

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITACOATIARA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

JOÃO SERAFIM ALMEIDA DA COSTA JUNIOR

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA
SITUADA NO MUNICÍPIO DE SILVES, AM.**

**ITACOATIARA – AM
2017**

JOÃO SERAFIM ALMEIDA DA COSTA JUNIOR

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA
SITUADA NO MUNICÍPIO DE SILVES, AM.**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara – CESIT/UEA como requisito para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Professor Luís Antônio de Araújo Pinto, Dr.

Itacoatiara - AM, ____ de _____ de 2017.

A Banca examinadora aceita e recomenda o trabalho **APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA SITUADA NO MUNICÍPIO DE SILVES, AM**, submetido por **João Serafim Almeida da Costa Junior**, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Engenheiro Florestal pela Universidade do Estado do Amazonas - UEA.

Banca Examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio de Araújo Pinto

Dr. João Bosco Soares

Msc. Daniel Ferreira Campos

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e a minha família, por sempre estarem presentes, me apoiando e incentivando a trilhar esse caminho do conhecimento.

AGRADECIMENTO

Agradeço aos meus pais João Serafim Almeida da Costa e Divanete da Silva Figueira pelos ensinamentos e dedicação a família que sempre demonstraram, me prepararam o caminho que eu trilhei, por isso dedico essa conquista a vocês.

Aos demais membros da minha família por todo carinho e apoio durante estes longos anos, pois sempre estavam presentes na minha caminhada, apoiando da melhor maneira possível, agradeço a Deus pela família que possuo.

Aos Professores do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara que estiveram presentes ao longo da minha vida acadêmica, transmitiram conhecimento possibilitando a minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Aos colegas e amigos da graduação e da turma 10 que tive o prazer de compartilhar momentos únicos que guardarei na memória eternamente. Em especial aos amigos que fiz ao longo desses 5 anos, que com toda a certeza, aprendi muito com eles; Abacaé: Raildo Torquato, Lennon Simões Azevedo, Francisco Alves da Silva, Alexandre Duarte da Costa Garcia. Luana de Fátima Baraúna Pereira, Laís Garcia Mineiro, José Carlos Rodrigues, Adrienne Amaral, Andressa Vitória Barbosa e ao amigo Cleiton de Oliveira Simão (*in memoriam*).

A minha namorada Bárbara Katarine da Silva de Castro pelo companheirismo e momentos únicos que vivemos juntos. Sempre ali me apoiando em momentos felizes e difíceis pelos quais passamos, tudo o que vivemos foi para alcançar o objetivo que traçamos.

"O insucesso é apenas uma oportunidade
para recomeçar com mais inteligência. "

Henry Ford.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo caracterizar a morfometria da bacia hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani, situado no município de Silves. Foram utilizados, para tanto, dados do projeto Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) integrados e processados em Sistema de Informações Geográficas (SIG). O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi processado utilizando-se a ferramenta TauDEM, um complemento do software QuantumGIS (QGIS) 2.18 de livre acesso. Assim, foram extraídos dados do modelo SRTM permitindo a delimitação automática da bacia. Com base no Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC), os processos hidrológicos superficiais foram recriados, obtendo-se assim diferentes características físicas, como: área da bacia, perímetro, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, declividade, altitude, densidade de drenagem e ordem dos cursos d'água. Posteriormente, como resultado obteve-se a extração dos seguintes parâmetros morfométricos, área (624,76 km²), perímetro (216,54 km), hierarquia fluvial (6^a ordem), índice de compacidade (2,43), índice de circularidade (0,17), fator de forma (0,32), altitude média (81,45 m), amplitude altimétrica (135 m) e densidade de drenagem (1,54 km/km²). A utilização do QGIS no desenvolvimento deste trabalho juntamente com o complemento TauDEM mostrou-se uma ferramenta eficiente na manipulação dos dados extraídos do modelo SRTM, possibilitando assim a simulação dos parâmetros físicos da bacia. Além disso, é uma alternativa viável de obtenção de dados com minimização de custos e tempo.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica. Parâmetros morfométricos. Modelo de elevação.

ABSTRACT

The objective of this work was to characterize the morphometry of the basin of the rivers Itabani and Sanabani, located in the municipality of Silves. Were used for both, the project data Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) integrated and processed in the Geographical Information System (GIS). The Digital Elevation Model (DEM) was processed using the tool TauDEM, a complement of QuantumGIS software (QGIS) 2.18 of free access. Thus, data were extracted from the srtm model allowing the automatic delineation of the basin. Based on Digital Elevation Model Hidrograficamente conditioning (DEMHC), the surface hydrological processes have been recreated, thus obtaining - different physical characteristics, such as: the basin area, perimeter, coefficient of compactness, form factor, index of circularity, slope, altitude, density of drainage and order of watercourses. Later, as a result we obtained the following extraction of the morphometric parameters, Area (624.76 km²), perimeter (216.54 Km), fluvial hierarchy (6th order), compactness index (2.43), index of circularity (0.17), form factor (0.32), average altitude (81.45 m), altimetric amplitud (135 m) and drainage density (1.54 km/km²). The use of qgis in the development of this work together with the complement TauDEM proved to be an efficient tool in the manipulation of data extracted from SRTM model, thus enabling the simulation of physical parameters of the basin. In addition, it is a viable alternative for obtaining data with minimizing costs and time.

Keywords: watershed. Morphometric parameters. Elevation model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica dos Rios Itabani e Sanabani.....	19
Figura 2. Principais etapas realizadas para delimitação da bacia hidrográfica a partir de dados SRTM.	21
Figura 3. Correção de erros do tipo "vazio" por meio da execução da função "Pit remove" ..	21
Figura 4. Exemplo de execução da função "Flow direction".	22
Figura 5. Exemplo de determinação do fluxo acumulado	22
Figura 6. Correção dos vazios encontrados no modelo SRTM por meio da execução da função "Pit remove".	27
Figura 7. Mapa de direção de fluxo. Ferramenta "D8 Flow Direction".....	28
Figura 8. Mapa de fluxo acumulado.....	30
Figura 9. Mapa de delimitação e segmentação da drenagem da bacia.	31
Figura 10. Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani	32
Figura 11. Rede de drenagem ordenada da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani .	35
Figura 12. Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani.	36
Figura 13. Mapa de declividade com uma reclassificação de cores da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani.....	37
Figura 14. Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani	38
Figura 15. Curva hipsométrica da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Silves.....	34
Tabela 2. Distribuição das classes de declividade da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani.....	36
Tabela 3. Área das curvas de níveis obtidas através do mapa hipsométrico.	39

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA.....	16
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UMA UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	16
3.4 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
4.2 DELIMITAÇÃO DA BACIA E OBTENÇÃO DO MDEHC.....	20
4.3 MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA	24
4.3.1 Coeficiente de compacidade (Kc).....	24
4.3.2 Fator de Forma (Kf).....	24
4.3.3 Índice de circularidade (Ic).....	25
4.3.4 Declividade e Altitude.....	25
4.3.5 Ordem.....	25
4.3.6 Densidade de drenagem (Dd).....	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.1 DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DA BACIA	27
5.1.1 Correção do MDE.....	27
5.1.2 Direção de fluxo	28
5.1.3 Fluxo acumulado	29
5.1.4 Delimitação da Bacia	30
5.2 MORFOMETRIA	33
5.2.1 Índice de Circularidade (Ic).....	33
5.2.2 Fator de Forma (Kf).....	33
5.2.3 Coeficiente de compacidade (Kc).....	33
5.2.4 Densidade de drenagem (Dd).....	33
5.2.5 Ordens da bacia	35
5.2.6 Declividade da bacia.....	36
5.2.7 Mapa hipsométrico e Curva hipsométrica.....	37

CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica apresenta grande biodiversidade e uma extensa área de cobertura vegetal que se destaca mundialmente. Favorecendo assim uma grande disponibilidade de recursos hídricos na região norte do país. Sabe-se que o sistema hidrológico influencia diretamente o sistema terrestre em diferentes vertentes, bem como na manutenção da vida no planeta terra. O estudo de bacias hidrográficas é um importante recurso de planejamento e caracterização da dinâmica de um sistema fluvial.

Tonello et al. (2006) comentam que destacar as características físicas e bióticas de uma bacia são importantes, pois estes exercem papel fundamental nos processos do ciclo hidrológico, influenciando a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e o escoamento superficial e subsuperficial. Ao fazer a caracterização física da bacia, um dos primeiros passos a ser executado é a sua delimitação.

A delimitação de uma bacia hidrográfica corresponde à fixação de pontos por meio de uma linha imaginária correlacionada com informações de relevo, esse procedimento é um dos primeiros a ser tomado em análises hidrológicas (Cardoso et al., 2006). De acordo com Oliveira et al. (2010), no desenvolvimento de estudos ambientais, é fundamental a análise das características morfométricas de bacias hidrográficas.

Nesse sentido, a caracterização morfométrica possibilita a obtenção de dados quantitativos, que distinguem áreas homogêneas dentro de uma bacia hidrográfica, alguns parâmetros são: densidade hidrográfica, densidade de drenagem, gradiente de canais, índice de sinuosidade, entre outros (LANA; ALVES e CASTRO, 2001). Estes parâmetros fornecem informações específicas do local, revelando e qualificando as alterações ambientais. Utiliza-se esse método para extrair os índices que expressam, empírica ou fisicamente, um determinado atributo ou grandeza do relevo (BRUBACHER; OLIVEIRA e GUASSELLI, 2011).

Com o intuito de tornar o estudo nessa área possível com menor tempo e o custo de pesquisa reduzido, utilizam-se as técnicas de geoprocessamento, a qual fornece informações que facilitam a modelagem da bacia. Segundo Lisboa et al. (2015), a maioria dos dados sobre recursos hídricos necessita de um sistema de informação geográfica para que seja possível uma melhor visualização e manipulação, e é possível determinar as características morfométricas de uma bacia hidrográfica a partir da utilização dos Modelos Digitais de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC), gerando resultados de grande eficiência e confiabilidade dos processos.

Levando-se em consideração esses aspectos, a bacia hidrográfica é um fator determinante no planejamento e gestão dos recursos hídricos, uma vez que há uma grande demanda e uma disponibilidade limitada da água. Em consequência disso, a caracterização física se mostra necessária, pois esta influência no processo do ciclo hidrológico, bem como na quantidade e qualidade da água. Assim, esses parâmetros avaliados mostram informações acerca das mudanças do uso e ocupação do território, e apresentam informações antes desconhecidas do local, buscando entender o processo de mudanças e prevendo alterações futuras, com fins conservacionistas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Caracterizar a morfometria da bacia hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani, Silves, AM.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar automaticamente a bacia hidrográfica;
- Elaborar um Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC);

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

O conceito de bacia hidrográfica pode ser definido por uma seção de captação natural de água proveniente de chuva, que converge os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório. A bacia é constituída por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada pelos cursos da água que confluem até chegar a um leito único no ponto de saída (FINKLER, 2012). A delimitação natural ocorre por divisores topográficos que se dá por uma superfície topográfica da área.

Seu sistema hidrológico é de fundamental importância para o sistema terrestre, influenciando diretamente o ciclo de carbono e o clima global (PAIVA, 2013). Além disso, possui uma complexa rede hidrográfica, a qual se dá por uma densa área de drenagem formada por rios, lagos e igarapés com variabilidade de sua extensão, largura e volume de água transportada, representando cerca de 60% de toda água disponível do País (BRASIL, 2006) e 20% de toda água doce da terra (SANTOS, 2005).

A gestão dos recursos hídricos depende diretamente de um planejamento eficaz com base nos dados da bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é também denominada de bacia de captação quando atua como coletora das águas pluviais, ou bacia de drenagem quando atua como uma área que está sendo drenada pelos cursos d'água (SILVA, 1995).

As formas das bacias influenciam no comportamento da enchente e o seu formato apresenta-se de forma circular e alongada. A bacia arredondada apresenta uma maior tendência de promover a enxurrada do que as que são mais alongadas, pois produzem maior distribuição da enxurrada ao longo do canal principal, amenizando, portanto, as vazões (ANTONELI e THOMAZ, 2007).

3.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UMA UNIDADE DE PLANEJAMENTO

A importância da Bacia Hidrográfica como unidade de gestão e planejamento advém da sua capacidade de distinguir diversos objetivos, tais como o desenvolvimento econômico, a equidade social, econômica e ambiental e, a sustentabilidade ambiental. Ampliando sua visão apenas territorial passando a ser um espaço em que as relações físicas e humanas podem ser interpretadas.

Para que a utilização da bacia ocorra de maneira racional deve-se levar em consideração os seus aspectos econômicos, sociais, políticos, culturais, ambientais e jurídicos. Seguindo esses aspectos irá estabelecer melhorias quanto a demanda da água, dessa forma contribui para o desenvolvimento regional e mantém o equilíbrio com o meio ambiente (ANDREOLLI, 2003).

Cada bacia possui condições específicas de clima, relevo, vegetação, etc., que determinam as condições do ciclo da água. Por sua vez, a gestão de uma bacia hidrográfica é parte de um conceito mais amplo que se denomina de ordenação ambiental do território e que inclui todos os elementos de manejo dos ecossistemas em uma visão integral para o desenvolvimento sustentável.

Para realizar esta prática de manejo, com o propósito de incrementar a produção de água, o engenheiro florestal lança mão dos resultados obtidos em pesquisas em hidrologia florestal, pesquisas estas realizadas em microbacias experimentais. Por outro lado, em muitos países a crescente demanda por alimentos, madeira e fibras exerce constante e significativa pressão sobre os recursos naturais destas bacias hidrográficas municipais, o que levou ao reconhecimento de que a produção de água não pode ser, necessariamente, a única função de uma bacia hidrográfica municipal.

A Lei nº 9.433 estabelece alguns critérios para se estabelecer um manejo de bacias hidrográficas, estabelecendo a preservação e contempla alguns parâmetros, como o objetivo, inventário, análise, proposições, planos, execução e monitoramento.

3.3 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO HIDROGRAFICAMENTE CONDICIONADO (MDEHC)

As características físicas e bióticas de uma bacia exercem importante papel nos processos do ciclo hidrológico influenciando, principalmente a infiltração, quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e o escoamento superficial e sub superficial (Tonello et al., 2006). Com a aquisição de modelos digitais de elevação (MDE) permitiu o processamento e extração de dados que permitem as análises morfométricas em bacias hidrográficas.

O MDE apresenta imperfeições quando se trata de análises hidrológicas, por esse motivo é necessário passar por um processo de remoção de vazios presentes. Permite que possa ser feito as delimitações automáticas das bacias com maior precisão, pois consideram

os dados altimétricos do terreno em suas etapas de processamento, estando isentos de sumidouros (depressões espúrias) que bloqueiem o trajeto do escoamento superficial. Assim, permiti a obtenção da rede de drenagem.

3.4 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

O estudo morfométrico de bacias hidrográficas é definido como a análise quantitativa das relações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica. A análise de parâmetros morfométricos tem grande importância nos estudos de bacias hidrográficas pois, através da abordagem quantitativa, pode-se ter uma melhor noção do comportamento hidrológico, uma vez que, os parâmetros morfométricos são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (NUNES, 2006).

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (Cardoso et al., 2006).

Segundo Antonelli e Thomaz (2007), a combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais. Destaca-se também sua importância nos estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas. A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão.

São informações referenciadas no tempo e espacialmente localizadas que permitem o acompanhamento dinâmico da realidade a partir da sua integração. Neste contexto, a análise morfométrica corresponde a um conjunto de procedimentos que caracterizam aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais, servindo como indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e a interação entre as vertentes e a rede de canais fluviais de uma bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980), que por sua vez evidenciam situações e valores que extrapolam as questões hidrológicas e geomorfológicas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área objeto de estudo compreende a bacia dos rios Itabani e Sanabani, localizada entre as coordenadas geográficas $02^{\circ}50'12.33''$ de latitude Sul e $58^{\circ}12'33''$ de longitude a Oeste. Localiza-se no município de Silves, AM que está a 198 km em linha reta da capital Manaus. Com uma população de aproximadamente 9.147 habitantes (IBGE, 2016). A localização espacial da bacia hidrográfica está representada na Figura 1.

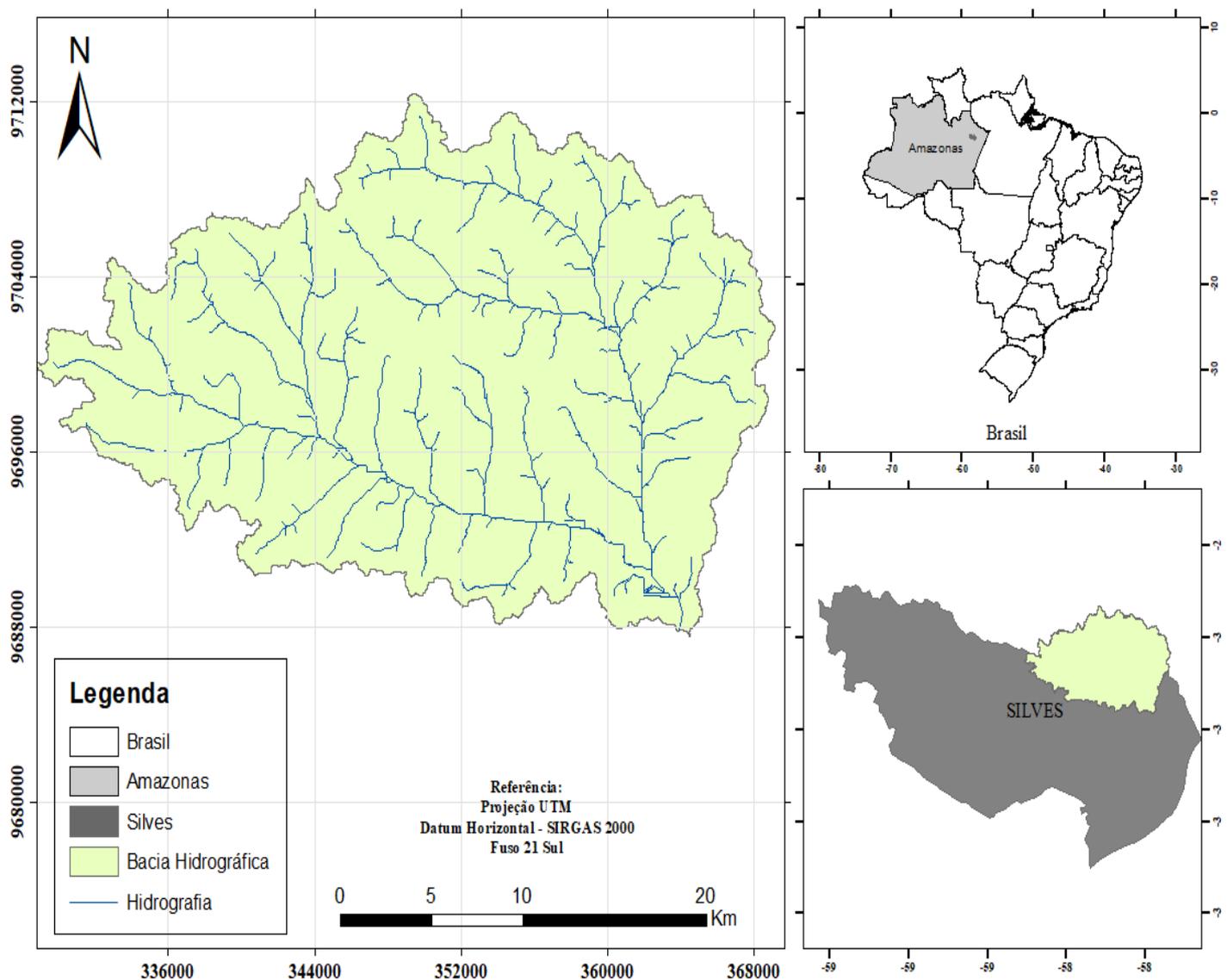


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica dos Rios Itabani e Sanabani no município de Silves - AM.

4.2 DELIMITAÇÃO DA BACIA E OBTENÇÃO DO MDEHC

Para obtenção das características físicas foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE). O modelo utilizado no estudo foi obtido por meio da missão SRTM - Shuttle Radar Topography Mission - disponibilizado pelo projeto Topodata (www.dsr.br/topodata). Os produtos desse projeto são derivados do processamento que altera sua resolução espacial original do grid, de 90 metros no terreno, para as imagens resultantes com pixel para 30 metros, utilizando o método de Krigagem e técnicas de geoestatística (VALERIANO e ROSSETTI, 2010).

Para que fosse atendido todo o território da bacia, foram descarregadas as cenas 02S585 e 03S585. O software utilizado para a extração da rede de drenagem e delimitação da bacia foi o QuantumGIS (QGIS) 2.18, um sistema de informação geográfica (SIG) de livre acesso, disponível no site www.qgis.org. De posse das cenas, estas foram unidas em uma imagem única, formando um mosaico, pois a área correspondente encontrava-se na divisão das duas, após o que, ocorreu a redução do tamanho do mosaico por meio de um recorte abrangente de toda a área de drenagem da bacia. Esse procedimento foi necessário a fim de aperfeiçoar os processos de tratamento do MDE em SIG, uma vez que a base de dados associada ao mesmo tornar-se-á mais leve para processamentos posteriores. A partir do resultado obtido com o mosaico, far-se-á a conversão do sistema de coordenadas geográficas para o sistema de coordenadas planas.

Após o recorte do MDE apenas com a área de estudo, ocorreu o processamento com a extensão TauDEM – *Terrain Analysis Using Digital Elevation Model* (hydrology.esu/taudem), que é um conjunto de ferramentas para construção de análises hidrológicas com base no Modelo Digital de Elevação (MDE). Essa ferramenta permitiu realizar a delimitação automática da bacia.

Para se obter o MDEHC, foi necessário identificar e eliminar as depressões espúrias do MDE, dessa forma as células que se encontravam cercadas por outras com maiores valores de elevação foram eliminadas, esse processamento permitiu simular os processos hidrológicos na região. Ocorreu o preenchimento de depressões espúrias, o que levou a formação de uma nova direção de escoamento e um novo fluxo acumulado, feito isto, pôde-se considerar que o MDE está hidrograficamente condicionado. Com base na metodologia utilizada por Nicolete et al. (2015) que consistiu em obter o divisor topográfico da bacia utilizando o QGIS, seguiu-se os seguintes passos (Figura 2):

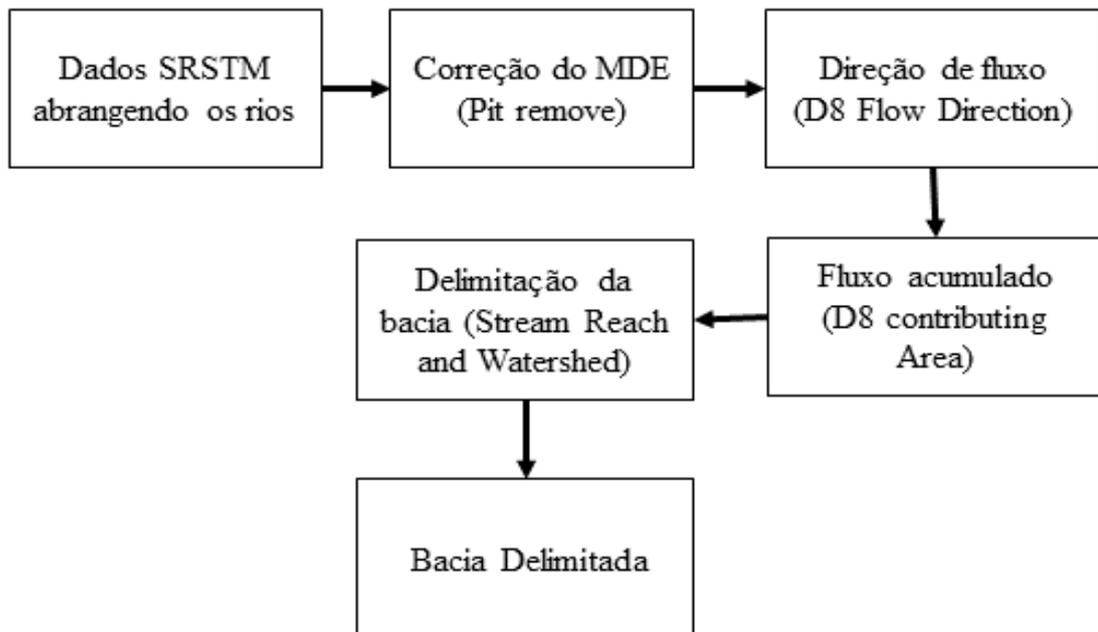


Figura 2. Principais etapas realizadas para delimitação da bacia hidrográfica a partir de dados SRTM.

(1) Correção do MDE para a remoção de pixels que poderiam comprometer a continuidade do fluxo da água - ferramenta Pit remove;

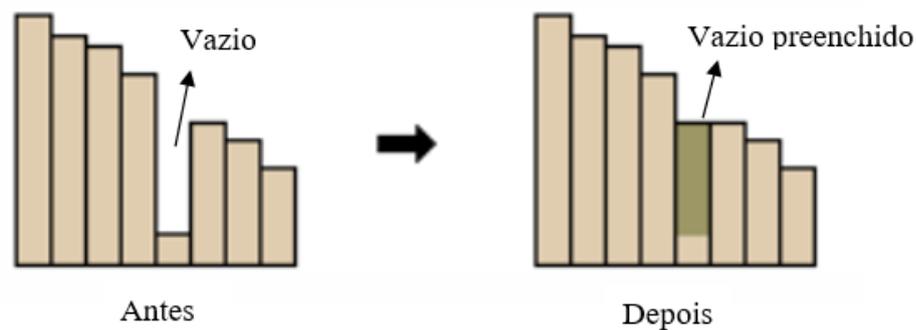


Figura 3. Correção de erros do tipo "vazio" por meio da execução da função "Pit remove". Fonte: Adaptado de ESRI (2017).

(2) Determinação da direção preferencial do fluxo na superfície - ferramenta D8 Flow Direction, a qual define o fluxo, pixel a pixel em apenas uma direção dentro de oito possíveis caminhos em relação aos pixels vizinhos;

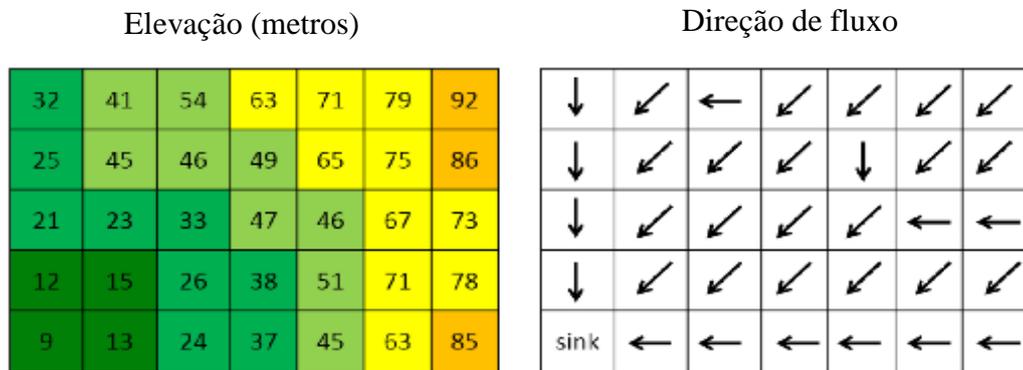


Figura 4. Exemplo de execução da função " D8 Flow direction". Fonte: Adaptado de ESRI (2017).

(3) Obtenção do fluxo acumulado na superfície – ferramenta D8 Contributing Area, que consiste na representação da linha composta pelos pixels selecionados na etapa anterior e nesta etapa já é possível definir o exutório da bacia, obtendo em seguida a área de contribuição a montante desse ponto;

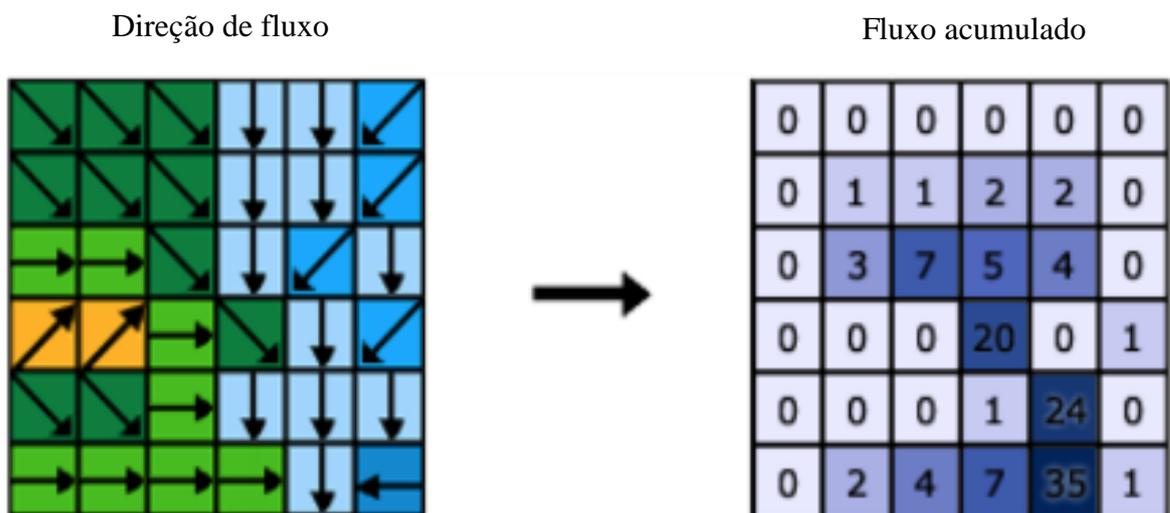


Figura 5. Exemplo de determinação do fluxo acumulado. Fonte: Adaptado de ESRI (2017).

(4) obtenção da bacia em formato raster – ferramenta Stream Reach and Watershed, neste será possível obter a extração da rede de drenagem numérica para a área de estudo. A bacia deverá passar pelo processo de vetorização, pois estará no formato raster. A partir desse procedimento, serão realizados os cálculos de área e perímetro.

O processo envolveu algoritmos que necessitaram dos resultados anteriores descritos, na qual necessita preencher todos os campos, informando assim o raster "D8 ContributingArea", no campo "Threshold", a limiar com valor 100 para a criação de drenagens densas, e em sequência, no campo "StreamRaster Grid", especificado o nome e o local de saída, formando o raster "StreamDefinition".

Para determinar o exutório da bacia que representa o ponto de escoamento, foi escolhido um ponto para gerar o final da bacia, para que dessa forma só apareça dentro da delimitação rios pertencentes a mesma. No Qgis é preciso criar um vetor em formato de ponto que represente a saída, acessando o menu "camada" – "criar nova camada" – "shapefile", seleciona a opção "ponto", selecionou-se o sistema de coordenadas do projeto para gerar uma nova camada vetorial.

Com o ponto criado foi implementado na camada raster. No menu ferramentas, foi utilizado a opção "Alternar Edição" para ter acesso à edição de feições. Foi aproximado a visualização para a área escolhida para o desligamento da bacia, com a ferramenta "Adicionar Feição", foi marcado o ponto no curso do rio, marcado zero no número de "id", assim determinando o final da bacia escolhida para o estudo.

Logo após definido o exutório da bacia foi usado a ferramenta "D8 ContributingArea", mas nessa segundo procedimento foi informado o raster de direção de fluxo no item "D8 FlowDirection Grid", no campo "OutletsShapefile", foi selecionado o ponto de exutório criado no processo anterior e no campo "D8 ContributingDirection Grid", indicado um local para gerar o arquivo. Na sequência é usado novamente o Algoritmo "StreamDefinitionbyThreshold", para gerar a rede de drenagem na área da bacia: No campo "AccumulatedStreamSource Grid", foi informado o raster "D8 ContributingArea", no campo "Threshold", estabelecido o limiar com valor 200 para a criação de uma drenagem média, no campo "StreamRaster Grid", especificado o nome e o local de saída para o arquivo.

Para o processo de delimitação da bacia foi utilizada a rede drenagem em formato raster e esta teve que passar por um processo de transformação para vetor em formato de shapefile, dessa forma obteve-se a delimitação e tamanho do rio e valores de entrada.

Desta forma, para cada valor de entrada foi informado as saídas, gerando no final do processo os mapas que continham dados, arquivos vetoriais que forneceram informações numéricas. Assim, foi gerado um mapa em formato raster que representa a hierarquia dos rios; no campo "Watershed Grid", raster que representa as microbacias; no campo "StreamReachShapefile", representa a rede de drenagem; no campo "Network Coordinates", coordenadas XYZ dos vértices da drenagem. A partir desse processo se adquire a hierarquia

do rio e dados de comprimento dos rios, área e perímetros da bacia hidrográfica e consequentemente o perímetro da bacia, e as ordens da hierarquia do rio.

4.3 MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA

Com base no MDEHC, os processos hidrológicos superficiais foram recriados, obtendo-se assim diferentes características físicas, como: área da bacia, perímetro, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, declividade, altitude, densidade de drenagem e ordem dos cursos d'água.

4.3.1 Coeficiente de compacidade (Kc)

Coeficiente compacidade ou índice de Gravelius (Kc) – é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. O coeficiente apresenta um número adimensional que varia com a forma da bacia. Assim, quanto maior a irregularidade da bacia maior será o seu o coeficiente de compacidade. Esse coeficiente resultante é superior a 1 e quanto mais próximo desse valor maior a tendência para enchentes (VILLELA e MATTOS, 1975). Isso será calculado a partir da seguinte equação:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

A = área da bacia (km²);

P = perímetro da bacia (km).

4.3.2 Fator de Forma (Kf)

Fator de forma (Kf) – é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Uma bacia com um fator de forma baixa encontra-se menos suscetível a enchentes que outra de um mesmo tamanho, porém com fator de forma maior (VILLELA e MATTOS, 1975). Esse fator de forma é dado pela seguinte equação:

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo:

F = fator de forma, adimensional;

A = área de drenagem, (km²);

L = comprimento do eixo da bacia, (km).

4.3.3 Índice de circularidade (Ic)

Índice de circularidade (Ic) – tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada. Será utilizada a seguinte equação:

$$Ic = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (\text{Eq.3})$$

Sendo:

Ic = índice de circularidade;

A = área de drenagem (m²);

P = perímetro (m).

4.3.4 Declividade e Altitude

Para gerar o mapa de declividade e da altitude foi utilizado o MDEHC. Utilizou-se a classificação da EMBRAPA (2006) para determinar as classes de declividade da bacia.

4.3.5 Ordem

Cada linha de drenagem pode ser categorizada de acordo com sua posição (ordem ou magnitude) dentro da bacia. Utilizou-se a classificação de Strahler (1957), na qual os canais sem tributários são designados de primeira ordem e as linhas de 2ª ordem são formadas pela junção de 2 linhas de 1ª ordem, as linhas de 3ª ordem são formadas pela junção de 2 linhas de 2ª ordem e assim sucessivamente.

4.3.6 Densidade de drenagem (Dd)

O índice Densidade de drenagem (Dd) – é expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e a sua área total. Essa densidade de drenagem varia

inversamente com a extensão do escoamento superficial, fornecendo informações sobre a densidade de drenagem. Foi utilizada a seguinte equação:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (\text{Eq.4})$$

Sendo:

Dd= Densidade de drenagem;

L = comprimento total de todos os canais (Km);

A = área de drenagem (km²).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DA BACIA

5.1.1 Correção do MDE

Os resultados obtidos durante o geoprocessamento do MDE utilizando a extensão TauDEM, possibilitou a obtenção do limite da bacia e dos rios. A matriz passou por uma série de tratamentos de dados. A etapa da correção está ilustrada na figura 2 que apresenta o modelo SRTM com as depressões que são consideradas empecilhos ao escoamento durante a aplicação de modelos hidrológicos, utilizou-se então a ferramenta "Pit remove" que elimina os pixels que possuem valor de elevação muito abaixo das cotas que encontrasse ao seu redor. Esta função preenche estas áreas de sumidouro, que ocasionam a retenção do fluxo nesta célula. Conforme a figura 2, é possível analisar a correção que foi executada levando em consideração as altitudes dos "pixels" adjacentes para preencher esses vazios encontrados nos dados SRTM.

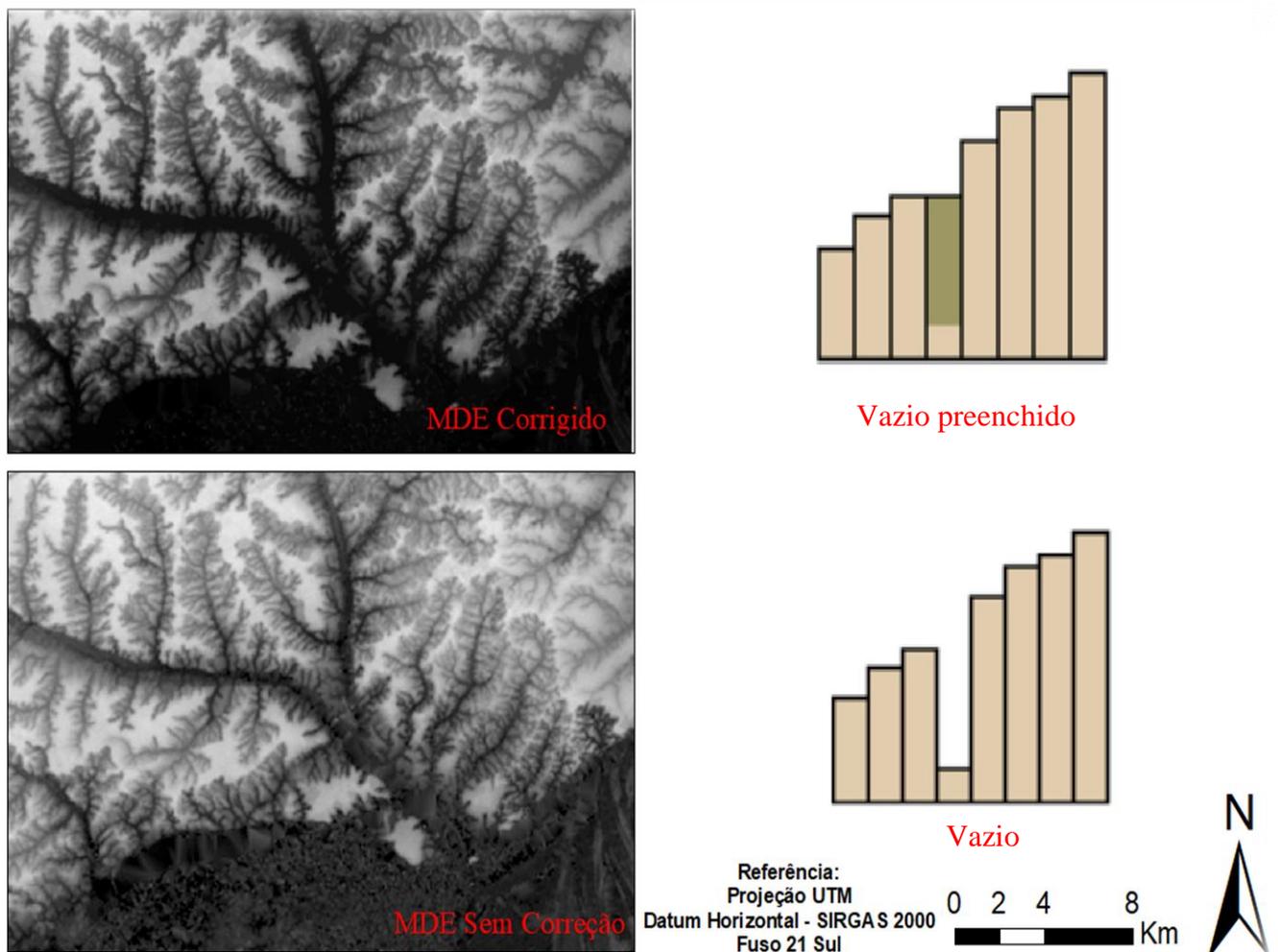
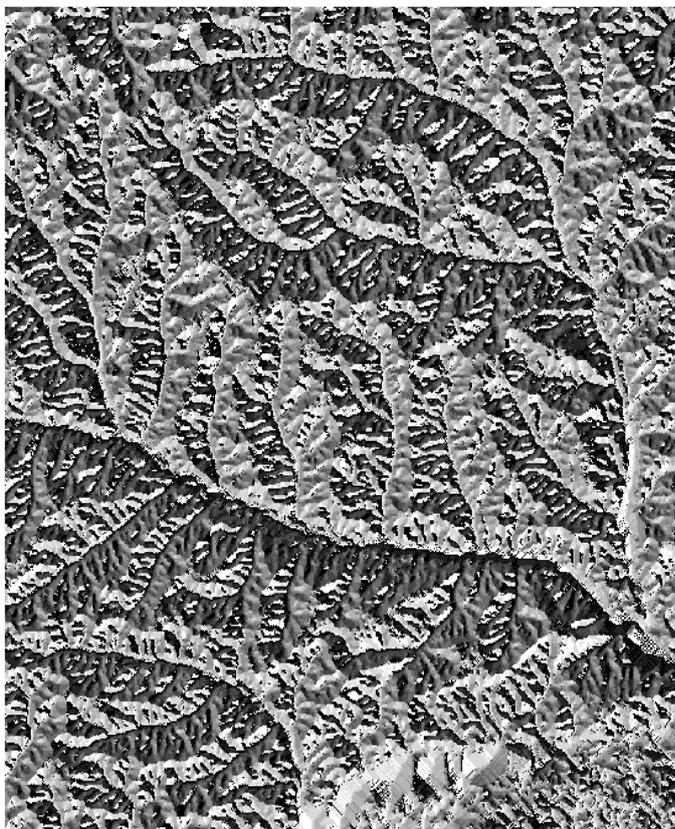


Figura 6. Correção dos vazios encontrados no modelo SRTM por meio da execução da função "Pit remove".

5.1.2 Direção de fluxo

O mapa da figura 3 indica o procedimento que define o fluxo em apenas uma direção, considerando oito pixels (D8). Esta ferramenta "D8 Flow Direction" determina para cada célula da grade a direção de fluxo levando em consideração a maior declividade entre a célula central e as circunvizinhas (determinístico de oito células vizinhas). São atribuídas em áreas planas mais afastadas de um lugar mais alto em direção a um mais baixo, assim utiliza-se o método de Garbrecht & Martz (1997). Resultando em um arquivo raster que carrega códigos de identificação do sentido de drenagem. A reclassificação final tem como resultado oito classes: Leste (E), Leste – Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SW), Oeste (W), Noroeste (NW), Norte (N), Nordeste (NE).



32	41	54	63	71	79	92
25	45	46	49	65	75	86
21	23	33	47	46	67	73
12	15	26	38	51	71	78
9	13	24	37	45	63	85

↓	↘	←	↙	↘	↘	↘
↓	↘	↘	↘	↓	↘	↘
↓	↘	↘	↘	↘	←	←
↓	↘	↘	↘	↘	↘	↘
sink	←	←	←	←	←	←

Referência:
Projeção UTM
Datum Horizontal - SIRGAS 2000
Fuso 21 Sul



Legenda	
Direção de Fluxo	
■	1 - E
■	2 - SE
■	3 - S
■	4 - SW
■	5 - W
■	6 - NW
■	7 - N
■	8 - NE



Figura 7. Mapa de direção de fluxo. Ferramenta "D8 Flow Direction".

5.1.3 Fluxo acumulado

Conforme o Mapa de direção de fluxo (Figura 03) que possui como resultado o arquivo que identifica a direção de escoamento, foi possível calcular o número de pixels localizados no montante de cada célula, por meio da ferramenta "D8 contributing Area", obtendo – se assim o fluxo acumulado.

O fluxo acumulado representa a rede hidrográfica (Figura 4), esta que por sua vez é representada pela área de contribuição do montante das linhas compostas pelos pixels (MENDES & CIRILO, 2001). Uma nova grade gerada carrega os valores de acúmulo de água em cada pixel, recebendo assim, um valor que corresponde ao número do código que contribuem para que fluxo de água chegue até ele. A partir desse resultado simultaneamente foi adicionado um vetor em formato de ponto que atua respectivamente como o exutório da bacia, conforme mostra a figura 4.

Um problema encontrado no processo da ferramenta "D8 contributing Area", foi com relação ao não reconhecimento do rio Itabani, que não reconhecia o pixel para ligar com o rio principal. Então, foi necessário reclassificar o MDE, assim atribuir valores zeros para pixels vazios e utilizar novamente a ferramenta "Pit remove". Isso resultou no mapa de fluxo acumulado (Figura 4).

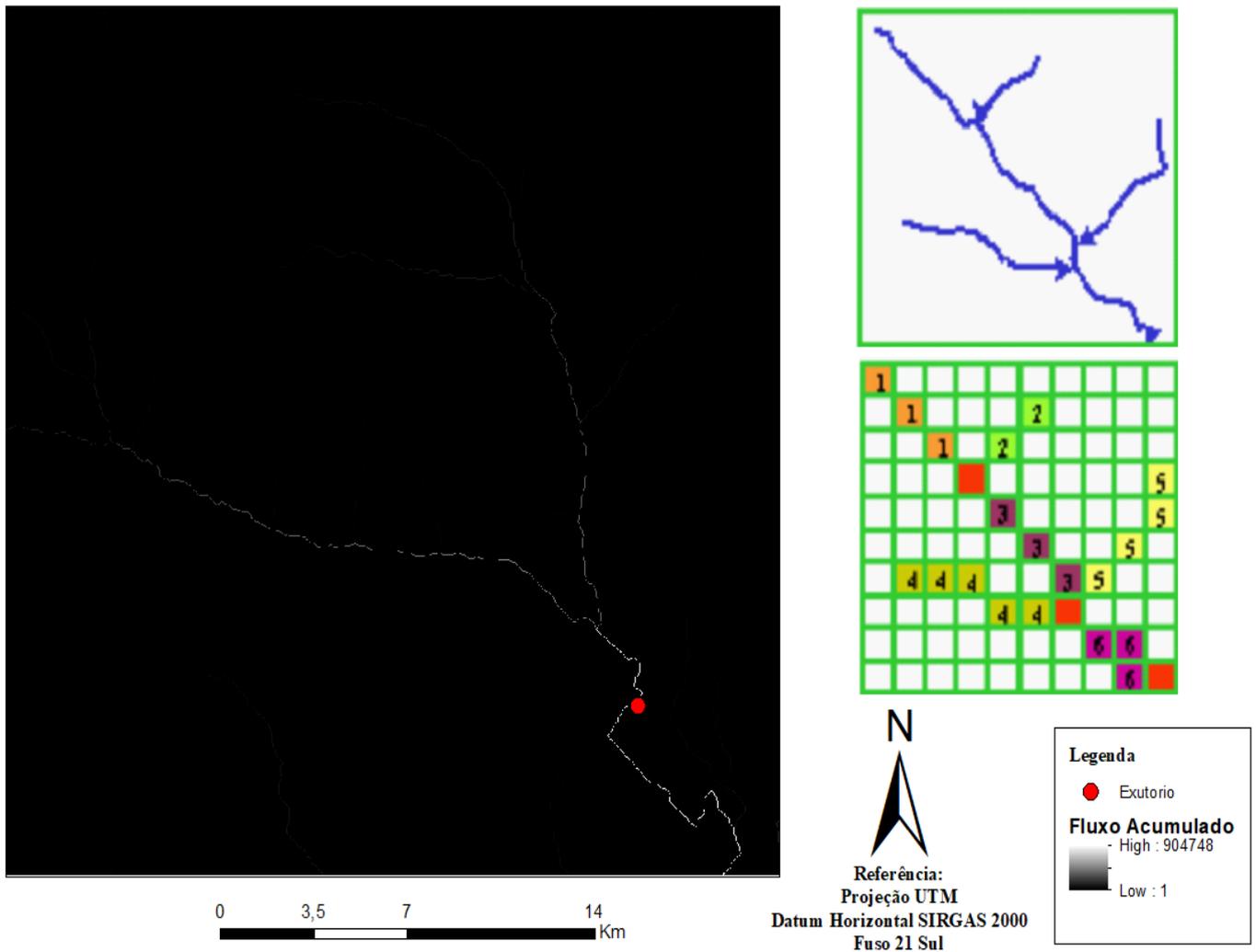


Figura 8. Mapa de fluxo acumulado.

5.1.4 Delimitação da Bacia

A partir do processo de obtenção do fluxo acumulado (Figura 4) foi possível obter a rede de drenagem por meio da ferramenta "Stream Reach and Watershed" que fornece um mapa da malha de drenagem, que é por meio desta que se adquire a bacia delimitada automaticamente (Figura 5).

O resultado obtido do arquivo é em formato raster, dessa forma a bacia delimitada considera que qualquer escoamento partindo de um pixel do MDE, na qual corresponde com as direções de fluxo até o exutório.

A figura 5, mostra o limite por meio de uma linha imaginária pelos pontos mais elevados que foram encontrados no MDE que fica mais perceptível no modelo de curva de nível (Figura 6). O divisor de água fica em destaque possibilitando assim avaliar o resultado e desmarcar as partes restantes do modelo que não foram necessárias para o presente estudo.

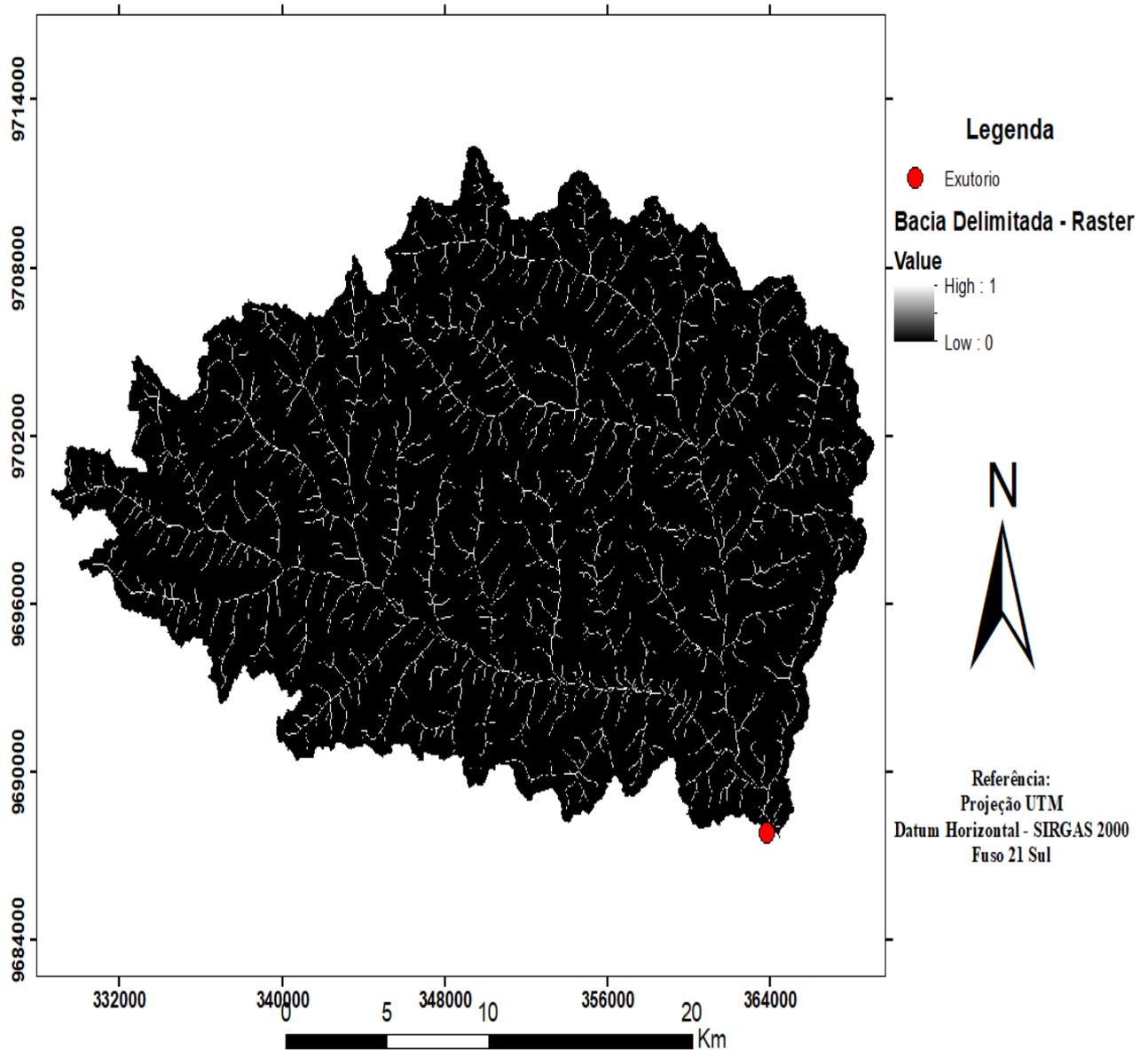


Figura 9. Mapa de delimitação e segmentação da drenagem da bacia.

A figura 6 apresenta a bacia hidrográfica delimitada em formato de vetor que foi preciso ser extraída a partir do resultado da figura 5 que se encontrava em formato raster. A partir do mapa da figura 6 foi possível extrair dados automáticos da área e perímetro da bacia, então foram utilizadas as equações que foram descritas na metodologia.

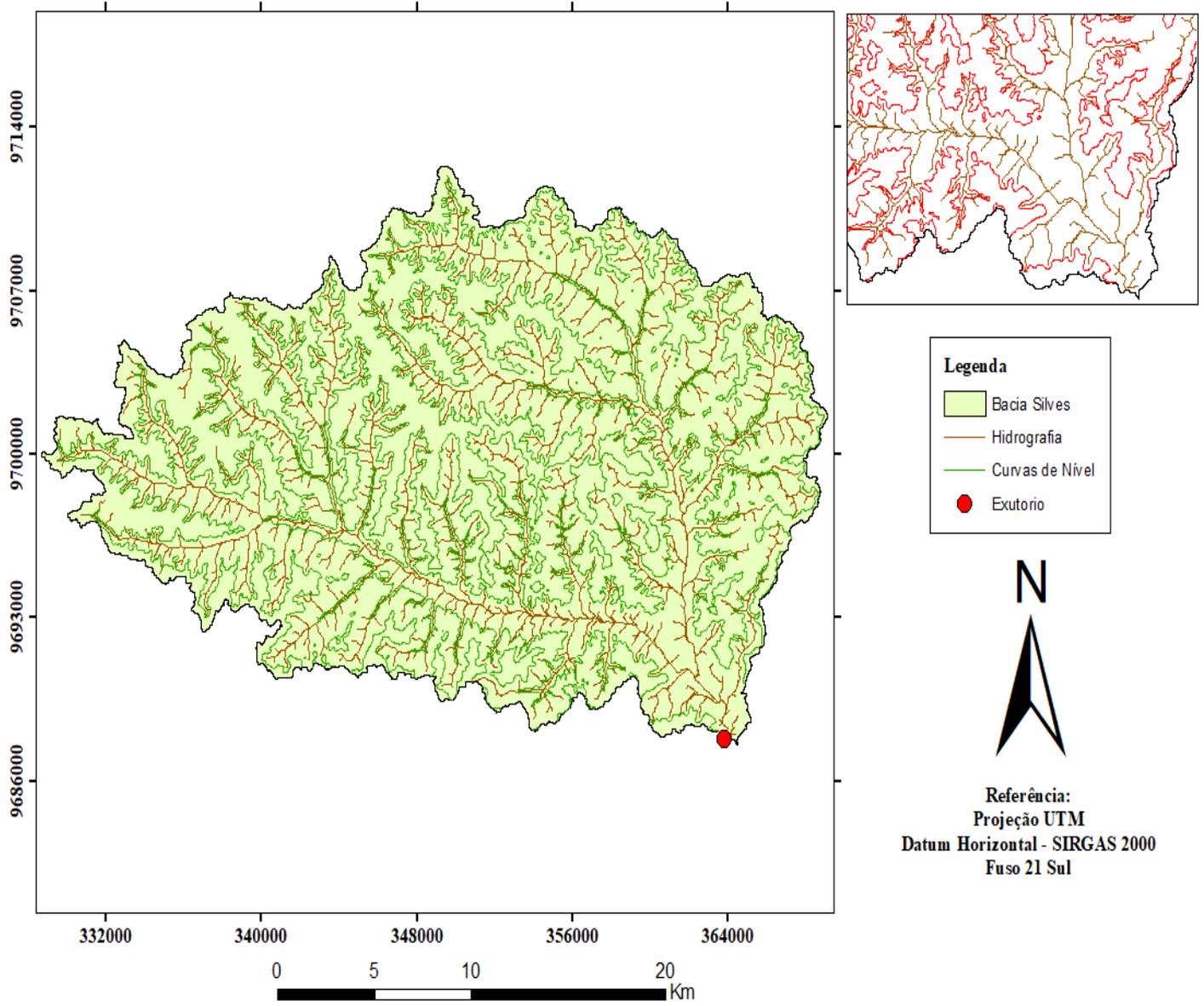


Figura 10. Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani no município de Silves - AM.

5.2 MORFOMETRIA

A área de drenagem da bacia é de 624,76 Km², sendo classificada como de tamanho médio, pois apresenta área menor que 1000 km². A bacia hidrográfica de Silves apresentou perímetro de 216,54 km, comprimento do rio principal de 43,87 km e comprimento total dos canais da bacia de 964,33 km (Tabela 1).

5.2.1 Índice de Circularidade (Ic)

Quanto ao índice de circularidade (Ic), a bacia hidrográfica foi de 0,17 (Tabela 1) o que mostra que esse valor é menor que 0,51 o que demonstra que a bacia é mais alongada e favorece o escoamento superficial. Para $Ic < 0,51$ evidencia a relação existente entre a área da bacia e a área de um círculo, esse índice obtido demonstra que não evidencia uma forma circular e não apresenta problemas de inundação (SCHUMM, 1956).

5.2.2 Fator de Forma (Kf)

O fator de forma, de 0,32 (Tabela 1) é um índice indicativo de tendência para enchentes, quanto menor for o Kf de uma bacia, menor a chance de ocorrer inundação, por ser mais próxima de um formato retangular. Enquanto, que o valor que se aproxima ao índice 1, maior é a probabilidade para que ocorra a inundação (VILLELA e MATTOS, 1975). Assim, o resultado da equação obtida pela bacia confirma que não há tendência para grandes enchentes no local.

5.2.3 Coeficiente de compacidade (Kc)

De acordo com o resultado do Coeficiente de compacidade 2,43 (Tabela 1) indica que o valor de $Kc \geq 1,50$ a bacia não apresenta tendência para grandes enchentes (SILVA e MELLO, 2008). O que confirma os itens 5.2.2 e 5.2.3.

5.2.4 Densidade de drenagem (Dd)

A densidade de drenagem apresentou valores de 1,54 Km/ Km² (Tabela 1). Esse parâmetro indica a velocidade e a eficiência de drenagem por meio da relação entre o

comprimento total dos canais de drenagem e sua área. De acordo com Villela e Mattos (1975), esse índice em uma bacia pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km /km². Verifica-se que a presente bacia apresenta uma drenagem média.

Tabela 1. Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de Silves – AM.

Parâmetros	Valores e Unidades
Área	624,76 Km ²
Perímetro	216,54 Km
Comprimento do rio principal	43,87 Km
Comprimento total da rede de drenagem	964,33 Km
Coefficiente de compacidade (kc)	2,43
Fator de forma (kf)	0,32
Índice de circularidade (Ic)	0,17
Ordem da Bacia	6 ^a
Densidade de drenagem (Dd)	1,54 Km/ Km ²
Declividade do rio Principal	0,31 m/Km
Altitude total	152 m
Altitude Média	81,45 m
Altitude Mínima	15 m
Tempo de concentração (Tc)	113,48 minutos

5.2.5 Ordens da bacia

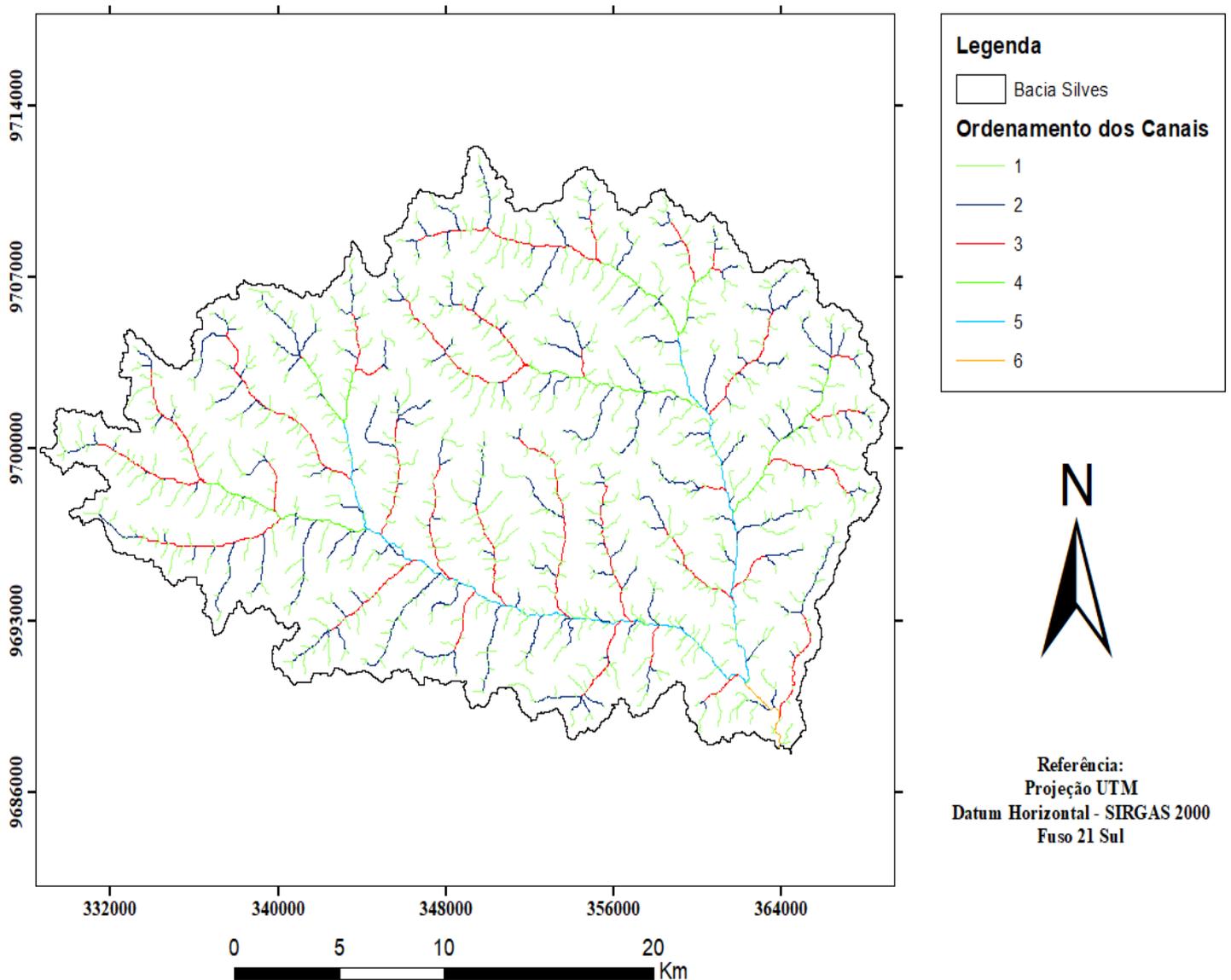


Figura 11. Rede de drenagem ordenada da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani no município de Silves - AM.

A figura 10, a bacia hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani apresentam a hierarquia fluvial segundo Strahler (1957) de sexta ordem. As segmentações dos rios são representadas com a cor verde os segmentos de primeira ordem, cor azul escura representa os de segunda ordem, vermelho de terceira ordem, verde escuro de quarta ordem, cor azul clara a de quinta ordem e laranja como de sexta ordem. Isso indica que o sistema de drenagem da bacia é muito ramificado, já que possui uma área média.

5.2.6 Declividade da bacia

O mapa de declividade para a bacia hidrográfica analisada encontra-se representada na figura 11. A bacia representada em valores de acordo com a classificação de relevo proposta pela EMBRAPA (2006), mostra que houve um maior predomínio de áreas com declividade de 0 a 8% (com relevo plano e suave ondulado). Pode ser considerada como uma bacia de declividade suave ondulado (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição das classes de declividade da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani, Município de Silves, Amazonas.

Valor	Classes
0 – 3%	Plano
3 – 8%	Suave ondulado
8 – 20%	Ondulado
20 – 45%	Forte ondulado
45% - 75%	Montanhoso

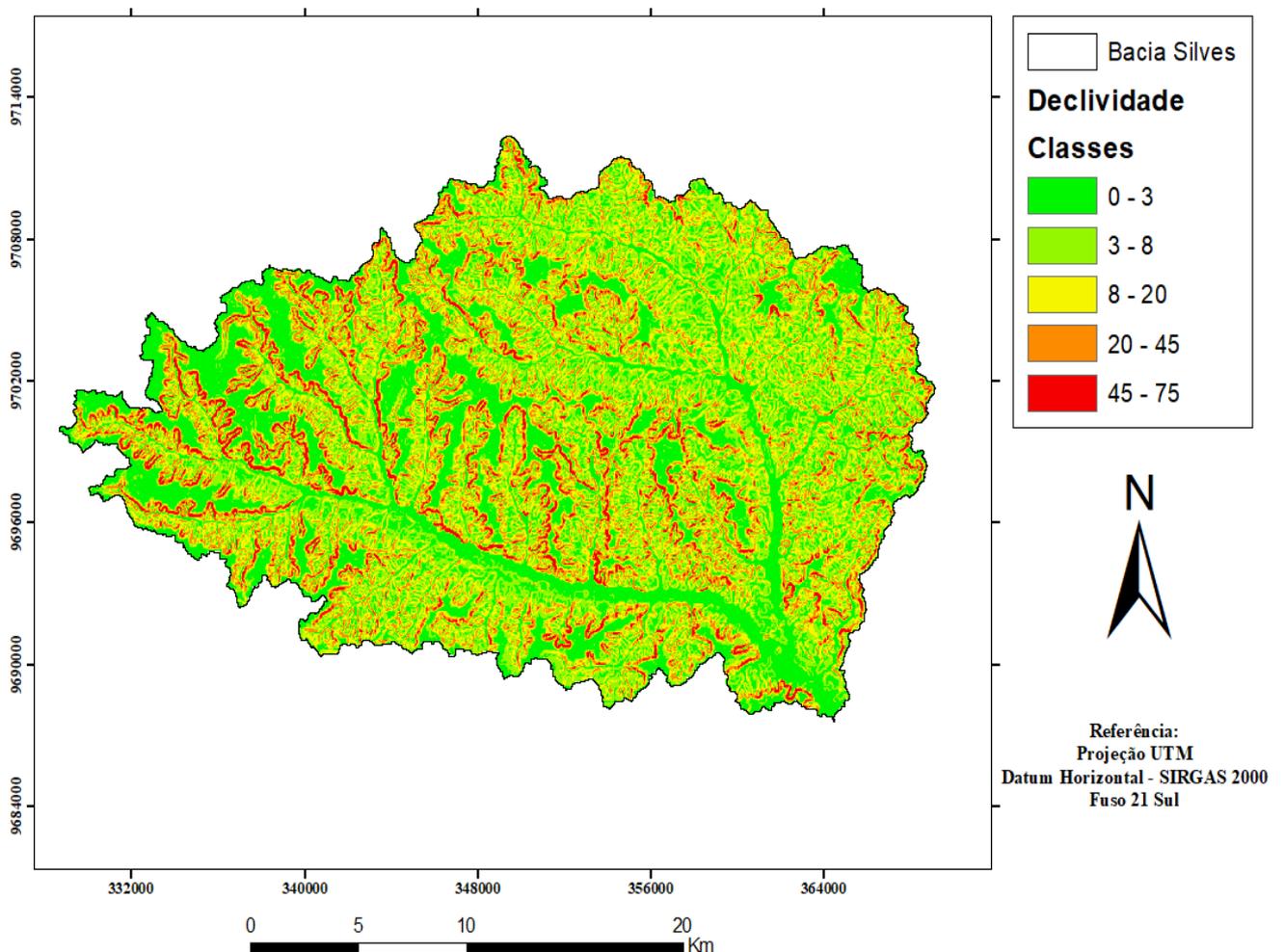


Figura 12. Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani, no município de Silves - AM.

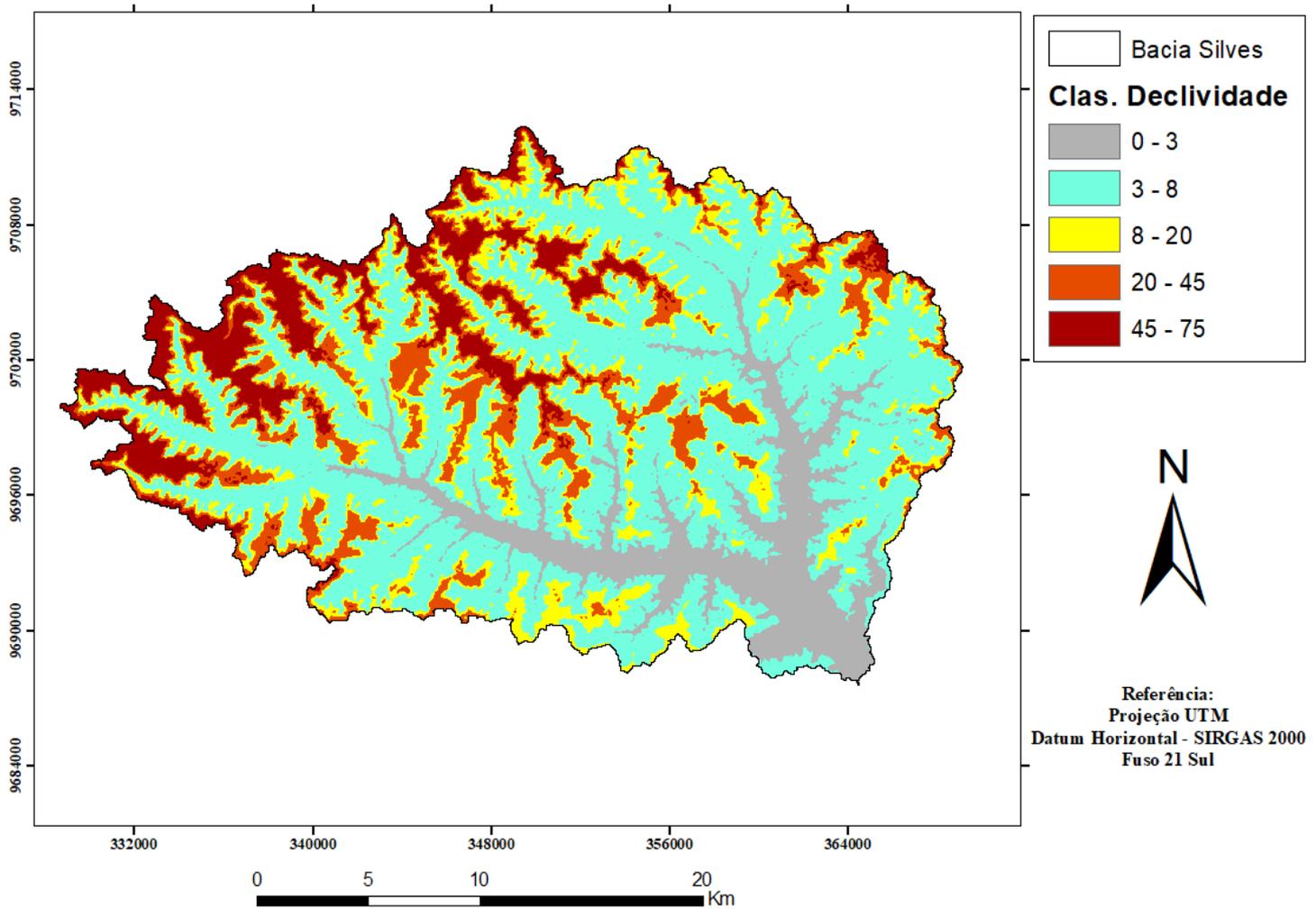


Figura 13. Mapa de declividade com uma reclassificação de cores da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani, no município de Silves - AM.

5.2.7 Mapa hipsométrico e Curva hipsométrica

Com a vetorização das curvas de nível (Figura 9) a cada 27 m, montou-se o mapa hipsométrico da bacia hidrográfica (Figura 13). A mesma foi analisada e apresentou seu ponto mais alto de 150 m e o ponto mais baixo foi de 15 m. Com isso tem-se uma amplitude altimétrica, ou seja, a diferença entre a maior e a menor altura da bacia, de 135 m.

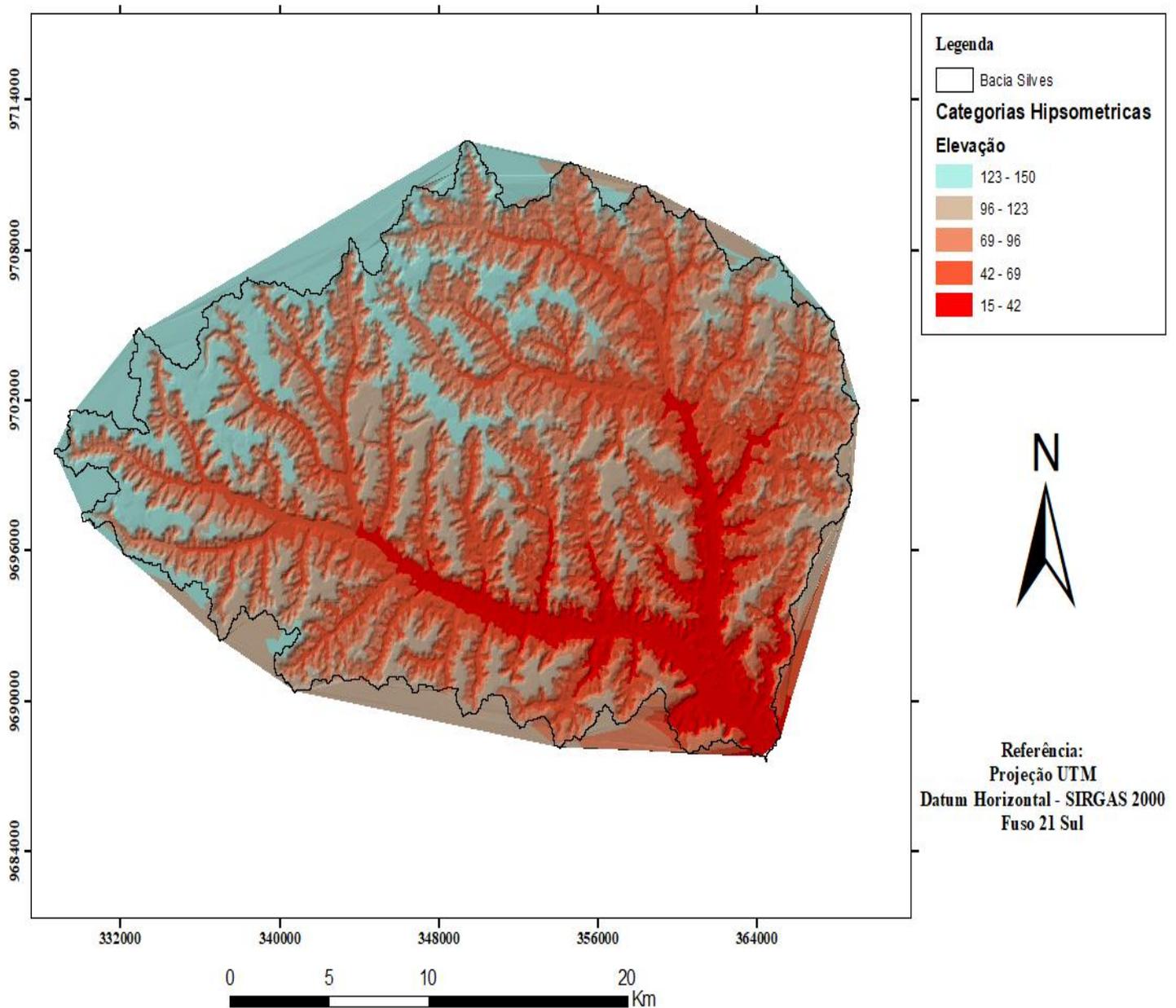


Figura 14. Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani, no município de Silves - AM.

Com a obtenção dos dados do mapa hipsométrico (Figura 13), elaborou-se a Tabela 3 com as áreas referentes a cada curva de nível, assim como suas porcentagens em relação à área total da bacia hidrográfica. A partir desses dados foi possível elaborar uma curva hipsométrica conforme a figura 14.

Tabela 3. Área das curvas de níveis obtidas através do mapa hipsométrico.

Ponto Médio (m)	Área (km ²)	Área Acumulada (Km ²)	%	Acumulada (%)
149	2203,71	2203,71	0,36	0,36
141	8469,45	10673,16	1,37	1,72
133	25067,69	35740,85	4,04	5,77
126	37551,59	73292,44	6,06	11,83
118	38477,41	111769,85	6,21	18,03
110	33085,17	144855,02	5,34	23,37
103	42840,12	187695,14	6,91	30,28
95	41324,35	229019,49	6,67	36,95
88	56262,20	285281,69	9,08	46,03
80	55853,05	341134,74	9,01	55,04
73	64511,85	405646,59	10,41	65,45
65	59708,59	465355,19	9,63	75,08
57	42639,35	507994,53	6,88	81,96
50	35597,17	543591,70	5,74	87,71
42	19201,60	562793,30	3,10	90,81
35	15591,54	578384,85	2,52	93,32
27	15359,37	593744,22	2,48	95,80
19	13275,55	607019,78	2,14	97,94
12	11744,56	618764,34	1,89	99,84
4	1016,22	619780,56	0,16	100

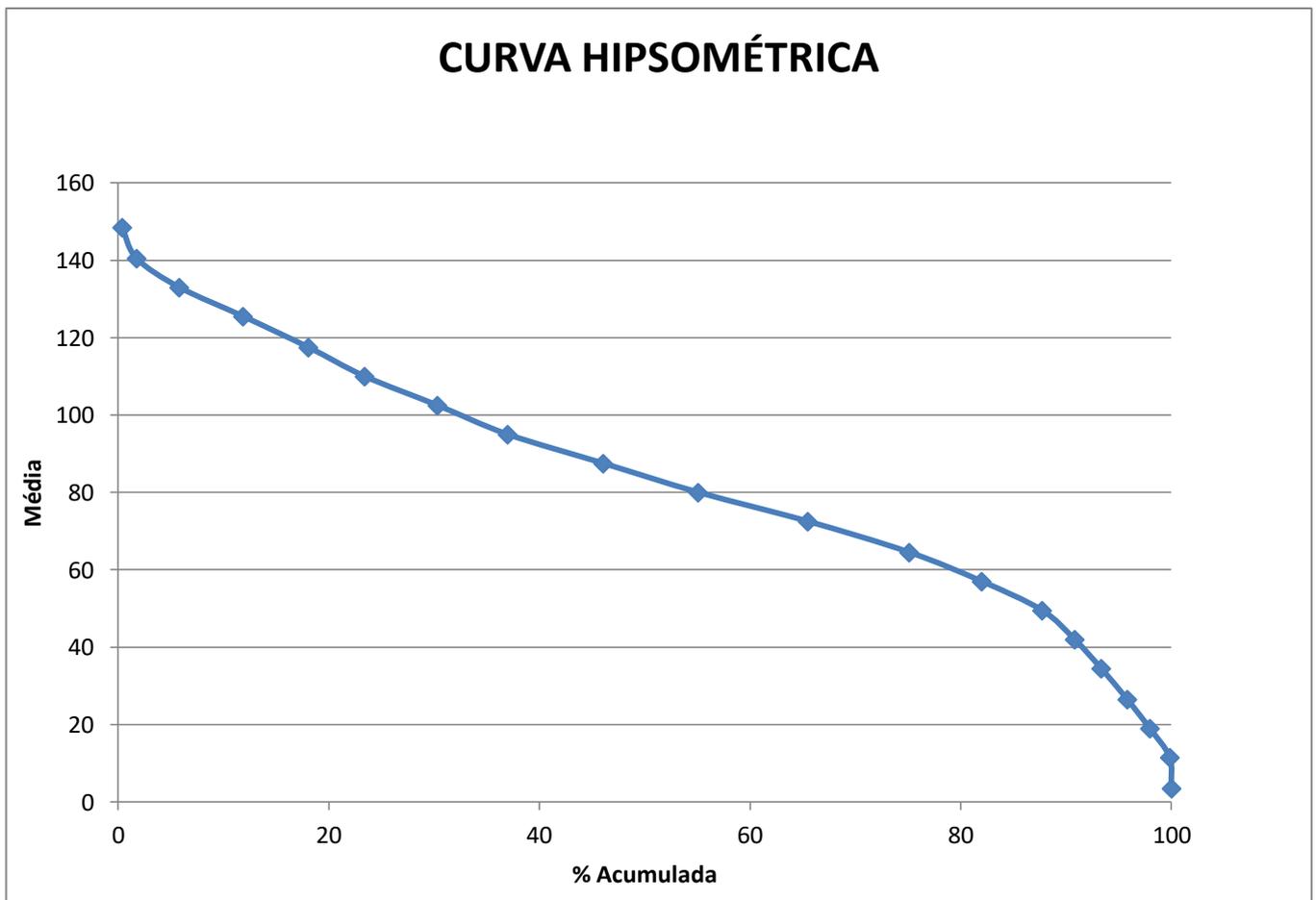


Figura 15. Curva hipsométrica da Bacia Hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani, no município de Silves - AM.

A curva hipsométrica (Figura 14) indica que a distribuição superficial nesse caso é regular. Apresenta o perfil da bacia em relação as suas altitudes médias, isso contribui para o aprofundamento do estudo do relevo. Os valores apresentados na curva hipsométrica tem como finalidade demonstrar a maneira como o volume rochoso situado encontra-se distribuído abaixo da superfície topográfica até o ponto mais alto da área.

CONCLUSÃO

A utilização do software livre Quantum GIS no desenvolvimento deste trabalho juntamente com o complemento TauDEM mostraram-se uma ferramenta eficiente na manipulação dos dados extraídos do modelo SRTM, possibilitando assim a simulação dos parâmetros físicos da bacia.

Com o uso da metodologia de geoprocessamento empregado no complemento possibilitou a delimitação automática da bacia hidrográfica, bem como a identificação da ordem da rede de drenagem e modelo de classe de declividade. Esses dados auxiliam no entendimento e comportamento dos recursos hídricos existentes. Tornando a bacia hidrográfica um modelo de planejamento e gestão dessas informações, pois é uma alternativa viável de obtenção de dados com minimização de custos e tempo.

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica dos rios Itabani e Sanabani apontam para uma bacia com um formato mais ramificado e uma geométrica mais alongada. Encontra-se em drenagem média, baixa declividade, resultando em uma bacia de sexta ordem.

Sugere-se estudos mais aprofundados sobre esse tema, levando se em consideração a comparação de outras ferramentas livres para SIG. Desta forma, possibilita a delimitação automática e análise das bacias hidrográficas de forma precisa e acessível aos setores públicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONELLI, V; THOMAZ, E. L. **Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR**. Ver. Caminhos da Geografia, Uberlândia, 2007.
- ANDREOLLI, C. V. **Manciais de abastecimento: Planejamento e Gestão** – Estudo de caso do Altíssimo Iguaçú. Curitiba, 2003.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Recursos Hídricos (MMA). **Caderno da Região Hidrográfica Amazônia**. Brasília - DF, 2006, p19.
- BRASIL, Lei n.9433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**, regulamenta o Inciso XIX do art 21 da lei n.8001, de 13 de março de 1990.
- BRUBACHER, J.P.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, A. **Suscetibilidade De Enchentes A Partir Da Análise Das Variáveis Morfométricas Na Bacia Hidrográfica Do Rio Dos Sinos/RS**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, INPE p.1279, MAIO, 2011.
- CARDOSO, C. A.; DIAS H. C. T.; SOARES C. P. B.; MARTINS S. V. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1980.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** – Rio de Janeiro: Embrapa, p. 243, 2006.
- ESRI. Environmental systems research institute. **How fill works**. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm>>. Acesso em: 2 nov. 2017.
- ESRI. Environmental systems research institute. **How Flow Direction works**. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2017.
- ESRI. Environmental systems research institute. **How Flow Accumulation works**. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>>. Acesso em: 12 nov. 2017.
- FLINKLER, R., **Planejamento, manejo e gestão de bacias**. Universidade de Caxias do Sul, 2012.
- GARBRECHT, J.; MARTZ, L. W. **The Assignment of Drainage Direction over Flat Surfaces in Raster Digital Elevation Models**. Journal of Hydrology.1997.

LISBOA, L.; SANTOS, A.L.M.R.; ULIANA, E.M.; OLIVEIRA, B.L.F; ANDRADE, N.M.; ALVES, L.G.S.; GARCIA, D.O.; SILVA, M.R. **Modelo Digital De Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) e Caracterização Morfométrica Da Bacia Do Rio Branco** - Rr. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília-DF, 2015.

MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre, 2001. 536 p.

NICOLETE, D. A. P.; CARVALHO, T. M.; POLONIO, V. D.; LEDA, V. C.; ZIMBACK, C. R.L. **Delimitação automática de uma bacia hidrográfica utilizando MDE TOPODATA: aplicações para estudos ambientais na região da Cuesta de Botucatu – SP**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Brasil, INPE, 2015.

NUNES, F.G.; RIBEIRO, N.C.; FIORI, A. P. **Propriedades Morfométricas e aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do rio Atuba**: Curitiba-Paraná,2006.

OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. **Caracterização Morfométrica de Bacias Hidrográficas através de dados SRTM**. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS, 2010.

PAIVA, R. C. D., **Hidrologia da Bacia Amazônica: Compreensão e previsão com base na modelagem hidrológica-hidrodinâmica e sensoriamento remoto**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2013, p24.

SANTOS, G. M.; SANTOS, A. C. M. **Sustentabilidade da pesca na Amazônia**. Estudos Avançados, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo - SP, 2005.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Halen: Transactions: American Geophysical Union, 1957. v.38. p. 913-920.

SCHUMM, S. A. 1956. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy**. *Geological Society of America Bulletin*, 67 (5): 597-646.

SILVA, A. M. **Princípios Básicos de Hidrologia**. Departamento de Engenharia. UFLA. Lavras-MG. 1995.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. **Apostila de Hidrologia**. Universidade Federal de Lavras, 2008.

TONELLO, K. C.; DIAS H. C. T.; SOUZA A. L.; RIBEIRO C. A. A. S.; LEITE F. P. **Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG**. Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa – MG, 2006.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **TOPODATA: Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível em: < <http://mtc19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mctm19%4080/2010/05.10.18.35/doc/publicacao.pdf> >. Acesso em 15 maio 2017.

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