacias 81, 83, 85, 87 e 89. O mesmo ocorre na subdivisão da interbacia 3.

Para iniciar a subdivisão continental, os fluxos examinados inicialmente são aqueles que drenam diretamente para o mar. As quatro bacias com maiores áreas drenadas são identificadas e recebem os códigos 2, 4, 6 e 8 (PFAFSTETTER, 1989), seguindo uma ordem no sentido horário em torno do continente, começando com a bacia mais próximo para o norte. Na figura 12 observa-se a aplicação da ottocodificação na América do Sul, em nível 1.



Figura 12 - Subdivisão do continente América do Sul ao nível 1 da Ottocodificação.
Fonte: BRASIL (2002).

A subdivisão é novamente realizada da mesma forma e todas as novas bacias codificadas recebem um segundo dígito de Pfafstetter, tendo como resultado o nível 2 da ottocodificação no continente (FIGURA 13).



Figura 13 - Subdivisão das bacias hidrográficas brasileiras ao nível 2 da Ottocodificação.
Fonte: BRASIL (2002).

Toma-se como exemplo a bacia do rio Trombetas, na figura a seguir. Essa bacia faz parte da bacia Amazônica e traz consigo o código 454 na atual ottocodificação da ANA. Substituiremos esse código pela letra R para tornar o exemplo mais didático.

O método de ottocodificação se inicia determinando o rio principal da bacia a ser codificada, isso é, o que apresenta a maior área de contribuição. O rio destacado em vermelho na Figura 14 é o curso d'água principal da bacia exemplificada.

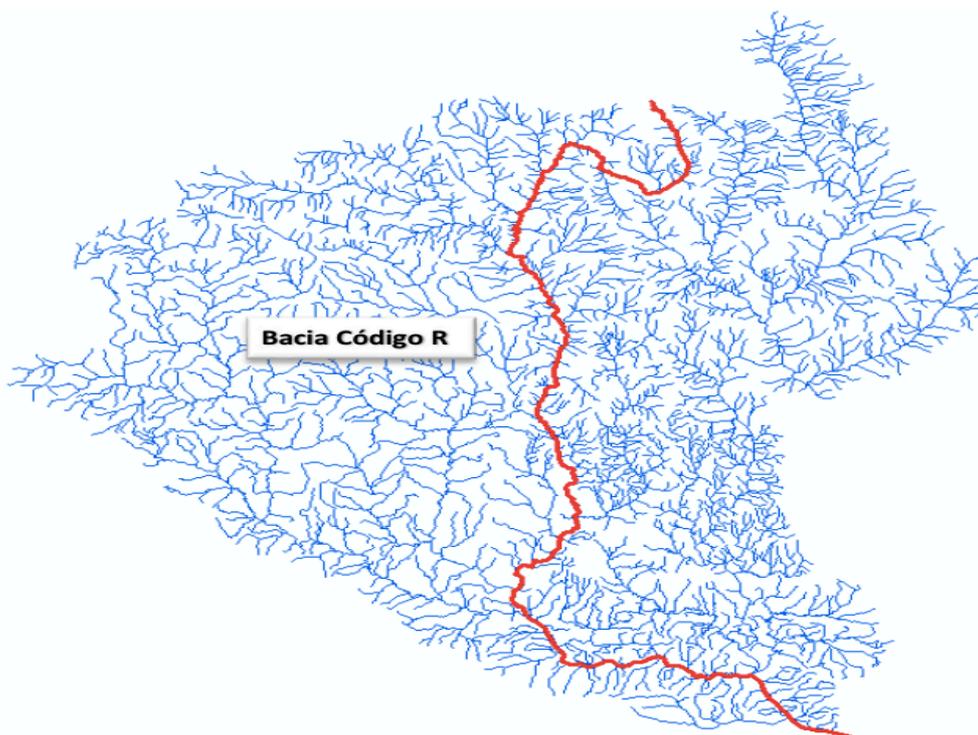


Figura 14 - Curso d'água principal do rio Trombetas.
Fonte: ANA (2012).

Sendo o rio principal a referência, encontra-se os quatro tributários com as maiores áreas de drenagem. De jusante para montante, adicionam-se os códigos 2, 4, 6 e 8 ao final do R para essas quatro maiores bacias (FIGURA 15).

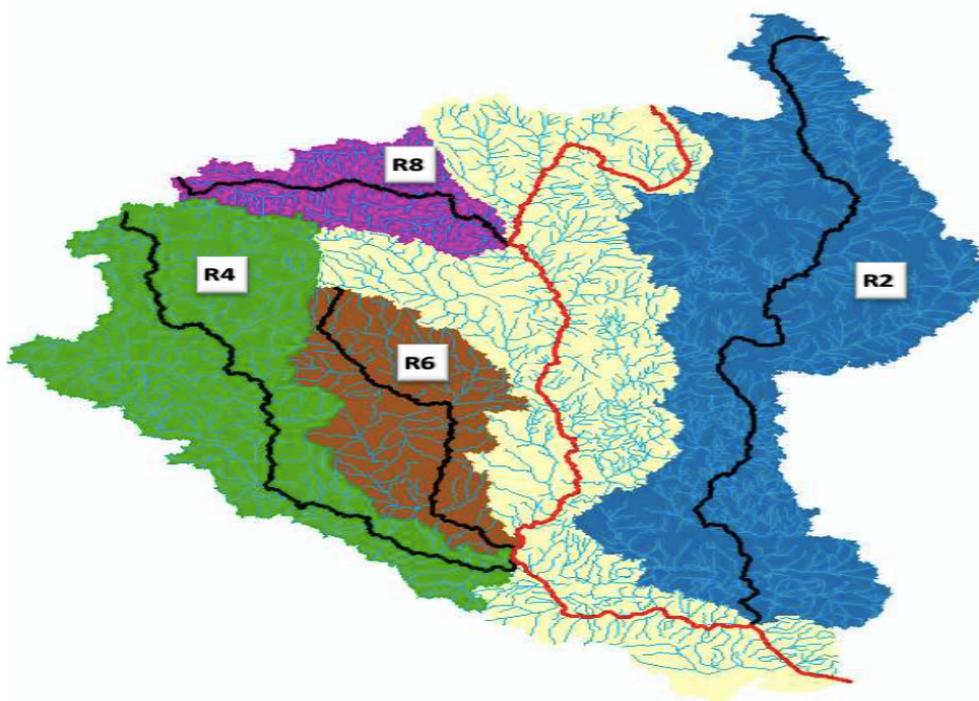


Figura 15 - Identificação das quatro maiores áreas de contribuição da bacia.
Fonte: ANA (2012).

As demais áreas que contribuem para o rio principal são denominadas interbacias, vistas na Figura 16.

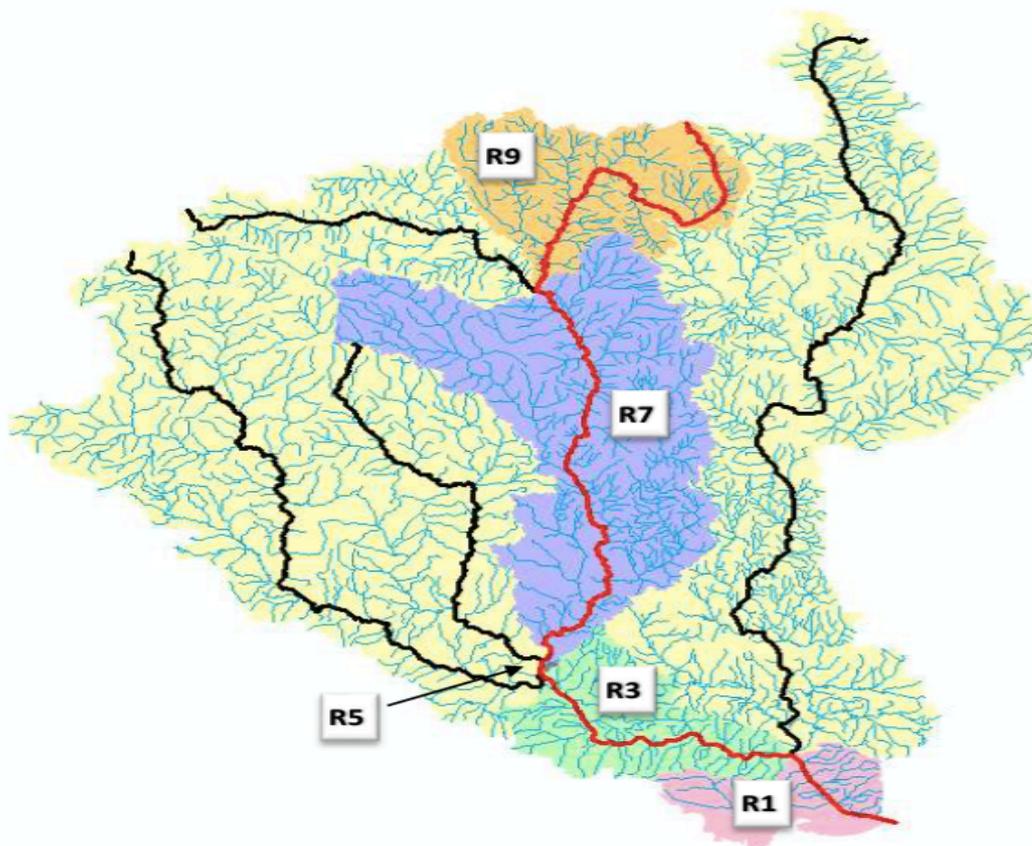


Figura 16 - Identificação das interbacias dentro da bacia hidrográfica.
Fonte: ANA (2012).

De acordo com a codificação de Pfafstetter (1989), o tamanho das interbacias é proporcional à distância entre os tributários que a limitam. Na presente situação, uma vez que as linhas dos tributários R4 e R6 se encontram muito próximas, a área da interbacia 5 se apresenta diminuta. Isso explica o tamanho amplamente variado das interbacias quando comparadas com a bacia.

Em seguida, substituindo o código R pelo código correspondente à bacia 454, possuiremos uma nova classificação, apresentada na Figura 17. Visto que os códigos possuem quatro dígitos, essa codificação é dita de nível 4.

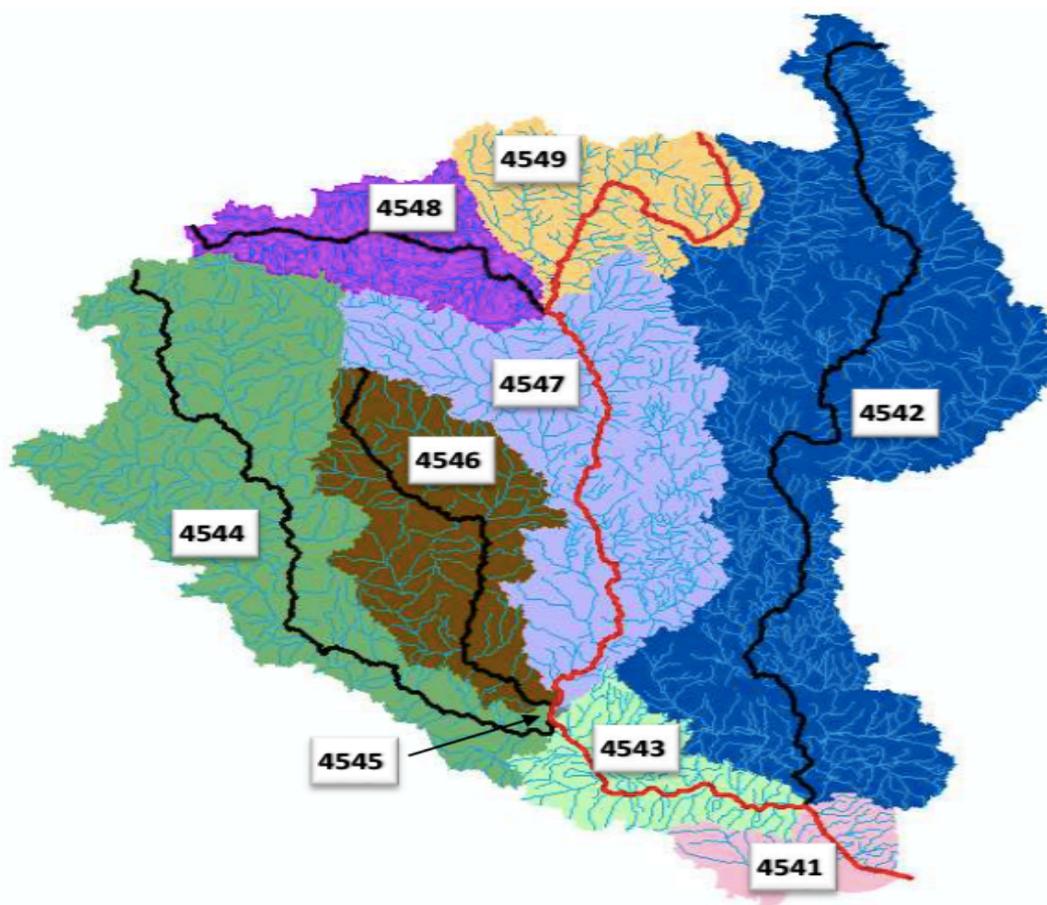


Figura 17 - Bacia codificada ao nível 4.

Fonte: ANA (2012).

Para elevar a codificação ao próximo nível basta repetir o processo em cada bacia e interbacia. O processo deve ser repetido até que se esgotem os tributários do curso d'água principal, ou seja, até que as bacias possuam apenas um trecho de hidrografia. Note que para a interbacia 4545 não é mais possível detalhar. Para esse fim, é preciso que ela seja representada em uma escala maior. Mudar para um MDE de resolução maior para a área de interesse possibilita que o processo continue.

2.4.2 Codificação dos cursos d'água

A codificação de Otto Pfafstetter tem seu foco nas bacias hidrográficas, no entanto, pode ser adaptada para codificação de cursos d'água. Esse sistema se destaca pela representação fidedigna da estrutura das bacias, sendo que a importância de cada rio está diretamente relacionada à área de drenagem de sua bacia. Assim, pelo uso de uma base decimal de numeração, é possível estabelecer uma relação topológica entre pares de segmentos ou entre um segmento e a foz da rede hidrográfica. Nesse sentido, Silva (2008)

destaca que quanto maior o valor do código do tributário analisado, mais afastado da foz do curso principal ele estará, e que também há uma distinção entre os dígitos pares e ímpares de um código, admitindo saber se o segmento pertence ou não ao rio principal.

Dessa maneira, adaptou-se a codificação de bacias aos respectivos trechos d'água. Nessa adaptação, o código do curso d'água deriva do próprio código da bacia ottocodificada, porém excluídos os últimos algarismos ímpares – aqueles que identificam as interbacias – até o próximo número par (ANA, 2006).

Após a codificação de cada trecho de curso d'água, pode-se armazenar esse código em um banco de dados relacional e, através de consultas, selecionar as bacias e interbacias a montante e a jusante de todos os trechos. A Figura 18 exemplifica a codificação de curso d'água da bacia do rio Itaúnas. Ressalta-se que a numeração menor equivale aos algarismos que foram eliminados da codificação de bacia.

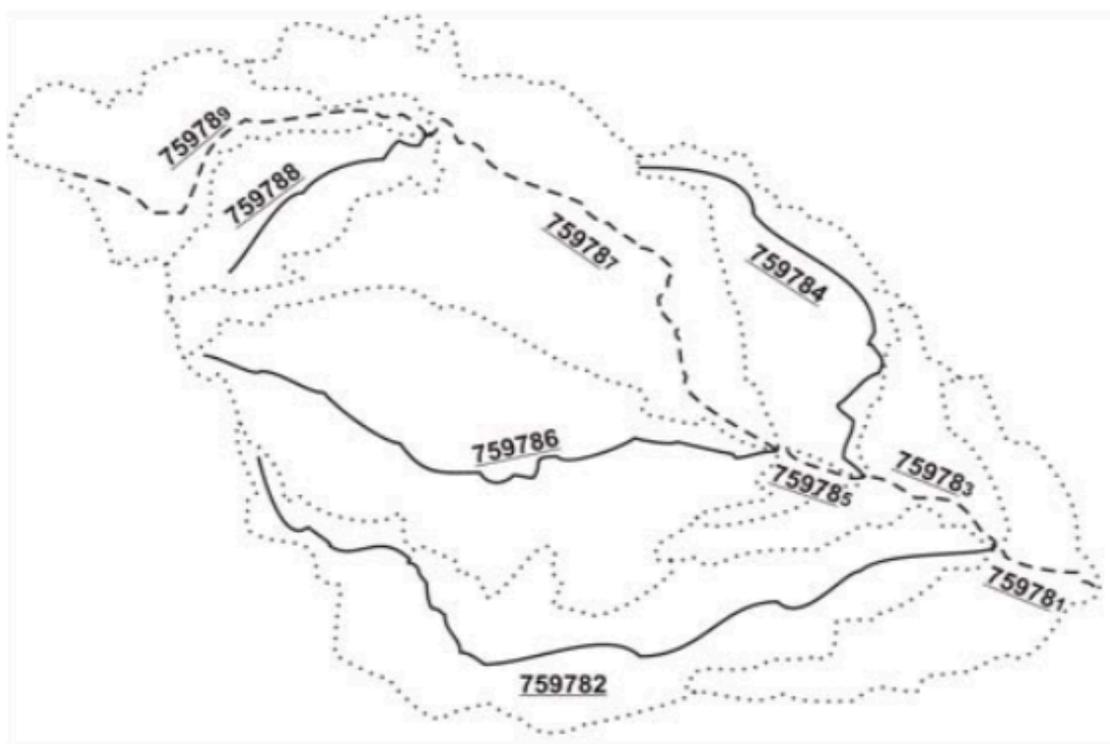


Figura 18 - Exemplo de codificação de curso d'água de acordo com Pfafstetter.

Fonte: ANA, 2006.

Nas Figuras 19 a 24 são verificados os mapas contendo os *shapefiles* da base hidrográfica ottocodificada brasileira, disponibilizado pela ANA em seu sítio eletrônico (<http://www.ana.gov.br>) e em destaque o *shapefile* da bacia do Rio Urupá, em Rondônia.



Figura 19 - Ottocodificação nível 1 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.

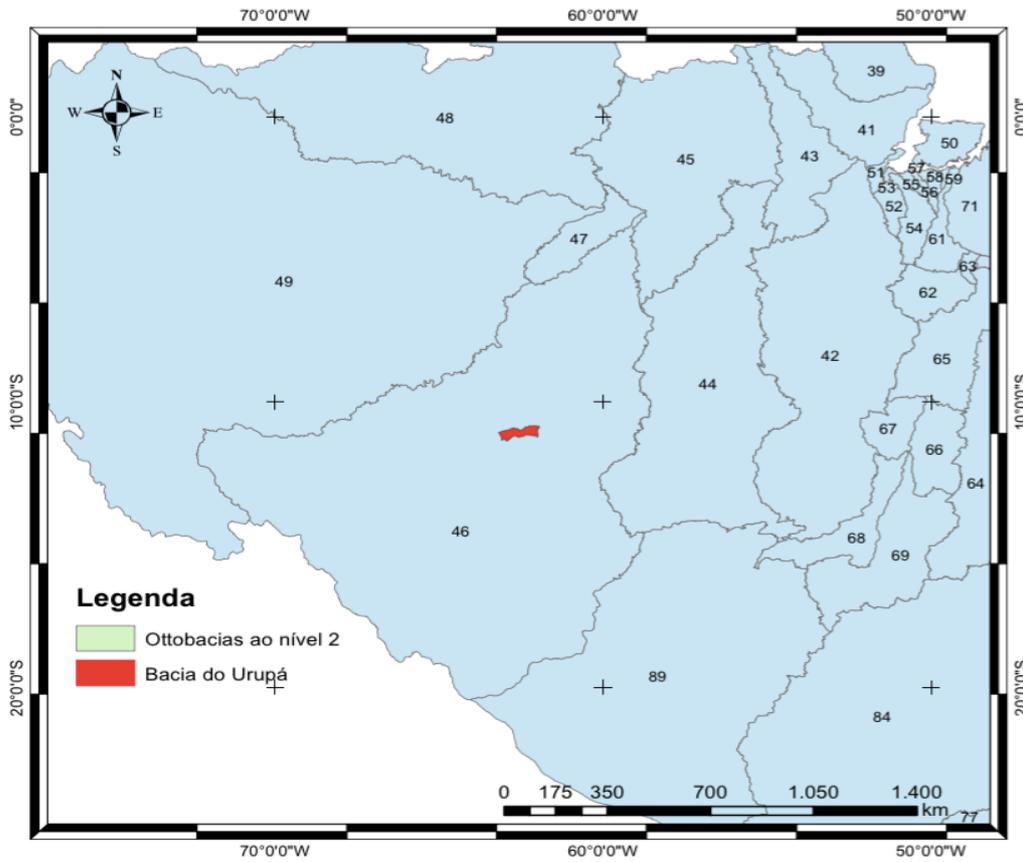


Figura 20 - Ottocodificação nível 2 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.

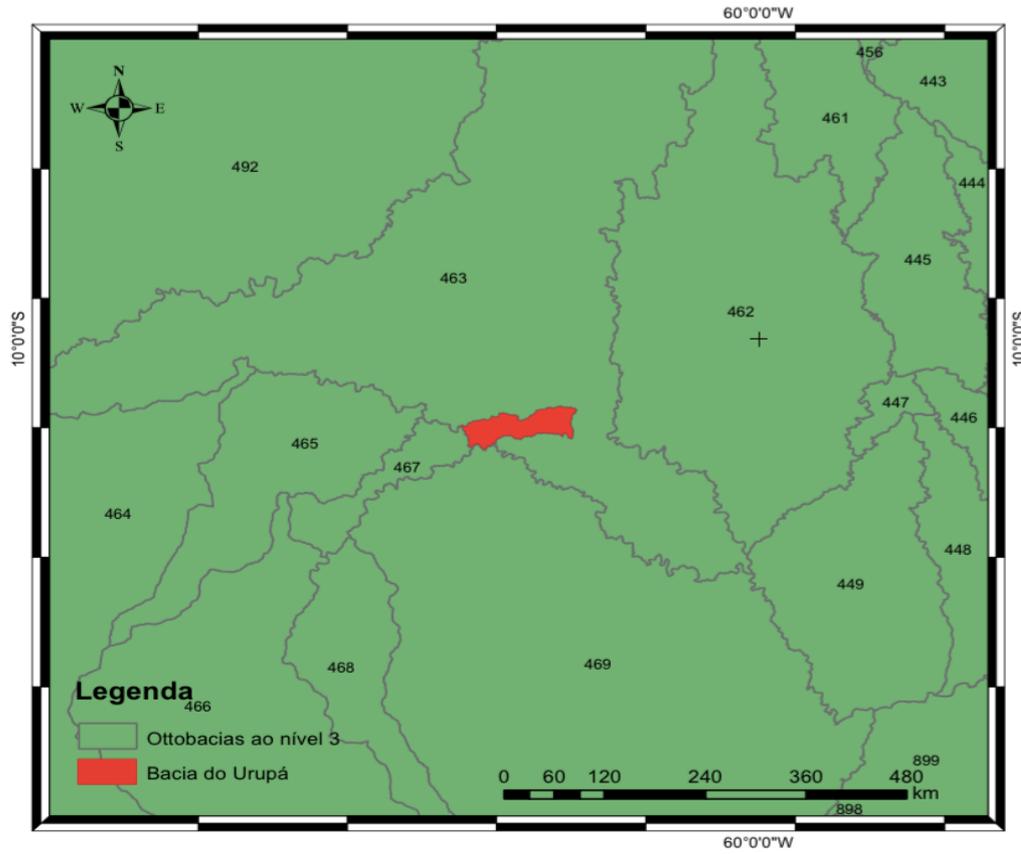


Figura 21 - Ottocodificação nível 3 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.

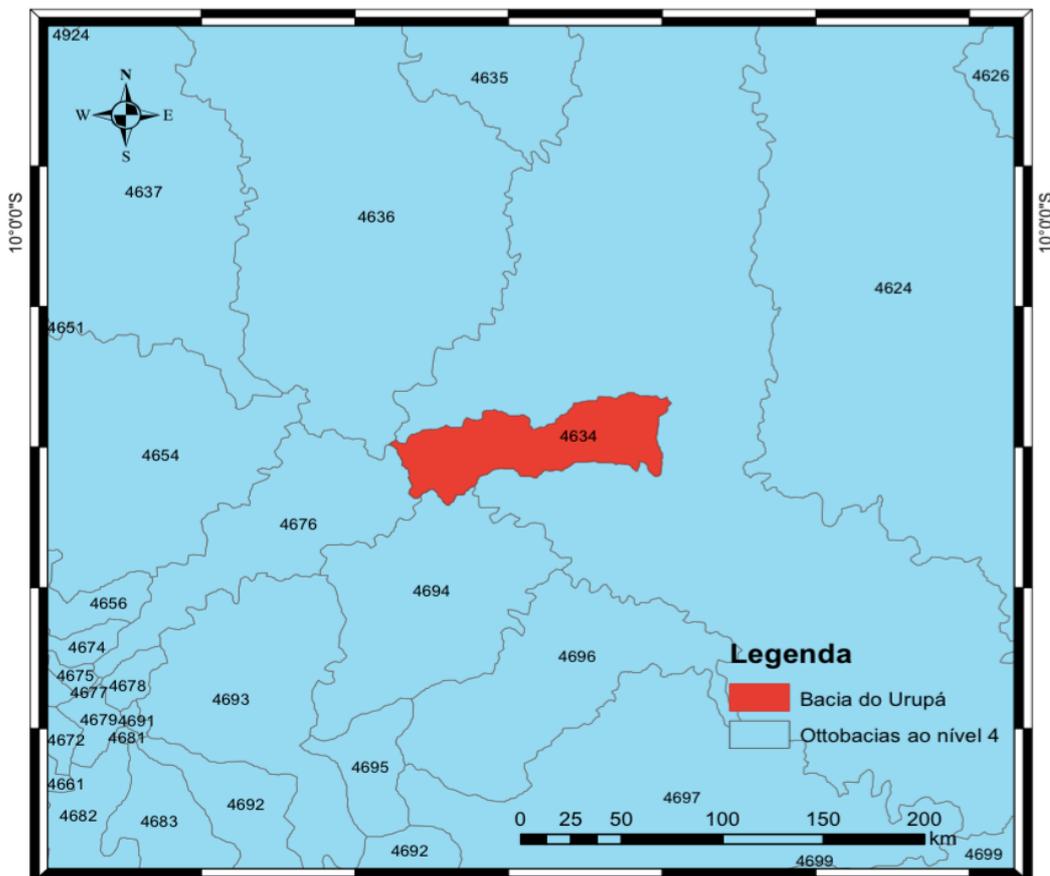


Figura 22 - Ottocodificação nível 4 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.



Figura 23 - Ottocodificação nível 5 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.



Figura 24 - Ottocodificação nível 6 (ANA) com a localização da bacia do Rio Urupá.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma das principais dificuldades encontradas nessa pesquisa foi a escassez de dados em relação a rede hidrográfica do estado de Rondônia, e conseqüentemente, para a região estudada. Enquanto alguns estados brasileiros possuem a rede de drenagem mapeada na escala de 1:250.000 e outros até 1:50.000, a maior parte dos estados da Região Norte possuem a mesma apenas na escala de 1:1000.000, disponibilizado pelo IBGE para todo o território nacional.

Verificada a falta de dados mais precisos quanto à drenagem, buscou-se trabalhar o MDE obtido da EMPRAPA conforme a metodologia aqui descrita, com o intuito de eliminar erros e alcançar maior representatividade frente à real rede hidrográfica do terreno.

Após a criação do MDEHC, foi extraída a drenagem numérica para a bacia do rio Urupá e comparada com a rede de drenagem ao milionésimo utilizada pela ANA, como visto na Figura 25.

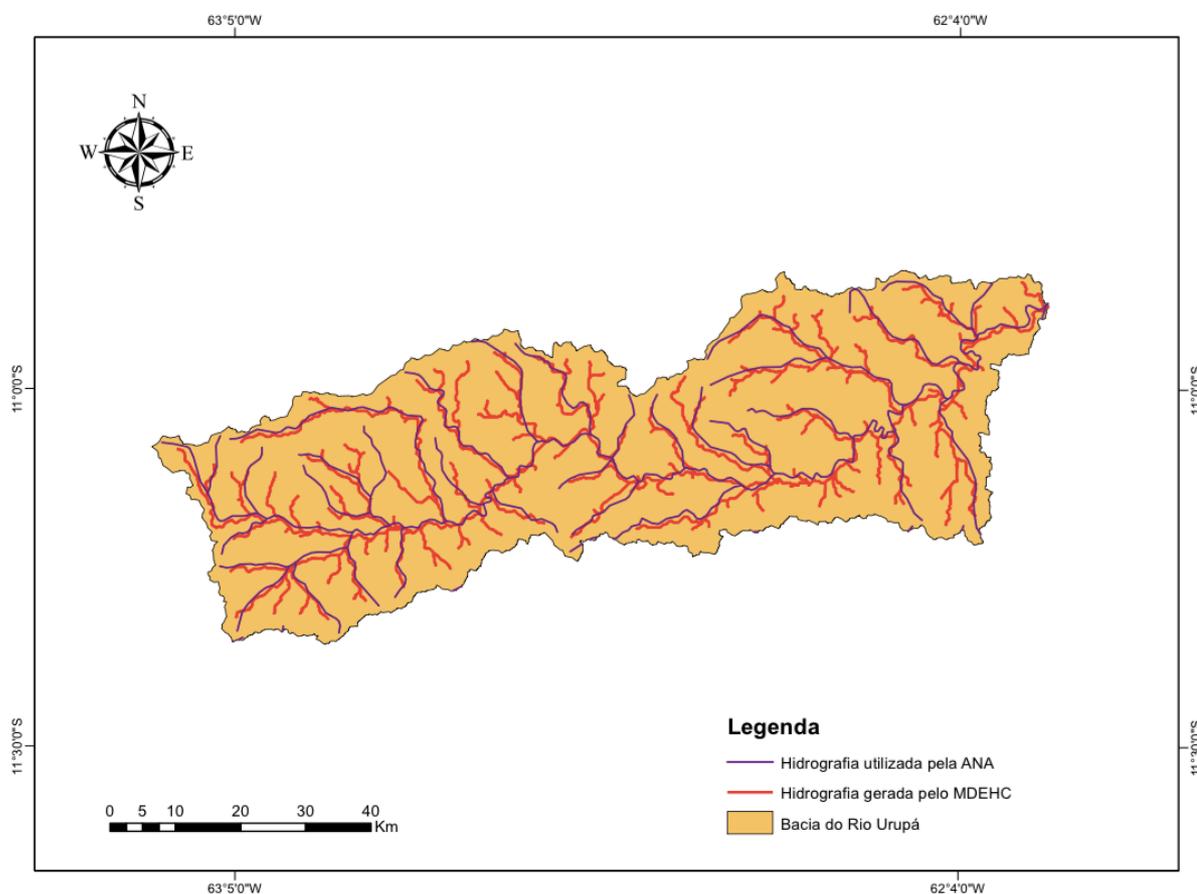


Figura 25 - Comparação entre a drenagem obtida pelo MDEHC e a utilizada pela ANA.

A consistência hidrológica básica do modelo digital de elevação baseou-se na comparação da drenagem gerada com a hidrografia disponibilizada pelo órgão oficial responsável pela cartografia nacional (IBGE). Dessa maneira, observa-se pela Figura 25 que a hidrografia gerada numericamente apresentou coincidência acentuada com a hidrografia real mapeada pelas cartas do IBGE, sendo viável sua utilização no sentido de fornecer dados básicos para pesquisas que subsidiem o gerenciamento de recursos hídricos na bacia em questão. Essa comparação gráfica teve a intenção de validar a hidrografia modelada (numérica), obtendo uma aproximação fiel com a situação real para a escala em estudo.

Ademais, pode ser constatado que o traçado da hidrografia gerada a partir do MDEHC difere da rede hidrográfica mapeada pelo IBGE e utilizada pela ANA no desenvolvimento das otobacias brasileiras. Isso acontece devido à diferença de escalas da drenagem, uma vez que os pixels de 90x90 m dos dados SRTM equivalem à escala aproximada de 1:100.000 do IBGE (VALERIANO, 2008), apresentando assim muito mais detalhes quando comparada com a rede hidrográfica ao milionésimo da ANA. Em pesquisa mais recente, Moura (2014) afirma que em uma bacia de relevo pouco movimentado, os resultados mostraram compatibilidade com escala de até 1:50.000 para os MDE's originados do SRTM, chegando a 1:100.000 em bacias com maior densidade de drenagem – como é o caso da bacia do rio Urupá.

3.1 COMPARAÇÃO ENTRE A OTTOBACIA DO RIO URUPÁ AO NÍVEL SEIS PELO MDEHC E O FORNECIDO PELA ANA

Uma das propostas deste trabalho foi realizar a comparação da codificação gerada a partir do MDEHC com aquela disponibilizada pela ANA para o nível 6. Por esse motivo, os resultados aqui obtidos partiram do nível 5 desenvolvido pela mesma. A imagem abaixo representa a otobacia 46345, originada da ANA, onde o maior tributário é justamente a bacia do rio Urupá, que recebe o código 463458, ao nível 6.

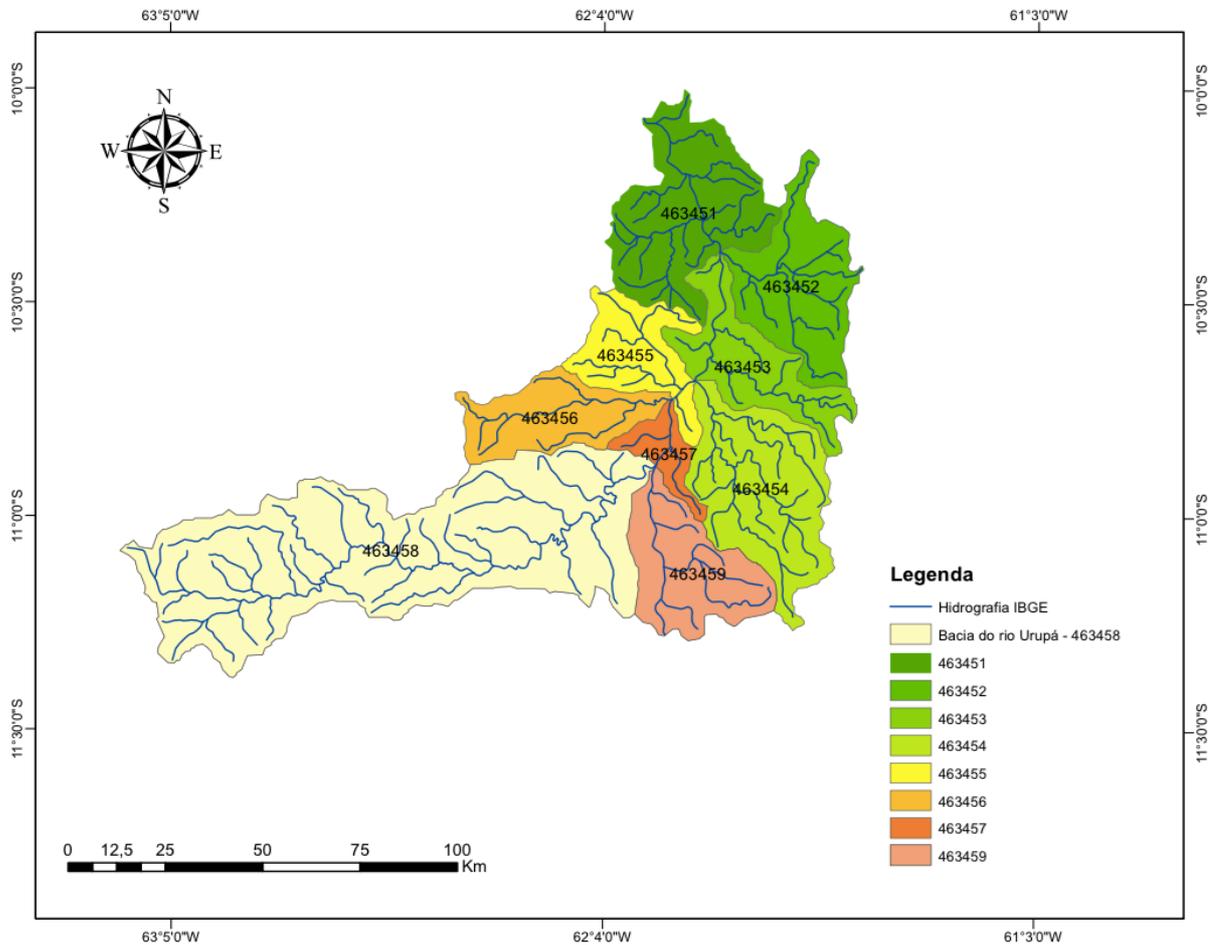


Figura 26 - Otobacia 46345 disponibilizada pela ANA contendo a bacia do rio Urupá.

Assim, realizado o tratamento computacional do modelo digital de elevação em ambiente SIG, buscou-se delimitar a bacia conforme a rede de drenagem numérica obtida. A partir disso, efetuou-se a sobreposição do *shapefile* da bacia 463458, da ANA, sobre o *shapefile* da bacia gerada, com o intuito de compará-las. A Figura 27 mostra a comparação entre as duas otobacias.

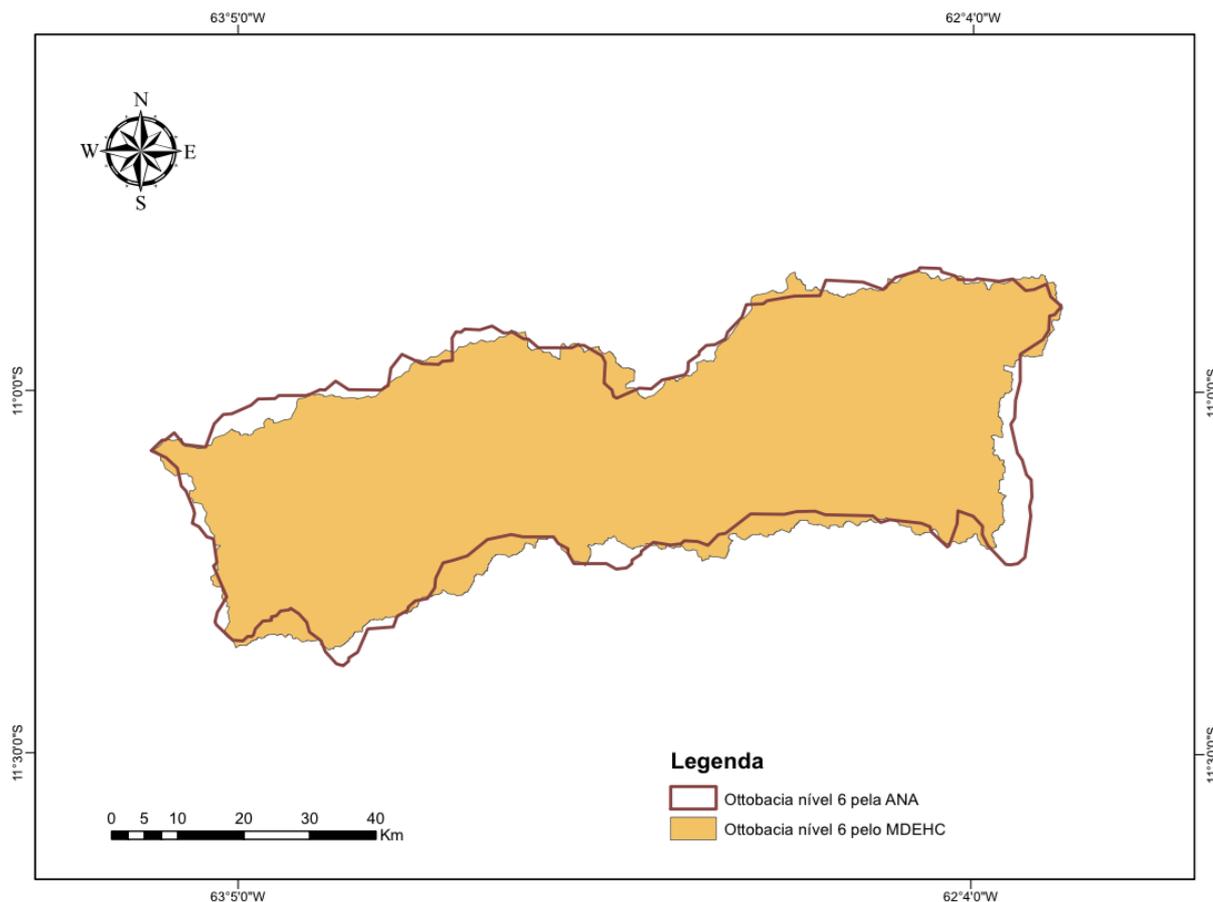


Figura 27 - Comparação entre as ottobacias do MDEHC e da ANA.

Analisando a imagem, percebe-se uma diferença entre os limites traçados para a bacia hidrográfica a partir do MDEHC desenvolvido e os da base de dados utilizada pela ANA. Isso se deve principalmente pela maior precisão encontrada na rede de drenagem, com uma escala superior em detalhes quando comparada com a padrão, possibilitando que as áreas de contribuição dos tributários da bacia sejam delimitadas com maior representatividade com o terreno.

Uma vez gerado o MDEHC, foi possível extrair dados físicos da bacia que trazem informações complementares ao estudo de bacias hidrográficas. Essas características foram obtidas de forma automática em ambiente de SIG, no programa computacional ArcGIS[®]. De forma semelhante, Gomes et al. (2011) extraíram dados morfométricos pertinentes ao estudo da bacia do rio Capivari, em Minas Gerais.

Dessa maneira, foi possível obter de forma direta a área, o perímetro, o comprimento do rio principal (L_p) e o comprimento total de drenagem (L_t), tanto da bacia gerada pelo MDEHC quanto da bacia gerada pela ANA. A Tabela 1 apresenta o resumo das características encontradas.

Tabela 1 - Características morfométricas obtidas na bacia do rio Urupá

Parâmetros Morfométricos	Unidade	Resultado	
Bacia gerada pela ANA	Área	Km ²	4246,9
	Perímetro	Km	406,65
	Comprimento Lp	Km	212,2
	Comprimento Lt	Km	802,96
Bacia gerada pelo MDEHC	Área	Km ²	4193
	Perímetro	Km	480,53
	Comprimento Lp	Km	207
	Comprimento Lt	Km	1142,16

Observa-se pela tabela que a bacia do rio Urupá, desenvolvida a partir da drenagem do MDEHC, obteve uma área e um comprimento de rio principal menores que a bacia gerada pela ANA. Isso pode ser explicado por diversos trechos curvilíneos e com nós no curso d'água principal gerado pelo IBGE, de modo que a soma desses segmentos apresente um comprimento superior ao obtido na modelagem.

Da mesma forma, diversas pontas alongadas de afluentes foram encontradas na drenagem oficial e não foram encontradas na drenagem numérica, como visto na Figura 25. Esse alongamento aumentou a área de drenagem de algumas bacias, explicando o tamanho maior drenado pela bacia gerada pela ANA.

Pelo fato da drenagem obtida através do modelo digital de elevação possuir uma escala muito superior em detalhes quanto a padrão, o rio principal, os tributários e suas áreas de contribuição foram delimitados com mais precisão e fidelidade. Por isso, seu perímetro e comprimento total de drenagem foram bem definidos e ramificados, de forma que estes apresentassem um resultado maior comparado com a bacia da ANA.

3.2 OTTOCODIFICAÇÃO AO NÍVEL 7

Partindo da ottobacia gerada pela drenagem numérica do MDEHC, a qual recebe o código 463458 segundo Pfafstetter (1989), buscou-se primeiramente elevar a ottocodificação em mais um nível, uma vez que a drenagem estava bem detalhada e delimitada para toda a bacia hidrográfica do rio Urupá.

Na Figura 28 está representada a ottobacia do rio Urupá conforme a ottocodificação para o nível 7.

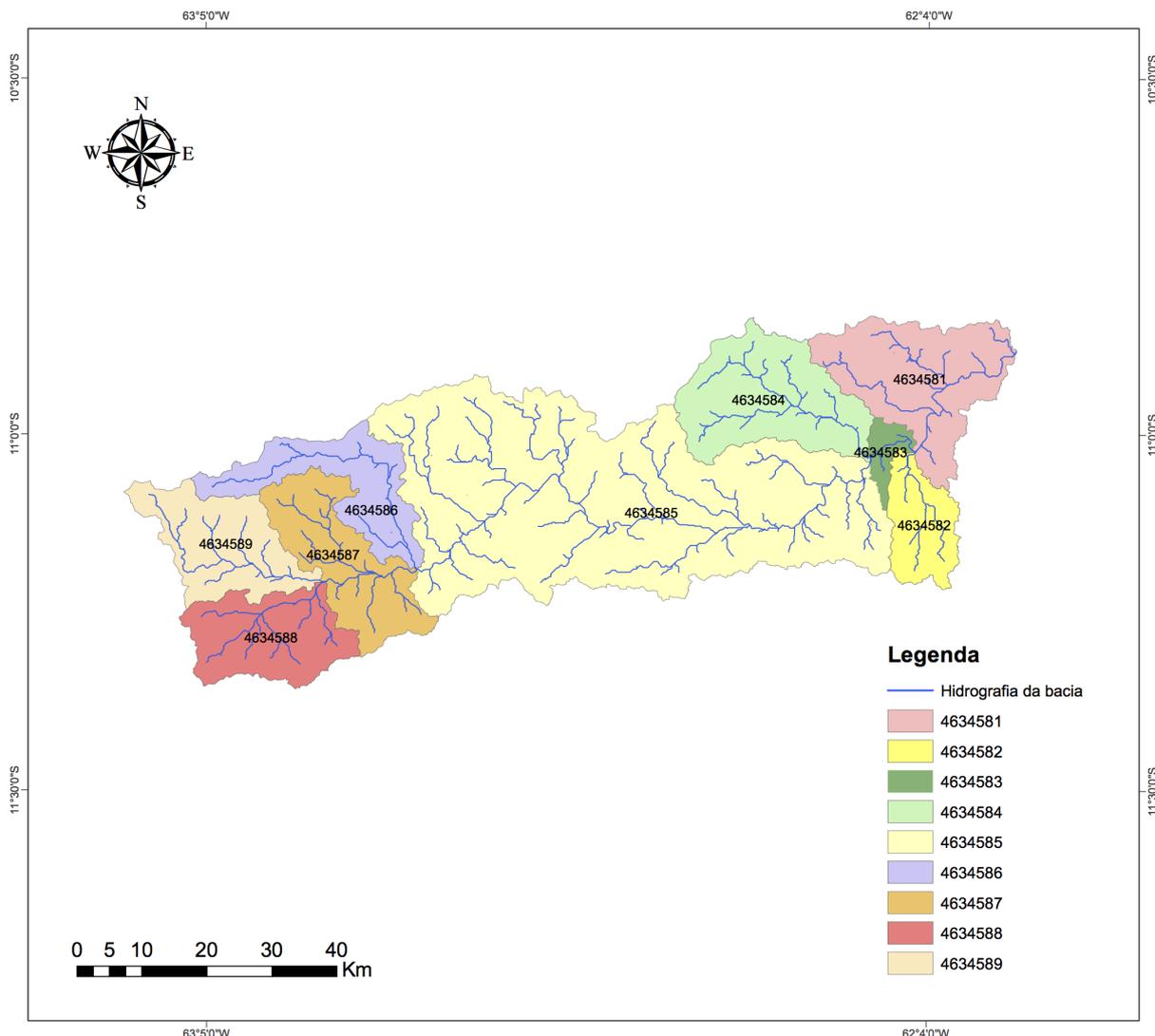


Figura 28 - Ottocodificação nível 7 para a bacia do rio Urupá gerada pelo MDEHC.

Analisando a imagem pode-se ter a noção real de uma das intenções de Otto Pfafstetter ao vislumbrar seu modelo de codificação. Ao nível 7 fica explícito o grau de precisão da localização geográfica de cada tributário, bem como a sua área de entorno.

Foi possível identificar sem maiores dificuldades as quatro maiores bacias dentro da bacia do rio Urupá, as quais foram atribuídas um algarismo par ao fim do código 463458. Dentre as bacias, a de maior área foi a bacia 4, com 422 km², seguida pela bacia 8, com 302,7 km². Já para as interbacias, a 5 foi a maior, com 1851,8 km², acompanhada pela interbacia 1, com 439,8 km².

Na escala utilizada nessa pesquisa, o maior nível de detalhes para o processo de ottocodificação em algumas sub-bacias do rio Urupá é este, pois a partir deste nível não puderam ser identificadas as quatro maiores bacias tributárias.

As sub-bacias que tiveram seus quatro maiores tributários delimitados foram ottocodificadas ao nível 8.

3.3 OTTOCODIFICAÇÃO AO NÍVEL 8

A partir do nível 7 foi possível replicar a metodologia para as bacias já ottocodificadas. A título demonstrativo, foram ottocodificadas as bacias contribuintes 4, 8, 9 e 5, respectivamente, dentro da bacia em estudo, cujo resultado é evidenciado nas Figuras 29 a 32.

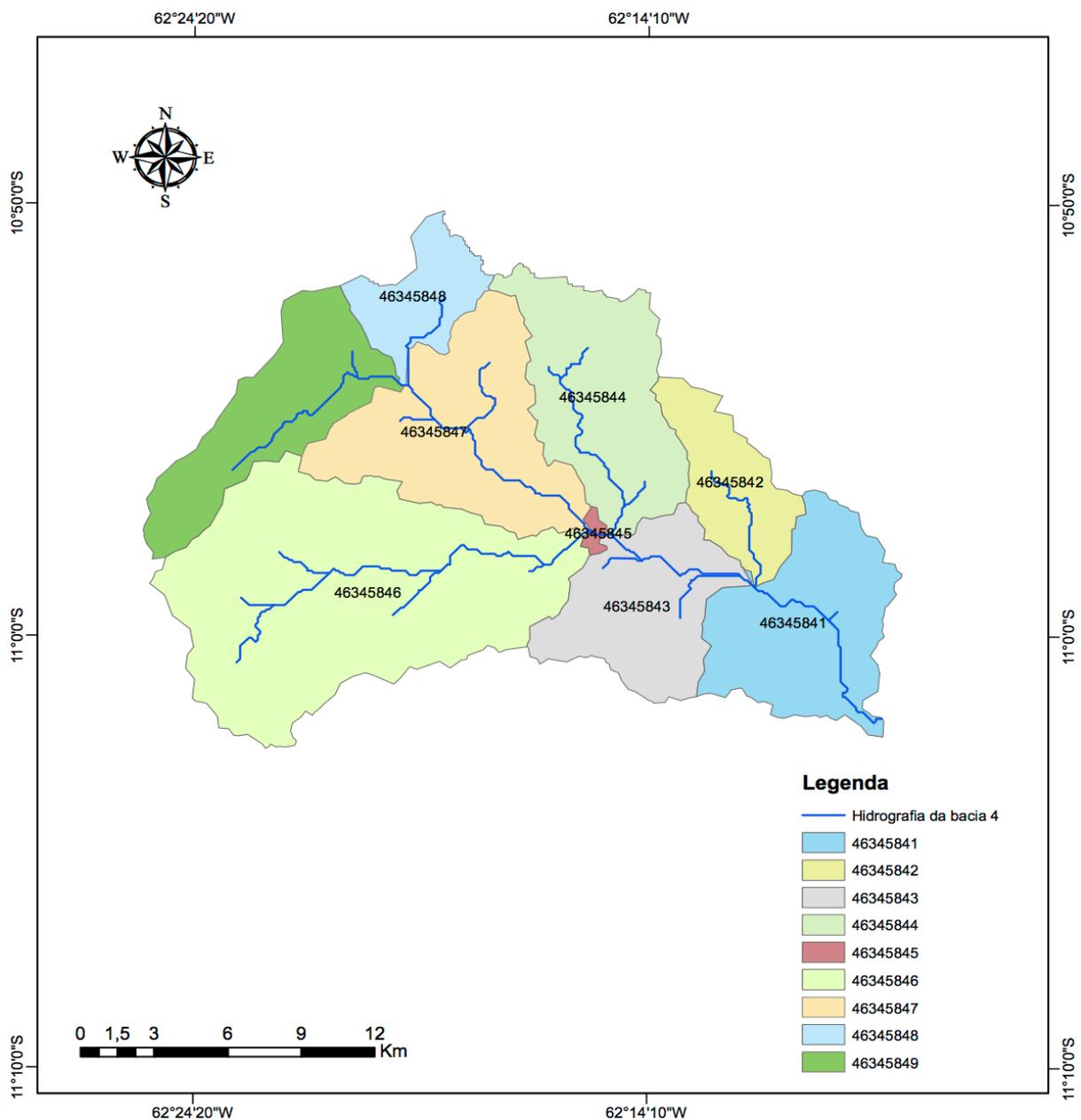


Figura 29 - Ottocodificação nível 8 para a sub-bacia de código 4634584.

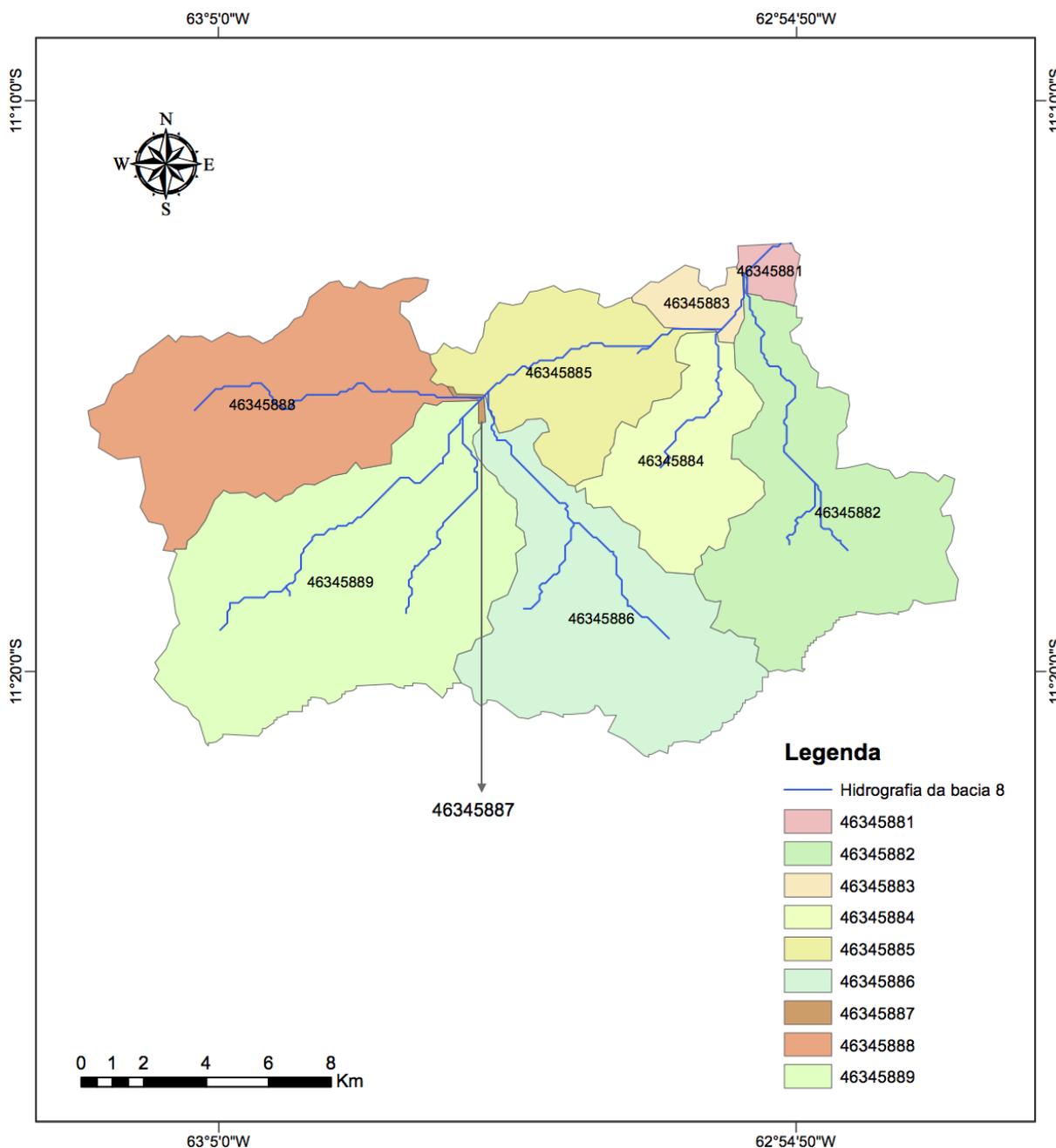


Figura 30 - Ottocodificação nível 8 para a sub-bacia de código 4634588.

Realizada a ottocodificação pode-se identificar através dos códigos das bacias e interbacias a sua localização em relação à foz e cabeceira. Observando as figuras, por exemplo, sabe-se que a bacia de código 46345881 é a ottobacia mais próxima da foz da bacia 4634588, enquanto a bacia 46345889 é a mais distante da mesma. Também podemos notar pela análise dos códigos que a bacia 46345882 é uma das quatro maiores bacias contribuintes que está mais próxima da foz.

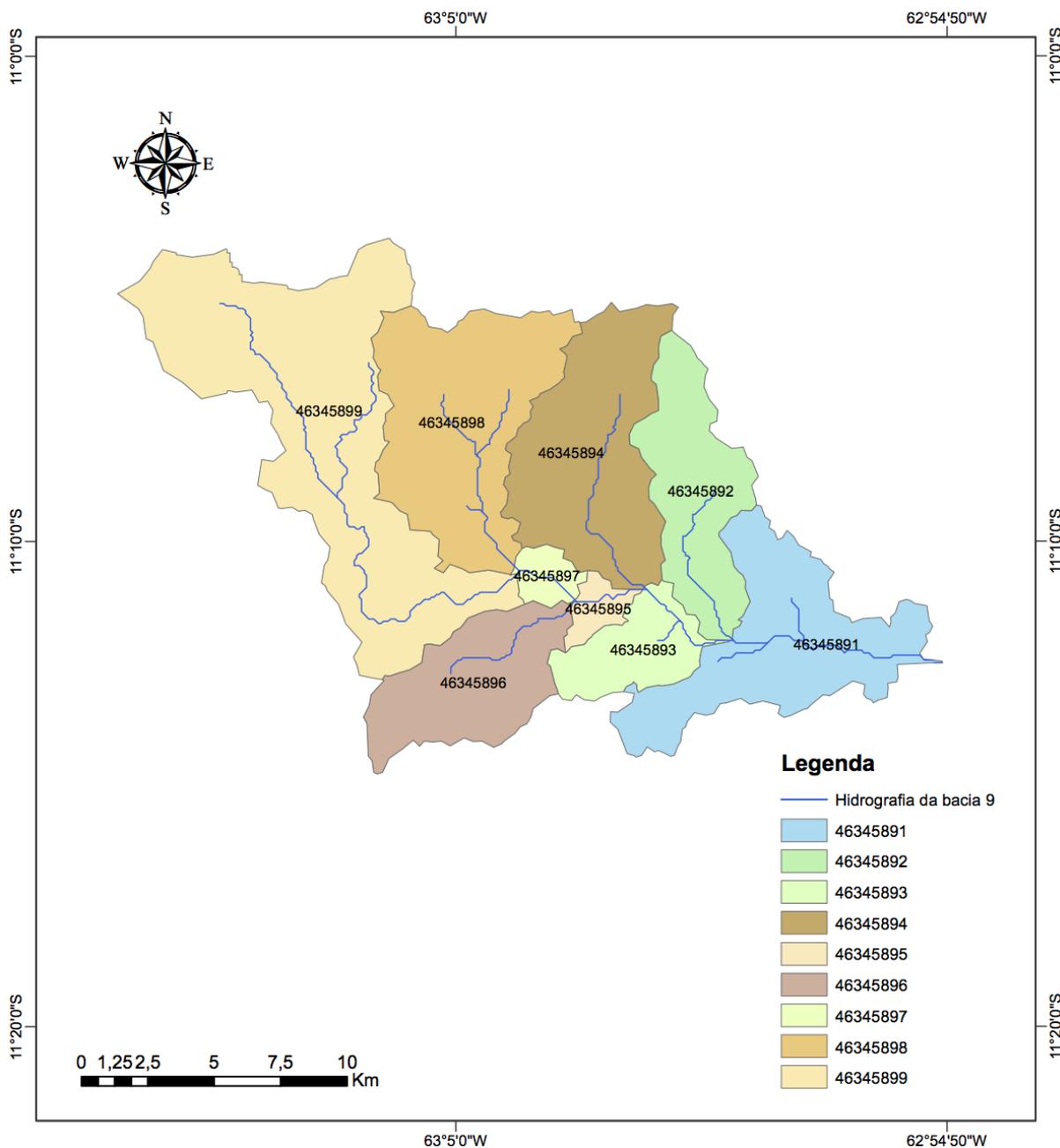


Figura 31 - Ottocodificação nível 8 para a sub-bacia de código 4634589.

Analisando a distribuição espacial das bacias e interbacias nas imagens acima, é observado que a área da interbacia 46345845 (FIGURA 29) e da interbacia 46345887 (FIGURA 30) apresentam uma diferença considerável em tamanho para as demais. Isso ocorre pois, segundo a lógica de Pfafsteter (1989), o tamanho das interbacias é proporcional à distância entre os tributários que a delimitam. Portanto, como os tributários 4 e 6 da Figura 29, e 6 e 8 da Figura 30 estão muito próximos, essas interbacias apresentam uma área reduzida. Na Figura 31 a menor interbacia é a 46345897, porém esta não apresenta uma área tão diminuta quanto às demais.

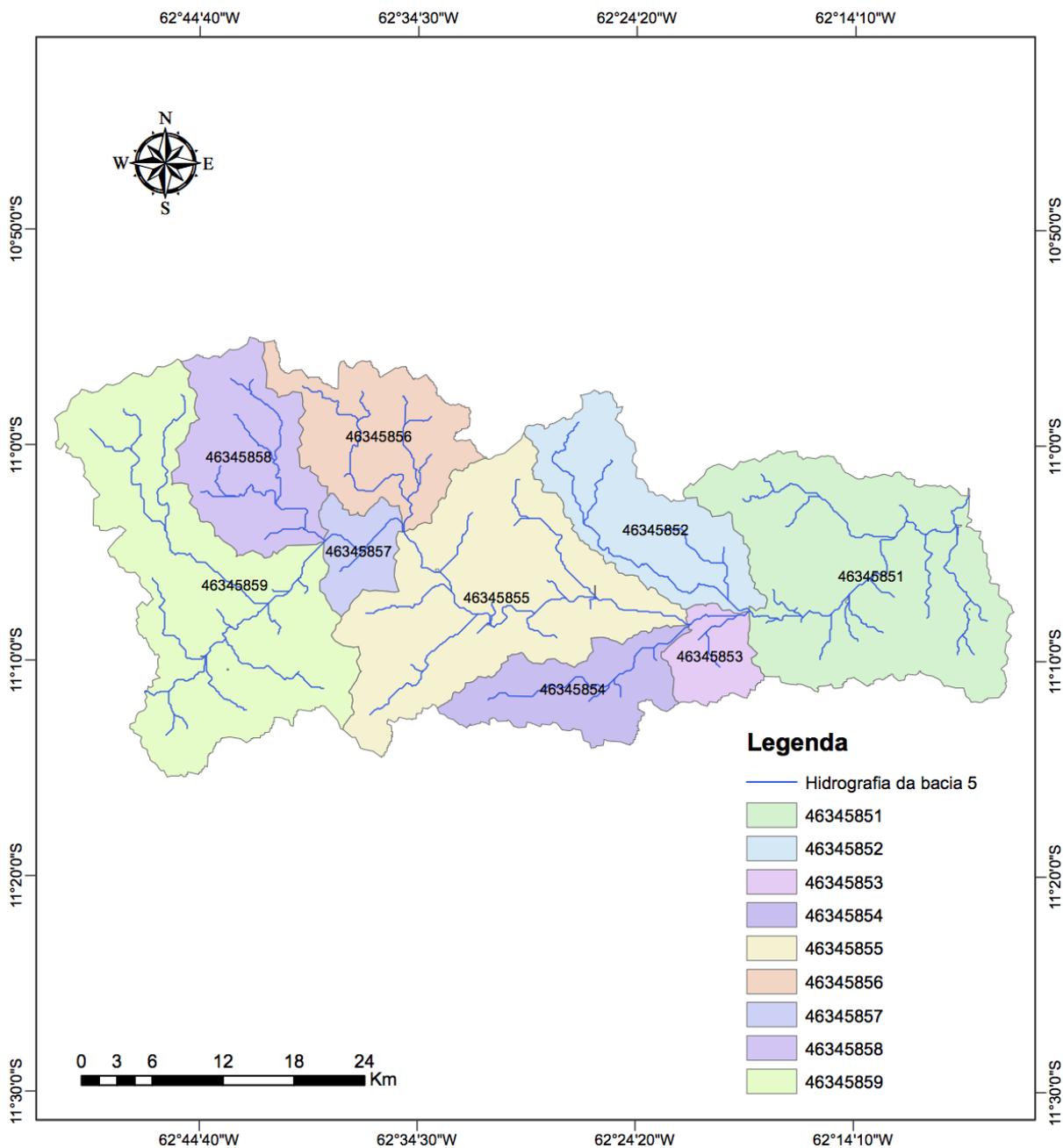


Figura 32 - Ottocodificação nível 8 para a sub-bacia de código 4634585.

Na Figura 32 está apresentada a ottocodificação ao nível 8 para a interbacia 5. Foi possível identificar que a maior bacia contribuinte foi a interbacia 46345859, com uma área drenada de 414,8 km², e a menor a 46345857, com 50,34 km².

Visto o grau de precisão e detalhamento relacionado à localização de um curso d'água ao nível 8 da ottocodificação, é possível inferir que esses dados seriam de grande valia aos órgãos gestores da bacia hidrográfica do rio Urupá. Um exemplo simples seria a identificação de uma fonte poluidora no rio principal da bacia, o Urupá, o qual abastece a Companhia de Água e Esgoto (CAERD) de Ji-Paraná. Analisando as sub-bacias dessa bacia,

poderia inferir qual delas está desaguando o efluente no rio principal, agilizando a tomada de decisão para a resolução do problema, bem como também evitando problemas ambientais e prejuízos a saúde da população que utiliza esse recurso.

Cabe ressaltar que a ottocodificação é tão precisa quanto for a base de dados a partir da qual a mesma está sendo produzida. Dessa maneira, para poder prosseguir e elevar a codificação mais um nível, seria preciso uma drenagem mais detalhada, onde pudesse ser encontrado ao menos os quatro maiores tributários dentro de cada bacia do nível 8.

Assim, a discussão segue no sentido de determinar qual o melhor MDE para ottocodificação, e qual a escala. Isso sem esquecer que o modelo digital de elevação deve estar em consonância com a hidrografia de referência (IBGE), de forma que esse modelo seja hidrologicamente consistente.

Com o avanço maciço da disponibilização de dados altimétricos provenientes dos órgãos de levantamento cartográfico e de missões espaciais com essa finalidade, como é o caso do SRTM, a discussão deve ser direcionada em como e qual produto deve ser escolhido para a geração de ottobacias, visto que nos últimos anos as dificuldades no Processamento Digital de Imagens (PDI) foram reduzidas com a introdução de melhores computadores e softwares.

3.4 CODIFICAÇÃO DO CURSO D'ÁGUA PRINCIPAL

A última proposta da presente monografia foi codificar, segundo o modelo de Pfafstetter (1989), o rio principal da bacia do rio Urupá, partindo do nível 7, bem como das bacias que foram ottocodificadas ao nível 8.

O resultado da ottocodificação do curso d'água a nível 7 de detalhamento está representado na Figura 33. É observado que ao se suprimir o último número das bacias ímpares há a demarcação do rio principal da região estudada, ou seja, o rio principal passa pelas interbacias, perdendo o último dígito das mesmas.

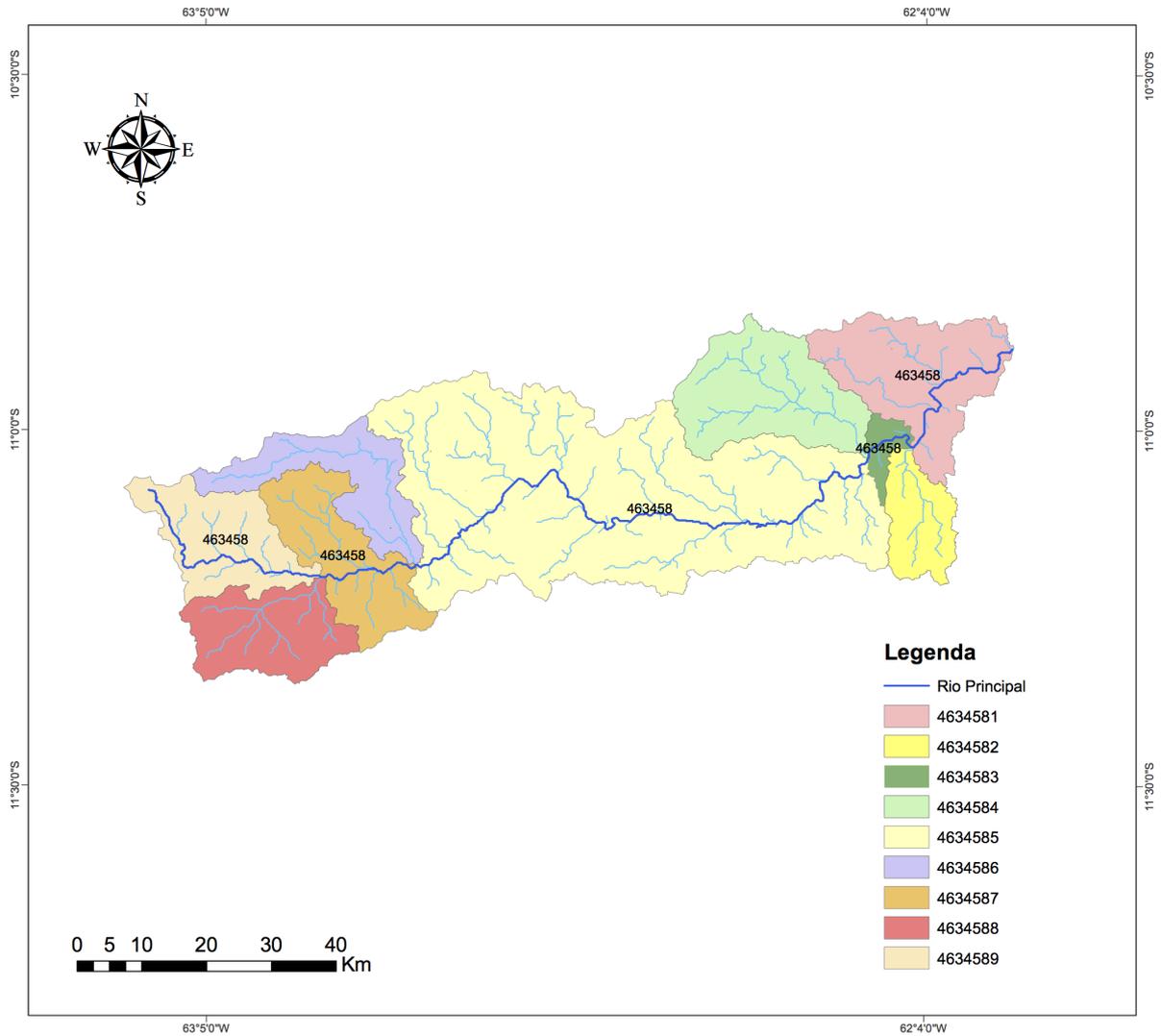


Figura 33 - Identificação do rio principal na bacia do rio Urupá segundo Pfaftstetter.

Assim, da mesma forma que a codificação de bacias, a codificação de cursos d'água permite inferir através dos códigos dos rios a sua localização em relação a foz. Outro ponto importante é a possibilidade de identificar se um curso d'água pertence a um a um afluente ou ao rio principal. Como exemplo, na figura acima, o rio principal perdeu seu último dígito, assumindo a codificação imediatamente anterior, correspondente ao nível 6.

Na Figura 34 é evidenciado o resultado da ottocodificação do curso d'água principal para a bacia 4634584, sub-bacia do rio Urupá.

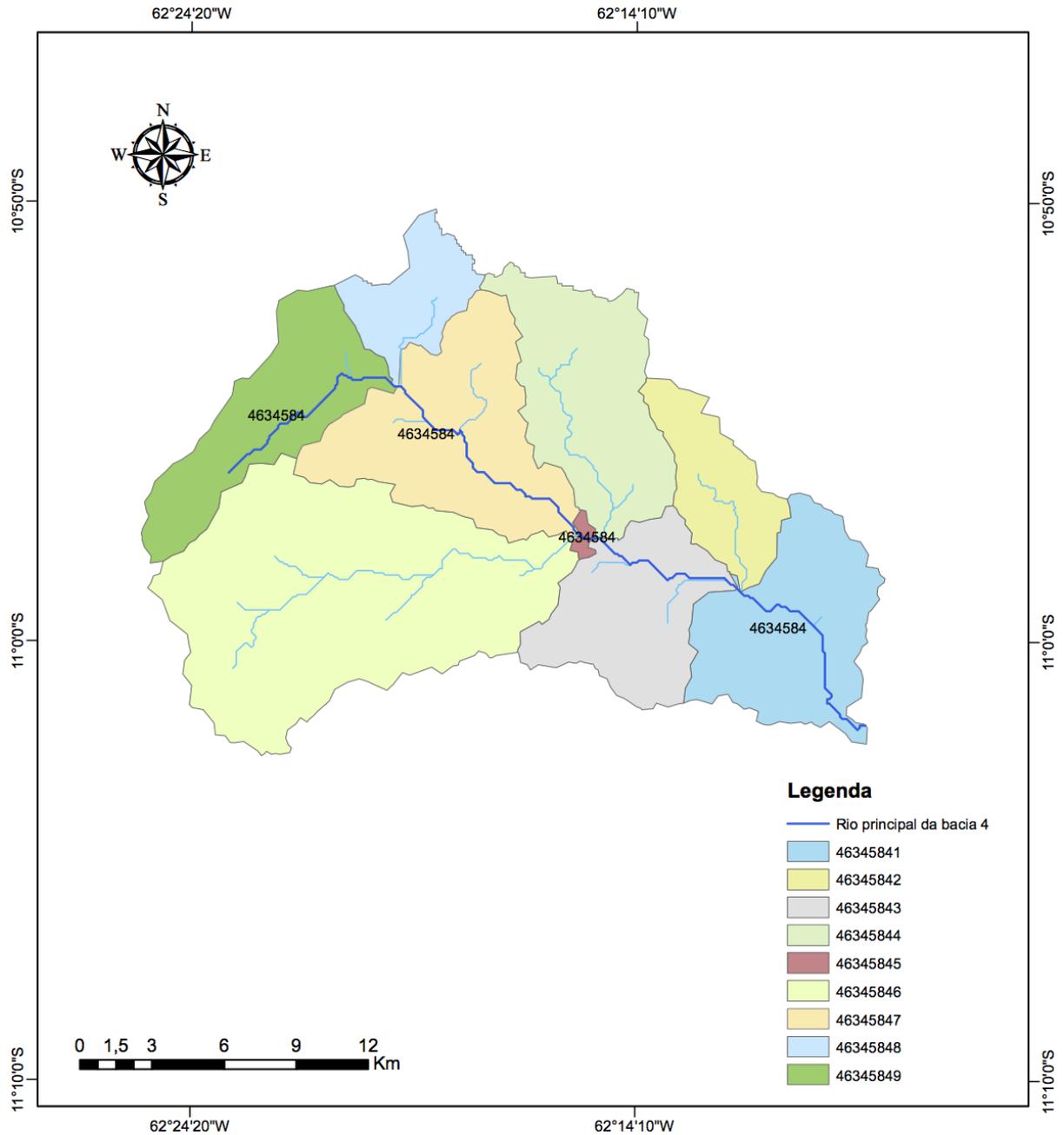


Figura 34 - Identificação do rio principal na bacia 4634584 segundo Pfafstetter.

Na imagem acima, a mesma situação é encontrada, onde o rio principal perdeu o último dígito nas interbacias. Comparando a Figura 33 e 34, percebe-se que o curso d'água de código 4634584 pertence ao primeiro maior afluente do rio principal da bacia em estudo.

A Figura 35 apresenta o resultado da ottocodificação do curso d'água principal para a bacia 4634588, sub-bacia do rio Urupá.

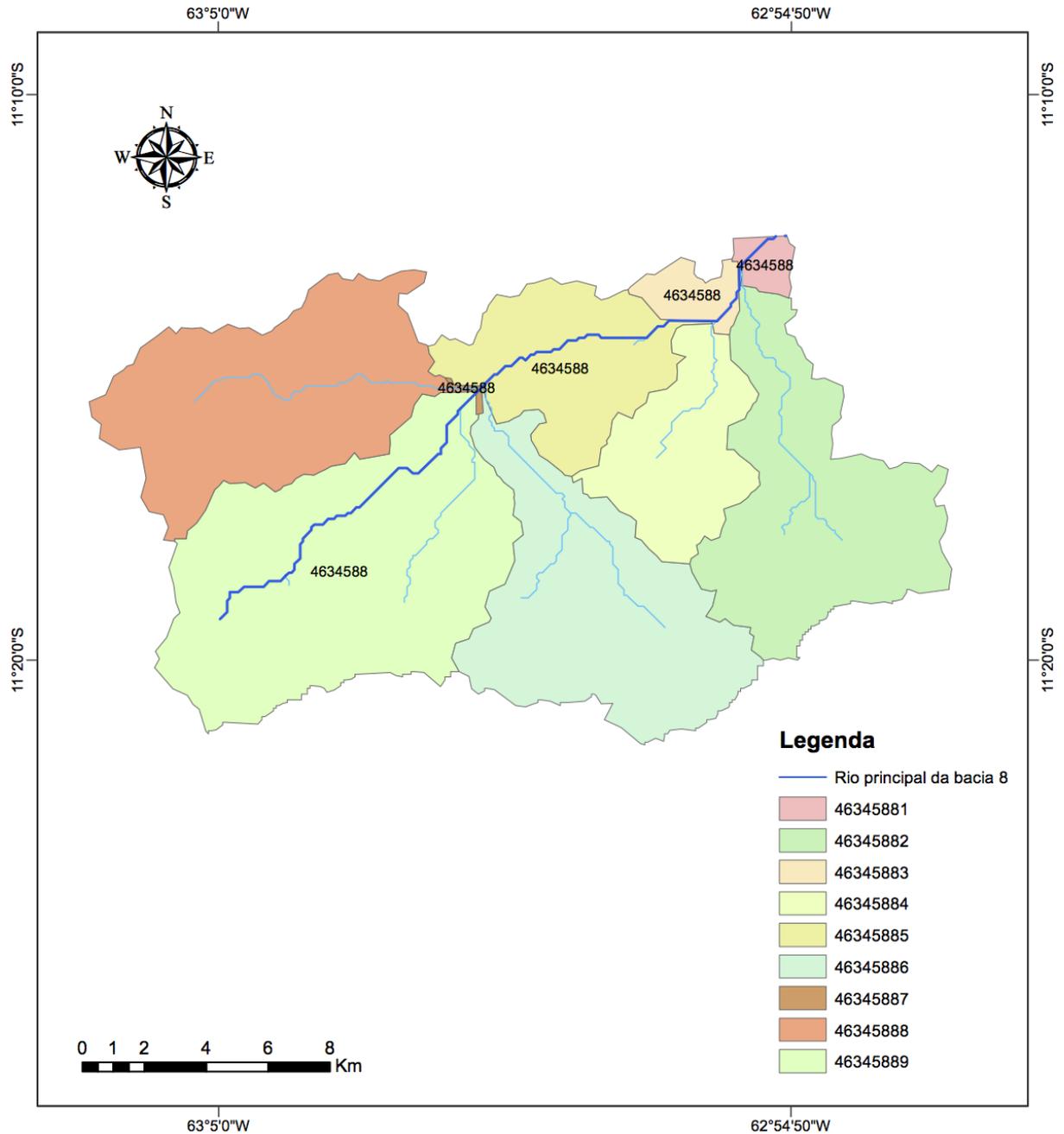


Figura 35 - Identificação do rio principal na bacia 4634588 segundo Pfafstetter.

Novamente o rio principal foi identificado passando pelas interbacias e em seguida perdendo seu ultimo dígito dentro da bacia 8, sendo identificado agora pelo código 4634588. Tanto na Figura 34 como na Figura 35 nota-se que o rio principal da bacia do Urupá, de código 463458, não esteve presente, uma vez que este só passa pelas interbacias. Dessa forma, os rios principais das sub-bacias 4 e 8 aqui ottocodificadas ao nível 8 foram os próprios afluentes destas bacias.

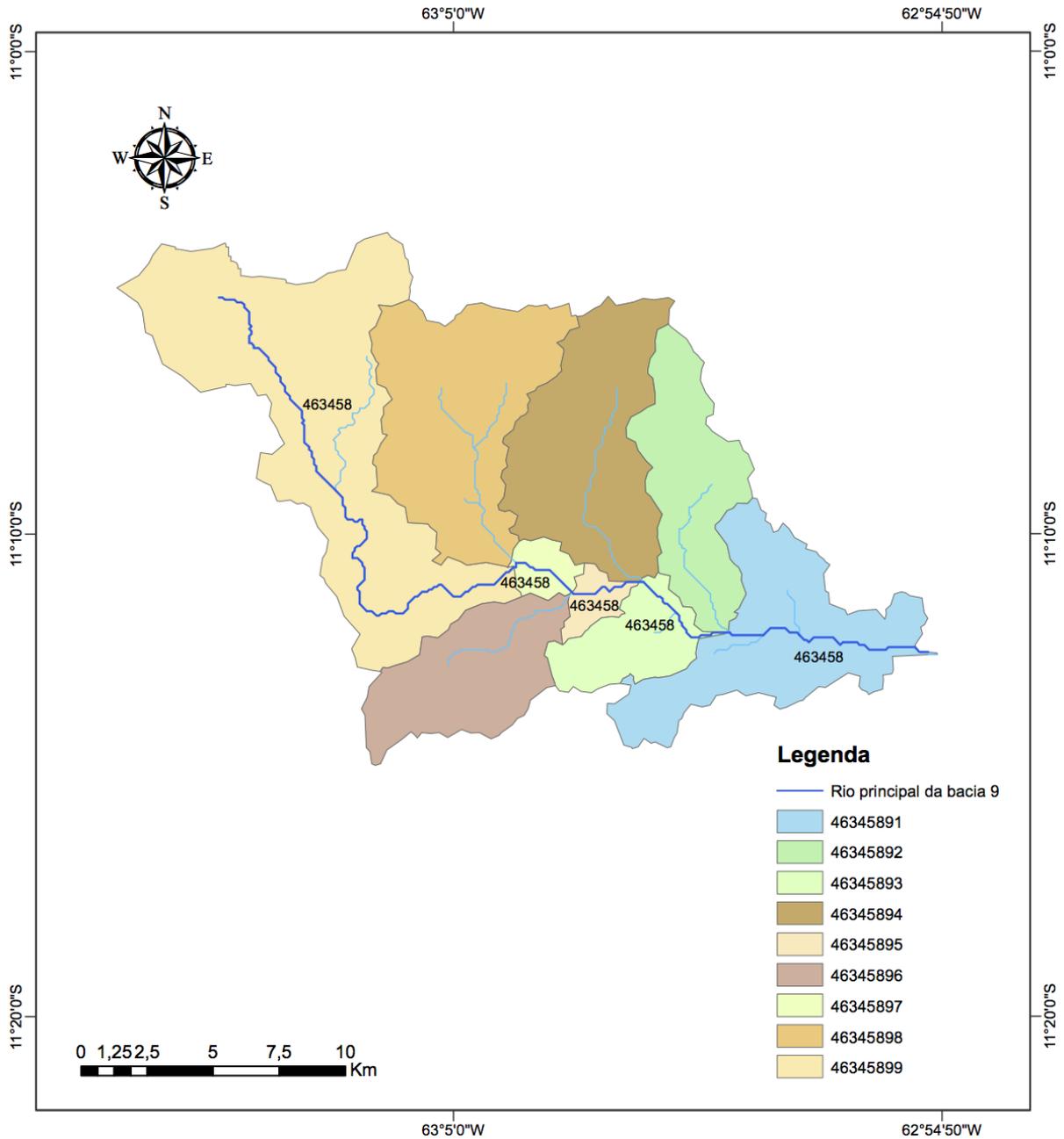


Figura 36 - Identificação do rio principal na bacia 4634589 segundo Pfafstetter.

Já na Figura 36 o mesmo não ocorre. Como a bacia 4634589 é, na verdade, uma interbacia, seu curso d'água principal é o rio principal da bacia do Urupá, como pode ser observado também na Figura 33. Dessa forma, além do de perder o último dígito nas interbacias, o rio principal da bacia 4634589 perde também o dígito da bacia, assumindo o código 463458.

A situação volta a se repetir na Figura 37, como visto abaixo.

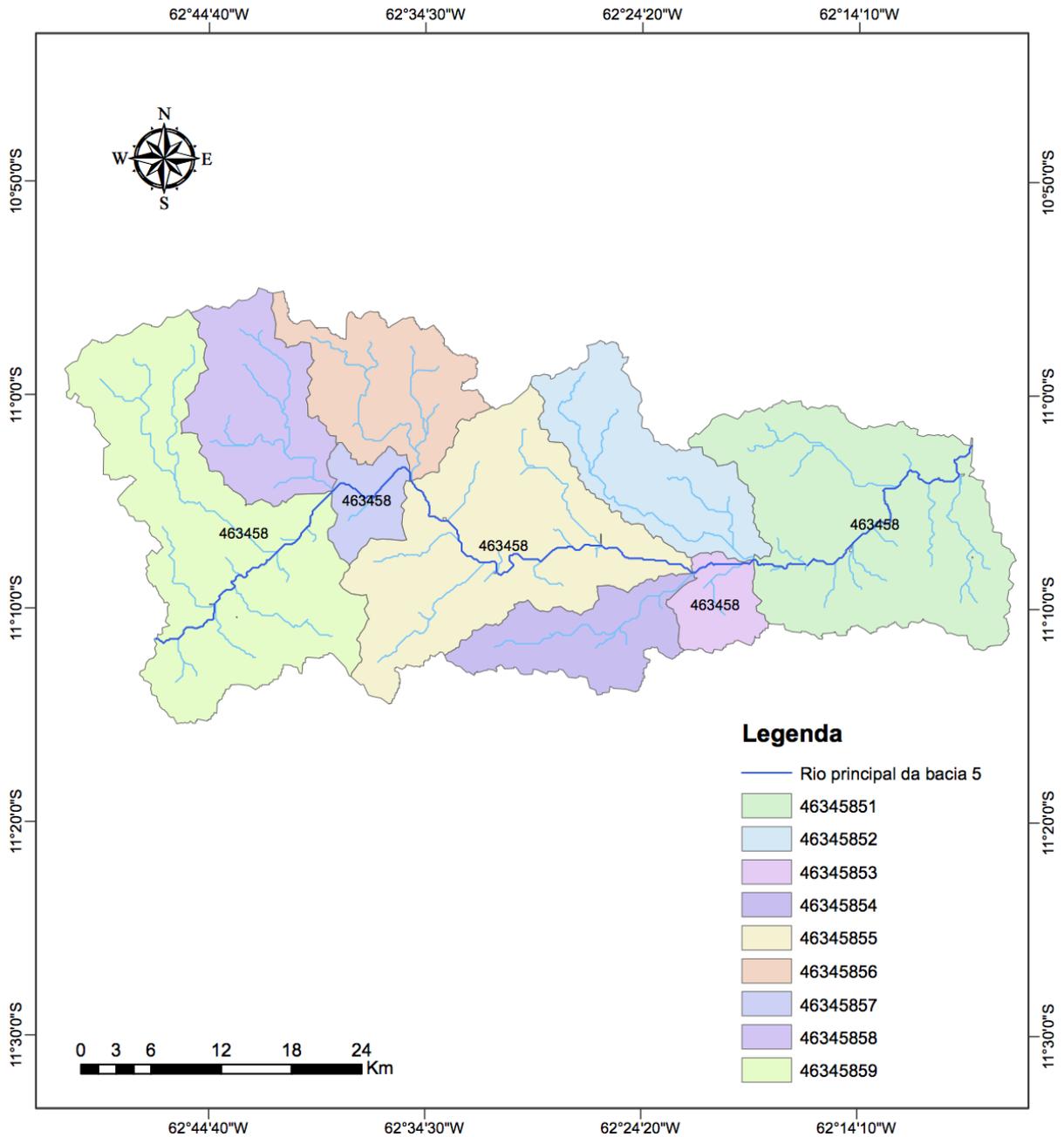


Figura 37 - Identificação do rio principal na bacia 4634585 segundo Pfafstetter.

De maneira semelhante à anterior, o curso d'água principal da interbacia 4634585 também perde o último dígito por fazer parte do rio principal da bacia do Urupá. Dessa forma, seu código é definido como 463458.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados e discussões apresentados nesse estudo foram desenvolvidos de forma a alcançar os objetivos propostos, sendo a principal motivação da realização da presente pesquisa contribuir para a criação de uma base otocodificada mais detalhada para a região da bacia hidrográfica do rio Urupá.

Através da utilização de ferramentas implementadas em Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi possível adequar as direções de escoamento e remover as depressões espúrias do modelo digital de elevação mapeado pela SRTM e disponibilizado pela EMBRAPA, possibilitando obter um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Dessa forma, tornou-se possível extrair uma drenagem numérica na escala aproximada de 1:100.000 para a região da bacia hidrográfica do rio Urupá.

Ao observar o mapa comparando a bacia otocodificada ao nível 6 através do MDEHC e a disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), pôde-se constatar uma diferença nos traçados limitantes destas bacias. Isso se deve à diferença de escala empregada pela ANA, uma vez que a mesma utiliza a hidrografia oficial mapeada pelo IBGE para todo o Brasil, na escala de 1:1.000.000. Em contrapartida, a hidrografia proveniente do MDEHC apresenta uma escala muito mais detalhada, o que permitiu maior precisão na delimitação das áreas de contribuição na bacia do rio Urupá.

Também foi possível obter de forma automática em SIG dados físicos complementares a esta pesquisa, como as áreas da bacia delimitada e da bacia gerada pela ANA, assim como o perímetro, o comprimento total da rede hidrográfica e o comprimento do rio principal dessas bacias. Foi considerado pertinente trazer esses dados, pois como afirma Villela e Mattos (1975), as características físicas de uma bacia constituem elementos de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico. Ainda, recomenda-se que estudos posteriores envolvam uma completa análise morfométrica, abrangendo aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia da bacia.

A drenagem numérica desenvolvida a partir do MDEHC se mostrou superior em comparação à hidrografia ao milionésimo utilizada pela ANA. Com a identificação das quatro maiores bacias contribuintes, foi possível ottocodificar a bacia hidrográfica do rio Urupá ao nível 7 com precisão, diferentemente da ottocodificação realizada pela ANA, onde o maior nível de detalhe alcançado é o sexto.

O processo de ottocodificação ao nível 8 foi possível em somente quatro sub-bacias do rio Urupá, pois na escala empregada não pôde-se identificar os quatro maiores tributários das demais bacias, sendo este um pré-requisito para dar continuidade ao método de Pfafstetter. Dessa forma, a escala cartográfica se mostrou o maior fator limitante para prosseguir com a ottocodificação na bacia do rio Urupá.

Em seguida, foi determinado o rio principal na bacia em estudo, bem como nas sub-bacias ottocodificadas até o nível 8, possibilitando que seja conhecida a origem e influência dos tributários dentro de cada bacia codificada.

Além das vantagens já discutidas na presente monografia, é importante destacar que sistema de codificação gera um identificador único para cada bacia, viabilizando que o usuário compreenda a posição relativa de qualquer curso d'água da bacia em relação à sua foz. Esses códigos também carregam informações topológicas valiosas que podem ser exploradas por softwares de gerenciamento de banco de dados, facilitando a análise dos sistemas naturais e das atividades humanas que afetam ou dependam dos recursos hídricos superficiais.

Diante disso, analisando a estrutura da ottocodificação, é cediço que a metodologia desenvolvida no presente trabalho pode ser estendida a outras áreas de interesse, de forma a complementar o atual banco de dados do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos – SNIRH e contribuir cientificamente para que gestores possam tomar decisões conscientes acerca dos recursos hídricos.

Por fim, espera-se que com a futura criação de Comitês de Bacia Hidrográficas em Rondônia, os resultados aqui apresentados possam dar suporte à gestão participativa, auxiliando gestores e também a sociedade civil a acompanhar a execução do Plano Básico de Recursos Hídricos na bacia hidrográfica do rio Urupá de forma precisa e consistente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agência Nacional de Águas. Topologia Hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: versão 1.11. / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Gestão da Informação. Brasília : ANA, SGI, 2006. 29 p

AZEVEDO, L. G.; BALTAR, A M.; RÊGO, M.; PORTO, Laina R. **Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil**. Brasília: Banco Mundial, 2003. (Série Água Brasil, 2)

BARROS, Rafael Silva de; GOMES, João Victor Pacheco. A importância das Ottobacias para gestão de recursos hídricos. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011. **Anais...**, INPE p.1287, 2011.

BECKINSALE, R. P., CHORLEY, R. J. **The History of the Study of Landforms or The Development of Geomorphology: Historical and Regional Geomorphology: 1890-1950**. Routledge, London. v. 3, 1991.

BORSOI, Z. M. F.; TORRES, S. D. A. A política de recursos hídricos no Brasil. BNDES, 1997. Disponível em: <www.bndes.gov.br>. Acesso em: 1 out. 2014.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 28 de out de 2014.

_____. Lei Federal no. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei no 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470.

_____. Lei Federal no. 9.984, de 17 de julho de 2000. Cria a Agência Nacional das Águas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 18 jul. 2000.

_____. Resolução CNRH no. 30, de 11 de dezembro de 2002. Define metodologia para codificação de bacias hidrográficas, no âmbito nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 19 mar. 2003.

_____. Resolução CNRH no 32, de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 17 dez. 2003.

_____. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria de Desenvolvimento Territorial. Território Central – Estado de Rondônia. Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentado. [s./e.], out. 2007.

BRITTON, P. Review of existing river coding systems for river basin management and reporting. In: **WFD GIS working group: European coding systems task group**. 2002. Disponível em: <<ftp.ei.jrc.it/pub/dejager/wise/Britton-River-Coding-Review-2002s.pdf>>. Acesso em: 30 de out. 2014, 21:16.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R. J. S. Impactos da nova política nacional de águas sobre os setores usuários de recursos hídricos. Bahia *Análise & Dados*, Salvador, v. 13, n. **Especial**, p. 467-480, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2a ed., 1980. Cap. 4, p. 102-125.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

ELESBON, A. A. A.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. da; OLIVEIRA, I. de C. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus – Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 3, p. 281-288, jul-set. 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2014. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/index.htm>>. Acesso em: 29 de ago. 2014, 23:36.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. Help online. Disponível em: <<http://resources.esri.com/arcgisdesktop/>>. Acesso em out de 2014.

FERNANDES, D. Inventário das Estações Fluviométricas, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, Divisão de Controle de Recursos Hídricos, SGAN Q. 603 N Mod. J, Brasília-DF-Brazil, CEP: 70830-030, 1987.

FERNANDES, L. C.; GUIMARAES, S. C. P. (coord.) Atlas Geoambiental de Rondônia. Secretaria de Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). Porto Velho: SEDAM. v.2 .2002. 73 p.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FONTES, S. B.; PEJON, O. J. Proposal of a geo-environmental zoning method based on Ottobasin compartmentalization. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v.67, p.555-563, 2008.

FÜRST, J.; HÖRHAN, T. Coding of watershed and river hierarchy to support GIS-based hydrological analyses at different scales. **Computers & Geosciences**, v.35, p.688-696, 2009.

GALVÃO, W. S., MENESES, P. R. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE. p. 2511-2518.

GERSTENECKER, C.; LÄUFER, G. L.; STEINECK, D.; TIEDE, C.; WROBEL, B. Validation of digital elevation models around Merapi Volcano, Java, Indonesia. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.5, p.863-876, 2005.

GOMES, C. R.; SILVA, B. M. B.; GUEDES, H. A. S.; LISBOA, L.; DEMETRIUS, D. S. Ottocodificação e extração das características físicas por meio de SIG da bacia do rio Capivari. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 27 de novembro a 01 de dezembro de 2011. Maceió - AL

GRAVELIUS, H. **Flusskunde: Grundriss der gesamten Gewässerkunde**. G. J. Goschenesche, Berlin, 1914.

GRDC. Global Runoff Data Center. Freshwater fluxes from continents into the world's oceans based on data of the Global Runoff Data Base. Report n. 10, Federal Institute of Hydrology, Koblenz, Germany, 1996.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin, v. 3, n. 56, p. 275-370, 1945.

IBIAPINA, A. V.; FERNANDES, D.; CARVALHO, D. C.; OLIVEIRA, E.; SILVA, M. C. M.; GUIMARÃES, V. S. Evolução da Hidrometria no Brasil. In: O Estado das Águas no Brasil – Perspectivas de Gestão e Informação de Recursos Hídricos. Parte 4 – Item 4.1. Ministério de Minas e Energia – MME, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Organização Meteorológica Mundial – OMM, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD. Brasília, Distrito Federal, 334 p, 1999.

JACOBI, P. **Políticas sociais e ampliação da cidadania**. São Paulo: FGV, 2000.

JACOBI, Pedro Roberto. Avanços na Gestão Compartilhada da Água no Brasil: Conflitos Sociais e Respostas Coletivas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE AMERICANISTAS, 53. SIMPOSIO: TENSIONES Y CONFLICTOS POR AGUA NA AMÉRICA LATINA. **Anais...** Cidade do México, 2009.

JACKSON, J. Hints on the subject of geographical arrangement and nomenclature. **Journal of the Royal Geographical Society**, v. 4, p. 72-88, 1984.

JENSON, S. K., DOMINGUE, J. O. **Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54 (11): 1593–1600, 1988.

LANNA, A. E. L. Aspectos institucionais do gerenciamento dos recursos Hídricos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces do Brasil**. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

MEDEIROS, L. C. Densidade de estabelecimentos agropecuários por bacia hidrográfica e o uso da terra. **Revista Mirante**, Goiânia - GO, v.1, p.1-12, 2007.

MORAIS, A. C. de.; SANTOS, A. R. dos. (Org.) **Geométrica e análise ambiental: aplicações praticas**. Vitória: EDUFES, 2007. cap. 1, p.19- 39.

MOURA, L. Z.; BIAS, E. de S.; BRITES, R. Avaliação da acurácia vertical de modelos digitais de elevação (MDE's) nas bacias do Paranoá e São Bartolomeu. **Revista Brasileira de Cartografia**. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto ISSN: 1808-0936, p. 1-14. Brasília, DF, Brasil, 2014.

NETTO, P. O. B. **Grafos: Teoria, Modelos e Algoritmos**. 4. ed. São Paulo, SP: Editora Edgard Blücher Ltda., 2006.

OLIVEIRA, C. G.; PARADELLA, W. R. An assessment of the altimetric information derived from spaceborne SAR (RADARSAT-1, SRTM3) and optical (ASTER) data for cartographic application in the Amazon region. **Sensors**, v.8, p.3819-3829, 2008.

OLIVEIRA, E. D.; CUNHA, M. C.; VESTENA, L. R. e THOMAZ, E. L. Aspectos Morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava – PR. In: V SimpGeo

(Simpósio Paranaense de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, UFPR, **Anais...**, Curitiba, 2010. 36-51 p.

PFAFSTETTER, Otto. **Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação**. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989. p. 19. Trabalho não publicado.

POLETO, L.G. C.; SILVA, C. H. C.; JR, S.R.; VIERA, C. A. O.; SANTOS, A.P. Validação de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC). II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, setembro de 2008.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HOD-NETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. **A new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia**. Remote Sensing of Environment, v.112, p.3469-3481, 2008.

RABUS, B.; Eineder, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. ISPRS **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v.57, n.4. p.241-262, 2003.

RUBERT, O. A. V. **Codificação automática de regiões hidrográficas utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. 2000. 67p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2000.

RUBERT, O. A. V.; FIGUEIREDO, L. C. C. Divisão Hidrográfica Nacional – Aplicação da Metodologia de Otto Pfafstetter. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14., 2001. Recife, Pernambuco. **Anais...** Recife: ABRH, 2001.

ROCHE, M. **Traitement automatique de données hydrométriques et des données pluviométriques au service hydrologique del'ORSTOM, Cahiers de l'ORSTOM: Serie Hydrologique**, v. V, n. 3, ORSTOM, 209 rue La Fayette, 75480 Paris, France, 1968.

SANTOS, P. R. A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L. C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.58, n.1. p.101-107, 2006.

SEABER, P., KAPINOS, F., KNAPP, G. Hydrologic Unit Maps. **USGS Water Supply Paper**, n. 2294, p. 63, 1987.

SILVA, P.A. Classificação e codificação de bacias hidrográficas brasileiras segundo o método Pfafstetter, com uso de geoprocessamento. In: ENCONTRO DE LAS AGUAS, 2, 1999, Montevideo. **Proceedings...** Montevideo, Uruguay: IICA, 1999.

SILVA, Natanael dos Santos et al. Sistema de otto-codificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas. **Rev. Árvore** [online]. vol.32, n.5, pp. 891- 897. ISSN 0100-6762, 2008.

SHREVE, R.L. Statistical law of stream numbers. **Journal of Geology**, v. 74, p. 17-37, 1966.

SOUZA, E. P. **Canal do Valo Grande: governança das águas estuarinas na perspectiva da aprendizagem social**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental / PROCAM da Universidade de São Paulo. 161 f, São Paulo, 2012.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology, **Geological Society of America Bulletin**, v. 11, n. 63, p. 1117-1142, 1952.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 6, n. 8, p. 913-920, 1957.

TEIXEIRA, Alexandre de Amorim. **Ottocodificação estendida e inteligência hidrográfica em banco de dados geográficos**. 2012. xi, 425 f., il. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) — Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

TONELLO, K. C; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. de; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões - MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade, UFRGS, ABRH, EDUSP, 1993. 943 p.

_____, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4). 1997.

VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2008. Cap. 3, p. 72-104.

_____. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003.

VERDIN, K. L. e VERDIN, J. P. A topological system for the delineation and codification of the Earth's river basins. **Journal of Hydrology**. 218, 1–12, 1999.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p. 1975.

ZHANG, L., WANG, G. Q., DAI, B. X, LI T.J. Classification and Codification Methods of Stream networks in a River Basin: A Review. **Environmental Informatics Archives**, v. 5, p. 364-372, 2007.