



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005

ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Victor Abreu Borela

BACIA DE TAQUARUÇU GRANDE: caracterização morfométrica por meio do uso do sensoriamento remoto.

Palmas – TO

2016

Victor Abreu Borela

BACIA DE TAQUARUÇU GRANDE: caracterização morfométrica por meio do uso do geoprocessamento.

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc Roberta Mara de Oliveira Vergara.

Palmas – TO

2016

Victor Abreu Borela

BACIA DE TAQUARUÇU GRANDE: caracterização morfométrica por meio do uso do sensoriamento remoto.

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc Roberta Mara de Oliveira Vergara.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a M.Sc. Roberta Mara de Oliveira Vergara
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Esp Eder Soares Pinto
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof.^a M.Sc. Cecília Amélia Miranda Costa

DEDICATÓRIA

Trabalho dedicado à minha mãe,
Teresinha, a qual eu tanto amo e que
sempre me ajudou e me apoiou para
realização desse tão sonhado objetivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a DEUS, por me dar força, sabedoria e saúde para a conclusão desta etapa em minha vida.

À professora Roberta pela orientação, paciência e tempo dedicado os quais tornaram possível a realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos do curso de engenharia que tanto nos momentos de dúvida e dificuldade, como nos de conquistas e felicidade sempre estiveram presentes.

À minha mãe, Teresinha, e meu pai Pascoal, por serem meus exemplos de vida, de dedicação e de honestidade; e por me criarem da melhor maneira possível, dando condições para chegar até aqui e seguir adiante.

Aos meus irmãos, Eduardo e Luca, pelo companheirismo e por serem, além de familiares, meus melhores amigos.

Aos demais membros da família por todo carinho e apoio de sempre e durante estes longos anos.

Aos amigos de infância, que mesmo não estando diariamente presentes nos dias de hoje, sempre me deram forças para continuar lutando.

Aos demais professores do curso de Engenharia Civil do CEULP-ULBRA que se empenharam na transmissão do conhecimento durante toda graduação.

RESUMO

BORELA, Victor Abreu. **BACIA DE TAQUARUÇU GRANDE: caracterização morfométrica através do uso do sensoriamento remoto**. 2016. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2016.

A água é um bem essencial a todos os seres vivos do planeta, tornando-se fundamental o conhecimento dos processos que a abrangem, para garantir o uso consciente e a sua preservação. Por isso os estudos sobre bacias hidrográficas, são muito importantes para a preservação e gerenciamento dos recursos hídricos. Logo, a caracterização morfométrica é uma das análises iniciais, na qual visa demonstrar a influência das formas na dinâmica hidrológica e hidráulica das bacias. Sendo assim, pretende-se com este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) caracterizar morfometricamente a bacia do ribeirão Taquaruçu Grande, através de sua delimitação em ambiente SIG, para obtenção dos dados físicos necessários para essa análise. Para tanto foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto com o auxílio das ferramentas computacionais, no Sistema de Informação Geográfica (SIG), QGIS versão 2.8 e a ferramenta de análises hidrológicas Taudem 5.1. Sendo assim, com os dados conseguidos foram determinadas as seguintes características morfométricas: geometria, relevo e rede drenagem, posteriormente classificando-as quanto a enchentes, eficiência da drenagem e sedimentação. Assim, bacia possui uma área de 453,315 km², perímetro de 183 ,315 m, os valores geométricos da bacia resultaram em baixa propensão a cheias e boa infiltração. O relevo apresentou uma amplitude altimétrica de 502 metros com declividades de até 75% e a rede de drenagem apresentou valores que indicaram a hierarquia fluvial de 6ª ordem e um eficiente escoamento de fluxo de água e boa infiltração para o lençol freático.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Caracterização Morfométrica, QGIS

ABSTRACT

BORELA, Victor Abreu. **GREAT BASIN Taquaruçu: morphometric characterization through the use of remote sensing**. 2016. 67 f. TCC (Graduation) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center Palmas, Palmas, 2016.

Water is an essential good to all living beings on the planet, making it fundamental knowledge of the processes that cover to ensure the responsible use and preservation. Therefore studies of river basins, are very important for the preservation and management of water resources. Therefore, the morphometric characterization is one of the initial analysis, which aims to demonstrate the influence of the ways in hydrologic and hydraulic dynamics of the basins. Thus, we intend to work with this Course Conclusion (TCC) morphometric characterization basin of the river Grande Taquaruçu through its delineation in GIS environment, to obtain the physical data needed for this analysis. Therefore, we used remote sensing techniques with the aid of computational tools, the Geographic Information System (GIS), QGIS version 2.8 and hydrologic analysis tool Taudem 5.1. Thus, with the obtained data were determined following morphometric features: geometry, relief and drainage network, then classifying them as flooding, drainage efficiency and sedimentation. Thus, the basin has an area of 453,315 km², perimeter of 183, 315 m, the geometric values of the basin resulted in low propensity to floods and good infiltration. The relief presented an altimetric range of 502 meters with slopes of up to 75% and a drainage network presented values that indicated a 6th order river hierarchy and an efficient flow of water and good infiltration into the water table

Keywords: Basin, Characterization Morphometric QGIS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Representação gráfica de uma bacia hidrográfica com seu divisor	10
Figura 2- Distribuição das bacias hidrográfica do estado do Tocantins.	11
Figura 3-Exemplo de interpretação do Fator de Forma.	15
Figura 4- Tipos de Padrões de drenagem.	17
Figura 5- Hierarquização fluvial segundo Método de Strahler.	20
Figura 6- Tipos de coleta de dados: terrestres, suborbital e orbital.	26
Figura 7-Classificação dos sistemas sensores.	26
Figura 8- Organograma da Metodologia Aplicada.	28
Figura 9- Localização da Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande em Palmas, TO.	30
Figura 10-Reprojeção do Raster.	32
Figura 11-Recorte do Raster na região da bacia hidrográfica estudada.	32
Figura 12-Organograma da ordem dos processos no TAUDEM	34
Figura 13-Comandos para Cálculo da declividade do MDE	36
Figura 14- Mudança de Propriedades de Renderização das Imagens.	36
Figura 15- Sequência de comandos para o efeito de Sombreamento.	37
Figura 16- Raster Após o processo do Pit Remove.	41
Figura 17- Relevo da Bacia Hidrográfica, onde cada pixel indica o sentido em qual água escoar.	41
Figura 18- Raster resultante do Slope Grid.	42
Figura 19-Área de contribuição da bacia -versão1	43
Figura 20-Rede total de drenagem da bacia	43
Figura 21-Shapefile do Ponto de Exutória.	44
Figura 22-Área de contribuição e Rede drenagem Segmentada	44
Figura 23-Mapa da Bacia de Taquaruçu com Hierarquização fluvial.	45
Figura 24-Calculadora de campo na tabela de atributos do QGIS.	46
Figura 25-Quantidade total de canais encontrados na Bacia.	47
Figura 26-Distância entre o ponto de exutória e o ponto mais distante da bacia (Lax).	47
Figura 27-Mapa Altimétrico da Bacia.	49
Figura 28-Mapa das Declividades da Bacia segundo classificação da Embrapa.	50
Figura 29-Ferramenta group stats no QGIS.	51
Figura 30-Medição do comprimento do Canal Principal (Lcp).	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais Características Morfométricas de Bacias Hidrográficas.	13
Tabela 2- Classes de Declividade Embrapa (1979)	35
Tabela 3-Parâmetros morfométricos calculados.	39
Tabela 4- Características geométricas da bacia da hidrográfica do ribeirão Taquaruçu Grande	48
Tabela 5- Características do relevo da Bacia Hidrográfica do ribeirão Taquaruçu Grande.	48
Tabela 6- Características da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do ribeirão	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA-Agencia Nacional de Águas

CAD- *Computer Aided Design*

ESRI- *Environmental Systems Research Institute*

InSAR- *Interferometric Synthetic Aperture Radar*

MDE-Modelo Digital de Elevação

OSGF- *Open Source Geospatial Foundation*

QGIS- Quantum GIS

SEPLAN-Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins

SIG-Sistemas de Informação Geográfica

SRTM- *Shuttle Radar Topography Mission*

USGS- *United States Geological Survey*

TauDEM-*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*

LISTA DE SÍMBOLOS

A- Área

Dd-Densidade de drenagem

Dh-Densidade de hidrográfica

Dv- Distância vetorial entre os extremos do canal

Ic- Índice de Circularidade

Is-Índice de sinuosidade

Km-Quilômetro

Kc-Coeficiente de Compacidade

Kf- Coef. de Forma

Lax- Comprimento Axial

Lpr- Comprimento do canal principal

Ltc- Comprimento total dos canais de escoamento

N- Número de cursos d'água

P- Perímetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA	7
1.2	OBJETIVOS	7
1.2.1	Objetivo Geral	7
1.2.2	Objetivos Específicos	7
1.3	JUSTIFICATIVA	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1	BACIAS HIDROGRÁFICAS:.....	9
2.1.1	Conceituação das subdivisões de Bacias:	12
2.1.2	Classificação dos rios quanto a constância:.....	12
2.2	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA	13
2.2.1	Características geométricas	14
2.2.1.1	Área e Perímetro	14
2.2.1.2	Coeficiente de forma	14
2.2.1.3	Coeficiente de compacidade.....	15
2.2.1.4	Índice de circularidade	16
2.2.1.5	Padrão de drenagem	16
2.2.2	Características relevo	18
2.2.2.1	Declividade.....	19
2.2.2.2	Altitude e Amplitude Altimétrica.....	19
2.2.3	Características de rede de drenagem	19
2.2.3.1	Ordem dos Cursos d'água	19
2.2.3.2	Densidade de Drenagem	20
2.2.3.3	Densidade de hidrográfica	21
2.2.3.4	Índice de sinuosidade	21
2.3	GEOPROCESSAMENTO	22
2.3.1	Geoprocessamento aplicado a gestão de Bacias Hidrográficas. 22	
2.3.2	Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	24
2.3.3	Sensoriamento Remoto-Satélites de relevo.	25
2.3.3.1	Coleta de dados e Classificação dos sistemas sensores..	25
2.3.3.2	Tipos de Resoluções	26
2.3.4	Dados SRTM para Obtenção de MDE's	28

3	METODOLOGIA	28
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
3.2	BASE DE DADOS	30
3.3	GEOPROCESSAMENTO	31
3.3.1	Delimitação automática da Bacia com a ferramenta TauDEM.	31
3.3.1.1	Pit Remove	32
3.3.1.2	D8 Flow Directions	33
3.3.1.3	Algoritmo D8 Contributing Area	33
3.3.1.4	Algoritmo Stream Definition by Threshold	33
3.3.1.5	Criação do shapefile de Ponto.....	34
3.3.1.6	Stream Reach and Watershed	34
3.3.2	Mapa de declividade.....	35
3.3.3	Mapa Hipsômetro.....	36
3.4	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA	37
3.5	ANÁLISES E RESULTADOS	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	DELIMITAÇÃO DA BACIA.....	41
4.2	CARACTERIZAÇÃO MORFOMETRICA	46
4.2.1	Características Geométricas.....	46
4.2.2	Características de relevo	48
4.2.3	Características de rede de drenagem	51
5	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial a todos os seres vivos do planeta, tornando-se fundamental o conhecimento dos processos que a abrangem, para garantir o uso consciente e a sua preservação. Por isso os estudos sobre bacias hidrográficas, são muito importantes para a preservação e gerenciamento dos recursos hídricos.

Partido desse pressuposto, no município de Palmas-To, a Bacia do Taquaruçu Grande vem apresentando uma pressão antrópica sobre os seus recursos naturais desde a década de 90, quando esta passou a ter maior significância por ser a principal fornecedora de bens/serviços ambientais, tendo como principais atividades potencialmente impactantes: a construção da Rodovia TO-030; Estação de Tratamento de água – ETA 6 cuja captação de água é feita a jusante da junção dos ribeirões Taquaruçuzinho e Taquaruçu, tendo como vazão de captação 500 L/s por dia sendo responsável por 65% do abastecimento público de água no município de Palmas ; Estação de Tratamento de Esgoto, localizada próximo à foz do Ribeirão Taquaruçu Grande e responsável pelo tratamento do esgoto dos bairros. Em 2001 com a formação do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães houve a alteração da paisagem regional da sub-bacia (Souza, 2006).

Estudos realizados pela Companhia de Saneamento do estado do Tocantins (SANEATINS) comprovam que o desmatamento das matas ciliares é um dos principais responsáveis pela redução da vazão desse tão importante manancial. No período de julho a setembro de 2001, a vazão média era de 1.756,63 litros por segundo. Quatro anos depois, portanto em 2005, essa vazão caiu para 596,63 litros por segundo, redução da ordem de 66%, nesses quatro anos (SANEATINS, 2008).

Nesse contexto devido à crescente demanda por abastecimento não só em Palmas-To, mas em uma esfera global, vem gerando uma exploração exacerbada dos recursos hídricos o que pode vir a ocasionar constantes degradações naturais, não só desmatamento, mas também o empobrecimento dos solos, assoreamento, poluição de rios e outros. Dessa forma, atualmente é crescente o valor das bacias hidrográficas como forma de análise e planejamento, resultando em um grande desenvolvimento de técnicas para o controle da deterioração ambiental.

Diante desse panorama Rocha (1997) afirma que a determinação das características físicas, baseadas em parâmetros que se relacionam com a degradação

ambiental, deve ser sempre o primeiro passo para se monitorar nas bacias hidrográficas, bem como a investigação dos processos erosivos, visando o conhecimento das características que possibilitam um planejamento e manejo adequado dessas unidades.

A caracterização morfométrica de uma região surge como um importante estudo para integrar uma unidade de pesquisa, planejamento e gestão que contribua para um desenvolvimento mais equilibrado vislumbrando sempre a utilização sustentável e participativa dos recursos naturais, possibilitando a atuação de forma mais racional no espaço.

Portanto, o presente trabalho se objetiva em caracterizar morfometricamente a bacia do ribeirão Taquaruçu Grande com base em dados físicos obtidos por sensoriamento remoto, avaliando a eficiência da ferramenta Taudem para essa análise e classificando a bacia riscos de enchentes, eficiência da drenagem e sedimentação.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

A bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande é umas das principais fontes de abastecimento de água do município de Palmas-TO, sendo assim, com constantes crises hídricas do país e a crescente necessidade de gerenciamentos hidrológicos cada vez mais eficientes surge a seguinte indagação: Como o conhecimento das características morfométricas dessa bacia hidrográfica ajudam numa melhor gestão deste recurso? Com o resultado da análise, será possível conhecer melhor a dinâmica da mesma e conseqüentemente um melhor gerenciamento deste recurso hídrico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar morfometricamente a bacia do ribeirão Taquaruçu Grande com base em dados físicos obtidos por ferramentas de sensoriamento remoto.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Calcular as características morfométricas de geometria da bacia: área total, perímetro total, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade e padrão de drenagem;
- Definir as características morfométricas de relevo da bacia: Declividade, Altitude e Amplitude Altimétrica;
- Determinar as características morfométricas de drenagem da bacia: Comprimento do curso d'água principal, comprimento total dos canais, densidade de drenagem, densidade hidrográfica e hierarquização fluvial;
- Analisar e classificar os parâmetros da bacia quanto a riscos de enchentes, eficiência da drenagem e sedimentação;
- Verificar a eficiência da ferramenta de análise hidrológica Taudem, para delimitação automática da bacia.

1.3 JUSTIFICATIVA

. Devido à importância deste recurso natural para o abastecimento do município de Palmas-TO, a preocupação ambiental e a necessidade por maior eficácia nas gestões e rigidez no cumprimento da lei 9433/97 dos recursos hídricos a bacia do Taquaruçu Grande é um objeto de grande valia para realização de estudos a fim de um maior entendimento de seus processos naturais e manutenção deste manancial.

Sendo assim, o presente estudo visa colaborar para o desenvolvimento de futuras pesquisas em relação ao tema e na ajuda para elaboração por partes dos gestores municipais, comitês das bacias e outros, planos que otimizem de maneira sustentável o uso deste recurso bem como sua preservação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS:

A bacia hidrográfica é entendida como sendo uma unidade básica de análise e planejamento ambiental, por permitir conhecer e avaliar os seus diversos componentes, processos e interações. Pressupõe ainda, múltiplas dimensões e expressões espaciais (bacias de ordem zero, micro bacias e sub-bacias). Por isso, numa bacia é possível avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico (BOTELHO & SILVA, 2004).

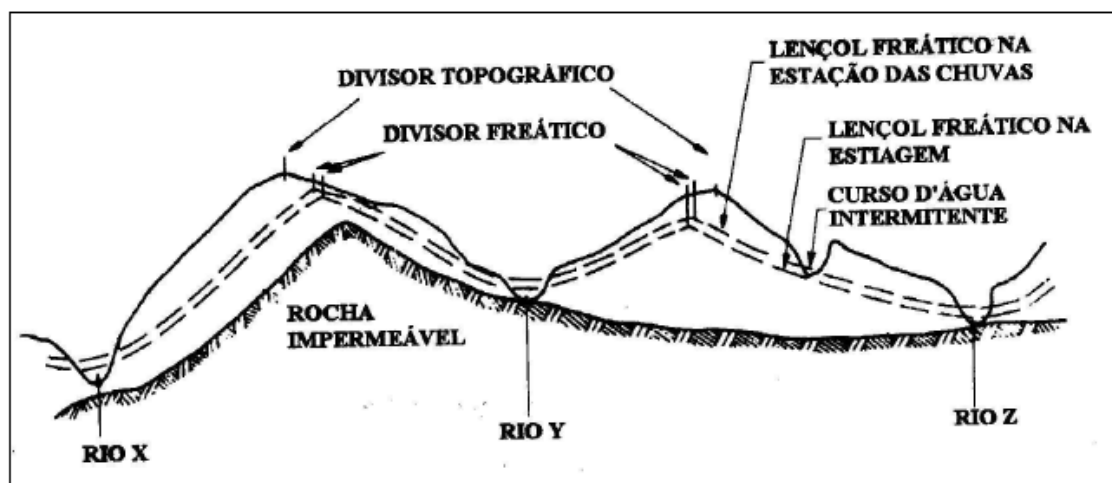
O termo ‘manejo de bacias hidrográficas ‘ consiste na gerencia de recursos naturais de uma bacia com maior rigor e controle, para a proteção e aumento de produção das fontes de água. Este manejo visa à interação do uso do solo, vegetação, água e outros recursos presentes. (LIMA,1986 e BORMANN *et al.*1994). Lima (1976) destaca algumas causas que deram origem no início do século XX, ao conceito de manejo de bacias hidrográficas:

- Conhecimento cada vez melhor do ciclo da água;
- Aumento da demanda de água a em consequência do rápido desenvolvimento tecnológico;
- Aumento crescente da população e da demanda por recursos naturais;
- Novos e complexos problemas de água, tais como poluição e ocupação antrópica das planícies de inundação;
- Reconhecimento da bacia hidrográfica como a melhor unidade natural para o manejo de recursos;

Nesse contexto, em termos de conceituação, pode-se encontrar uma grande diversidade de definições, porém há uma unidade em afirmar que a bacia hidrográfica é uma área delimitada por um divisor de águas que drena a água de chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, ou exutório, desaguando diretamente no oceano ou num lago. As bacias podem ser desmembradas em sub-bacias, a depender do ponto de saída considerado ao longo do canal coletor. É um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo seu enxutório, levando em consideração, como perdas intermediárias, os volumes evaporados e transpirados e ainda os infiltrados profundamente. A bacia hidrográfica é dita como exorréica quando os cursos d’água

correm para o mar e endorréica quando a drenagem se dá internamente no continente (CUNHA & GUERRA, 2006; TUCCI, 1997; ROCHA, 1997; ANA, 2011).

Figura 1-Representação gráfica de uma bacia hidrográfica com seu divisor



Fonte: SANTOS (2001)

Para Christofletti (1980), a drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia; as bacias podem ser classificadas de acordo com o escoamento global (exorreicas, endorreicas, arreicas, criptorreicas) e os rios em relação à inclinação das camadas geológicas. Geomorfologicamente as bacias são entendidas como um sistema aberto que recebe suprimento contínuo e que sistematicamente, perde através da água e dos sedimentos que a deixam.

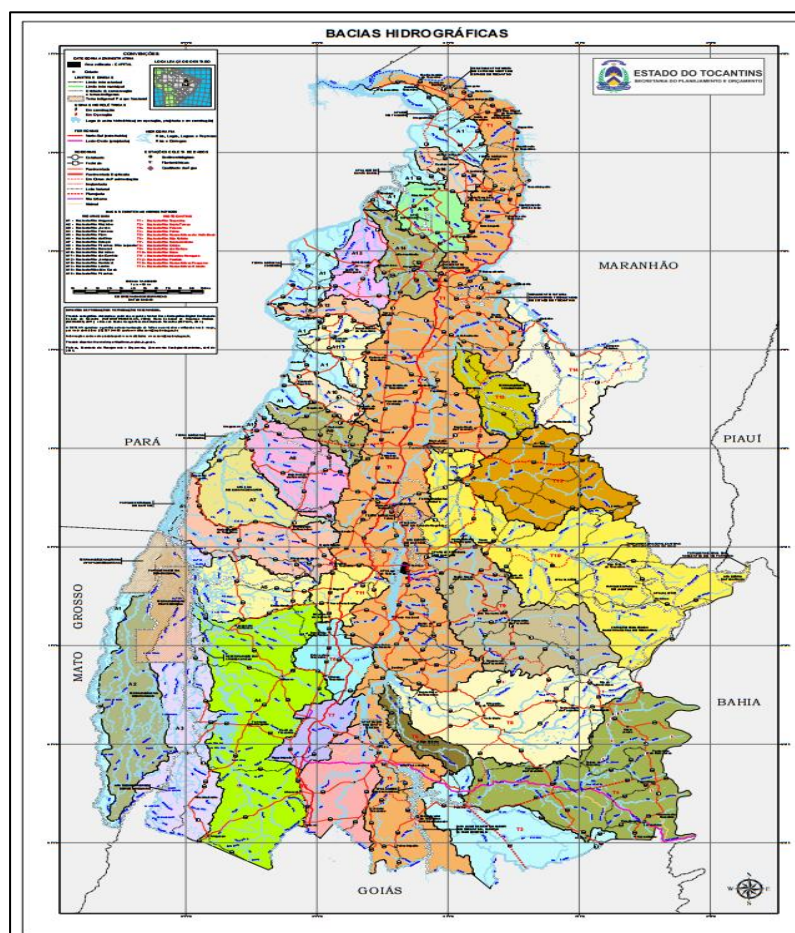
De acordo com Vilaça *et al.* (2009) as bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação, a fim de facilitar a abordagem sobre os recursos hídricos. Considera-se que o comportamento de uma bacia hidrográfica ao longo do tempo ocorre por dois fatores, sendo eles, de ordem natural, responsáveis pela pré-disposição do meio à degradação ambiental, e antrópicos, onde as atividades humanas interferem de forma direta ou indireta no funcionamento da bacia. Com a subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem em seus componentes (sub-bacias hidrográficas), as transformações de condições difusas de problemas ambientais para condições pontuais, facilitam sua identificação,

seu controle e o estabelecimento de prioridades para atenuação ou mitigação dos impactos ambientais.

Para facilitar o gerenciamento dos recursos naturais, o território brasileiro foi dividido hidrograficamente, de acordo com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, em doze Regiões Hidrográficas, cuja justificativa se respalda nas diferenças existentes no país, tanto no que se refere aos ecossistemas como também diferenças de caráter econômico, social e cultural. Os Estados brasileiros por sua vez, no âmbito dos seus territórios, organizaram as divisões hidrográficas para fins de gestão, utilizando diferentes critérios (ANA, 2011).

No Estado do Tocantins em função da sua abundância hídrica, por possuir em seu território a região hidrográfica do Tocantins-Araguaia são identificadas 30 bacias hidrográficas (figura 2).

Figura 2- Distribuição das bacias hidrográficas do estado do Tocantins.



Fonte: Secretaria do Planejamento e Orçamento

2.1.1 Conceituação das subdivisões de Bacias:

Várias definições sobre bacias hidrográficas foram formuladas ao longo do tempo com isso baseado nas áreas de concentração e redes de drenagem percebe-se grande semelhança nos conceitos apresentados por vários autores. No entanto as definições para as subdivisões da bacia hidrográfica (sub-bacia e microbacia) apresentam abordagens diferentes nos quais levam em consideração fatores físicos, políticos e ecológicos em vários casos.

Sendo assim, as sub-bacias do ponto de vista hidrológico, são áreas de drenagem dos tributários do canal do curso d'água principal. Partindo desse ponto alguns autores definem através de parâmetros numéricos como por exemplo suas áreas, a classificação da subdivisão, nas quais variam de 100 a 700 km² segundo e de 200 a 300 km² (FAUSTINO,1996; MARTINS et al.,2005).

CRUCIANI, 1976 define microbacia hidrográfica como sendo a área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma seção transversal considerada, para onde converge toda a água da área considerada.

Para Santana (2003) as bacias hidrográficas podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia.

2.1.2 Classificação dos rios quanto a constância:

Segundo proposto por Villela e Mattos (1975) e Lima (1976) com relação aos rios e sistema de drenagem é comum utilizar a classificação dos cursos d'água com relação à constância de escoamento para distinguir os diferentes tipos de comportamentos de rios e lençóis freáticos ao longo do tempo, sendo divididos em três tipos:

a) perenes: o lençol subterrâneo alimenta continuamente garantindo fluxo o ano todo, ou pelo menos em 90% do ano, é um canal bem definido;

b) intermitentes: de modo geral, só há fluxo durante a estação chuvosa (50% do período ou menos), o que os mantêm é a subida do lençol freático nas estações das chuvas. Durante a estiagem secam, pois, o lençol freático encontra-se abaixo do nível do leito do rio;

c) Efêmero: só há fluxo durante ou imediatamente após as chuvas ou períodos chuvosos; os canais não são bem definidos e normalmente são de pequeno porte.

2.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

De acordo com Marinho (2011) a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos procedimentos mais comuns nas análises hidrológicas ou ambientais. As diferentes formas de relevo presentes na superfície terrestre são oriundas da interação entre processos tectônicos, pedogênicos e intempéricos, que atuam de forma diversificada nos diferentes materiais rochosos.

Garcez e Alvarez (2002) afirmam que características topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e térmicas, bem como o tipo de cobertura da bacia, desempenham papel essencial no seu comportamento hidrológico, destacando importância da medição numérica das mesmas. Dessa maneira, as características físicas, bióticas e antrópicas de uma bacia possuem importante função nos processos do ciclo hidrológico, influenciando diretamente a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e sub-superficial. (TONELLO, 2005).

As características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre (PISSARA et al., 2004).

Estudos clássicos desenvolvidos por (HORTON,1945), (Strahler,1957), (FRANÇA,1968), (CHRISTOFOLETTI,1978) mostram a importância das classes de informações morfológicas e determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens. (TONELLO, 2005), agrupa em três grupos principais de características morfometrias, nos quais são: as geométricas, de relevo e da rede de drenagem conforme é apresentado (Tabela 1).

Tabela 1- Principais Características Morfometricas de Bacias Hidrográficas.

Características Morfométricas	Tipos de Análise
Características Geométricas	Área Total Perímetro Total Coeficiente de Compacidade(Kc) Fator de Forma(F) Índice de circularidade(IC) Padrão de drenagem
Características de relevo	Orientação Declividade Altitude Amplitude altimétrica
Características de rede de drenagem	Comprimento do curso d'água principal Comprimento total dos cursos d'água Densidade de Drenagem(Dd) Ordem dos cursos d'água

Fonte: TONNELO (2005)

2.2.1 Características geométricas

2.2.1.1 Área e Perímetro

A área é uma medida imprescindível em estudos morfométricos e hidrológicos, pois além de ser elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos, a mesma está ligada diretamente a potencialidade hídrica de uma bacia hidrográfica porque seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada define o volume d'água recebido pela bacia. Sendo assim, a área pode ser calculada manualmente em cartas topográficas utilizando-se de planimetragem ou através de ferramentas de geoprocessamento. Já o perímetro é o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas segundo Tonnelo (2005).

2.2.1.2 Coeficiente de forma

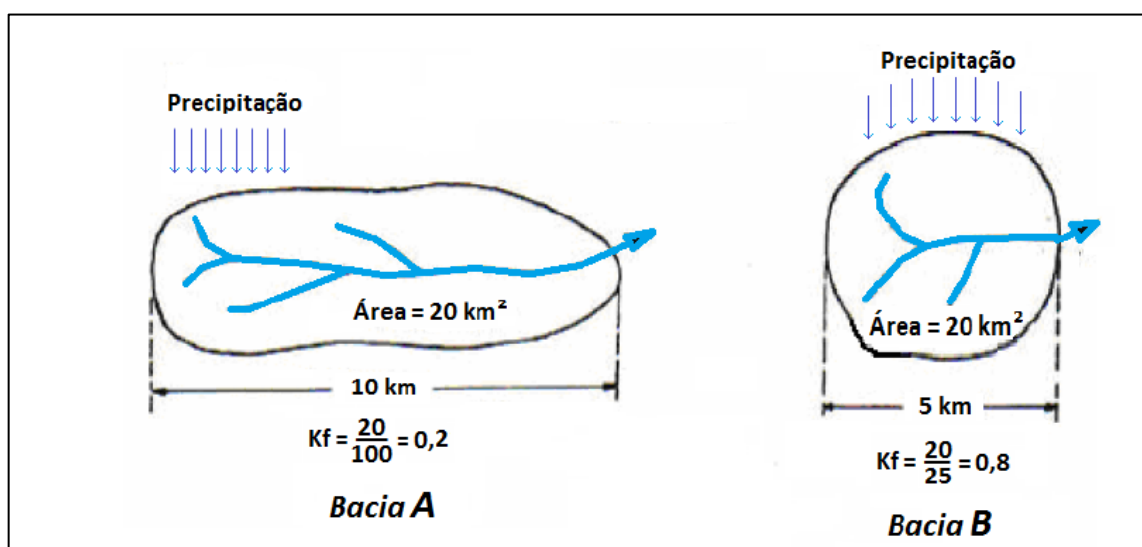
O Coeficiente de forma (Kf) conceituado por Horton(1945), é definido por meio da relação entre a área da bacia (A) em km² e o comprimento axial (Lax) da bacia em km relacionando a forma da bacia a de um retângulo, tal relação é representada pela equação 1. Diante disso, esse parâmetro pode ser influenciado por algumas características geológicas e atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia (VILLELA; MATTOS 1975). (Figura 3)

$$Kf = \frac{A}{Lax^2} \quad (1)$$

De acordo com Silva & Mello (2008), os valores assumidos pelo fator de forma levam às seguintes classificações:

- $K_f \geq 0,75$ – bacia sujeita a enchentes;
- $0,50 < K_f < 0,75$ – bacia com tendência mediana a enchentes; e
- $K_f \leq 0,50$ – bacia não sujeita a enchentes.

Figura 3-Exemplo de interpretação do Fator de Forma.



Fonte: BIER (2013)

2.2.1.3 Coeficiente de compacidade

O Coeficiente de compacidade (K_c) ou índice de Gravelius relaciona a forma da bacia a uma figura geométrica de um círculo e a mesma é definida pela relação entre o perímetro da bacia (P) e a circunferência de um círculo de área igual à área da bacia (A) (VILLELA; MATTOS 1975), ambos em km sendo representada pela equação 2. Esse parâmetro possui um valor adimensional que varia de acordo com a forma da bacia, que independe do seu tamanho, logo quanto maior a irregularidade da bacia, maior será o seu coeficiente de compacidade.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Conforme Silva & Mello (2008), podem-se classificar bacias hidrográficas em função do valor de K_c da seguinte forma:

- $1,00 \leq K_c < 1,25$ – bacia com alta propensão a grandes enchentes;

- $1,25 \leq K_c < 1,50$ – bacia com tendência mediana a grandes enchentes;
- $K_c \geq 1,50$ – bacia não sujeita a grandes enchentes.

2.2.1.4 Índice de circularidade

Esse índice representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da bacia hidrográfica (Equação 3). Similarmente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (BORSATO, 2005).

$$I_c = 12,57 \frac{A}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Quanto mais próximo de 1,0 for o valor de I_c , mais próxima da forma circular será a bacia. Já os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento (BORSATO, 2005).

2.2.1.5 Padrão de drenagem

Ainda conforme as análises de Christofolletti (1980), os tipos básicos de padrões de drenagem são:

- a) Drenagem dentritica: Também designada de arborescente, porque em seu desenvolvimento assemelha-se ao formato de uma árvore. Utilizando-se dessa imagem, a corrente principal corresponde ao tronco da árvore, os tributários aos seus ramos e as correntes de menor categoria aos raminhos e folhas. Da mesma maneira como nas árvores, os ramos formados pelas correntes tributárias distribuem-se em todas as direções sobre a superfície do terreno, e se unem formando ângulos agudos de graduações variadas, mas sem chegar nunca ao um ângulo reto. A presença de ângulos retos, no padrão dentrítico, constitui anomalias que se deve atribuir, em geral, aos fenômenos tectônicos. Esse padrão é tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme, ou em estruturas sedimentares horizontais;
- b) Drenagem em Treliça: É composta por rios principais consequentes, correndo paralelamente, recebendo afluentes subsequentes que fluem em direção transversal aos primeiros; os subsequentes por sua vez recebem os rios obsequentes e resequentes., Em geral, confluências realizam-se em ângulos retos:

c) Drenagem retangular: A configuração retangular é uma modificação drenagem em treliça, caracterizando pelo aspecto ortogonal devida às bruscas alterações retangulares no curso das correntes fluviais tanto nas principais como nas triutarias. Essa configuração é consequência da influência exercida por falhas ou pelo sistema de juntas ou diaclases. Em determinadas ocasiões, a presença desse padrão está relacionada à composição diferente das camadas horizontais ou homoclinais

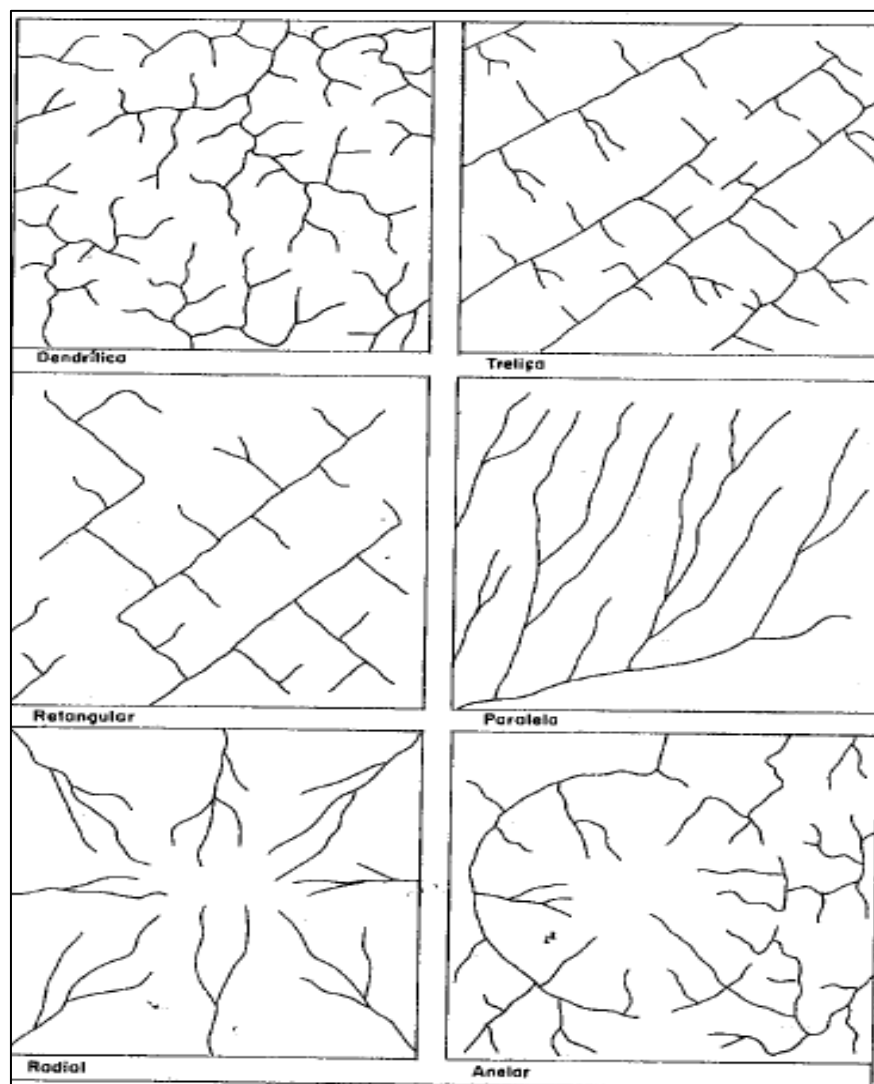
d) Drenagem Paralela: A drenagem é denominada paralela quando os cursos de água, sobre uma área considerável, ou em numerosos exemplos sucessivos, escoam quase paralelamente uns aos outros. Devido à essa disposição, também são denominadas de cauda equina ou rabo de cavalo. Esse tipo de drenagem localiza-se em áreas onde há presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existem controles estruturais que motivam a ocorrência de espaçamento regular, quase paralelo, das correntes fluviais.

e) Drenagem Anelar: Esse padrão assemelha-se a anéis, e A.K.Lobeck comparou-a em seu desenvolvimento ao crescimento anual dos dendros de uma árvore. As drenagens anelares são típicas de áreas dômicas profundamente entalhadas, em estruturas com camadas duras e frágeis. A drenagem acomoda-se aos afloramentos das rochas menos resistentes, originando cursos subseqüentes, recebendo tributários obsequentes e ressequentes

f) Drenagem radial: apresenta-se composta por correntes fluviais que se encontram dispostas como os raios de uma roda, em relação a um ponto central. Ela pode se desenvolver sobre os mais variados embasamentos e estruturas.

g) Drenagens desarranjadas ou irregulares: são aquelas que foram desorganizadas por um bloqueio ou erosão, como o da glaciação sobre amplas áreas, ou resultam do levantamento ou entulhamento de áreas recentes, nas quais a drenagem ainda não conseguiu se organizar. Os entulhamentos de lagos e de áreas litorâneas servem de exemplo.

Figura 4- Tipos de Padrões de drenagem.



Fonte: Christofolletti (1980)

2.2.2 Características relevo

Para Barros (2007), o relevo da sub-bacia de Taquaruçu Grande é pouco diversificado e a geomorfologia apresenta apenas as unidades geomorfológicas distintas: a Depressão Tocantins (constituída pela superfície compreendida entre o Sopé das Serras do Carmo, Taquaruçu e Lajeado) que representa a calha do Rio Tocantins é constituída pelas formações Pimenteiras e Serra Grande; e o Planalto Residual Tocantins que é constituído pelas Serras do Carmo, Taquaruçu e Lajeado, sendo estas separadas por vales onde a incisão da drenagem está em média de 250 a 300 metros.

Ainda de acordo com autor citado anteriormente, esta área a estrutura exerce um grande controle sobre a dinâmica da água, apresentando uma alta densidade de drenagem. Nas encostas destas serras podem ser observadas superfícies escarpadas, tipo padrões de rochas, onde há muitos pontos nascentes de tributários que irão compor a rede de drenagem da sub-bacia. As regiões com fortes declives concentram-se nas encostas da serra do Lajeado e formam dois grandes vales: do ribeirão Taquaruçu e do Taquaruçuzinho.

2.2.2.1 Declividade

Segundo Valeriano (2005) *apud* Almeida *et al.* (2008) a declividade é o ângulo de inclinação da superfície local em relação ao plano horizontal. Pode ser expressa em graus ou em porcentagem. Villela; Mattos (1975) destacam a relação da declividade com a velocidade em que se dá o escoamento superficial, logo, o tempo que a água da chuva leva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias, portanto a magnitude dos picos de enchente, infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos são afetados, pois estes dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia.

2.2.2.2 Altitude e Amplitude Altimétrica

A variação de altitude associa-se com a precipitação, evaporação e transpiração, consequentemente sobre o deflúvio médio. Grandes variações de altitude numa bacia acarretam diferenças significativas na temperatura média, a qual, por sua vez, causa alterações na evapotranspiração mais significativas, porém, são possíveis as variações de precipitação anual com a elevação. Já Amplitude altimétrica é a variação entre a altitude máxima e altitude mínima. (TEODORO *et al.*, 2007).

2.2.3 Características de rede de drenagem

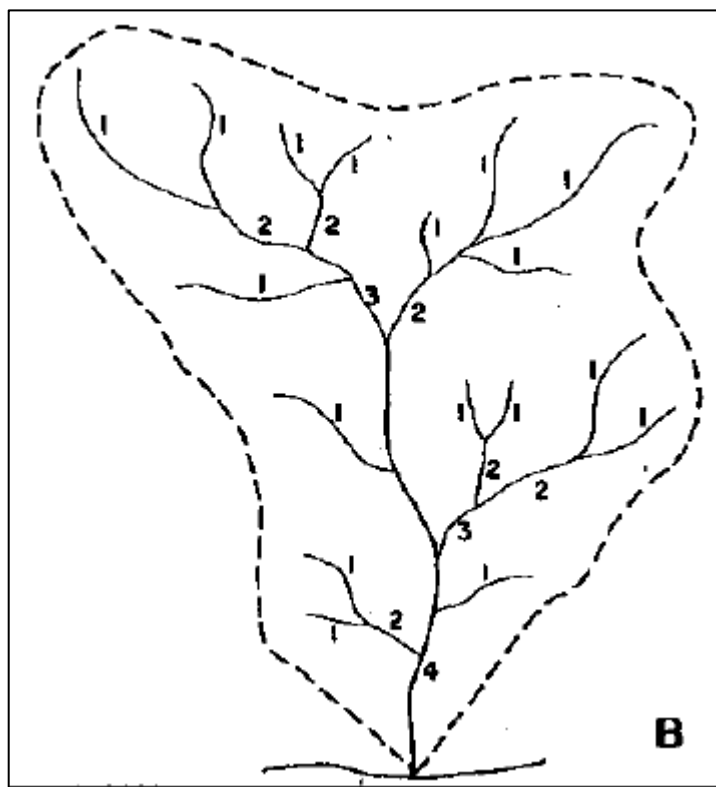
2.2.3.1 Ordem dos Cursos d'água

A hierarquização fluvial consiste no processo de estabelecer a classificação de um determinado curso de água no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se situa (CHRISTOFOLETTI, 1980). Um dos métodos que este autor aborda é o método desenvolvido por Artur Strahler em 1952, que afirma que os menores canais, sem tributários, são considerados de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até

a confluência; os canais de segunda ordem surgem de confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem podendo receber afluentes de segunda e primeira ordem; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores; e assim sucessivamente.

A ordenação proposta por esse método pode ser visualizada na Figura 5. Com a ordenação proposta pelo Método de Strahler é eliminado o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência.

Figura 5- Hierarquização fluvial segundo Método de Strahler.



Fonte: Christofolletti (1980)

2.2.3.2 *Densidade de Drenagem*

Os autores Christofolletti (1980) e Villela & Mattos (1975) abordam o parâmetro de Densidade da drenagem (Dd), também definido por HORTON (1945), como a correlação entre o comprimento total dos canais de escoamento (Ltc) em km com a

área da bacia hidrográfica (A) em km², sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes. O mesmo se relaciona com características geológicas, sendo que as bacias hidrográficas que possuem solos rochosos, que dificultam a infiltração, possuem maior potencial de gerar escoamento superficial, formando maior número de rios perenes e consequentemente maior densidade de drenagem, sendo obtido através da equação 4:

$$Dd = \frac{Ltc}{A} \quad (4)$$

Pode-se classificar uma bacia de acordo com os valores de D_d , segundo Silva & Mello (2008), da seguinte forma:

- baixa densidade: $Dd \leq 5 \text{ Km Km}^{-2}$;
- média densidade: $5 < Dd < 13 \text{ Km Km}^{-2}$; e
- alta densidade: $Dd \geq 13 \text{ Km Km}^{-2}$.

2.2.3.3 Densidade de hidrográfica

Também chamada de frequência de canais ou densidade de rios, corresponde à relação entre o número de rios ou cursos d'água (N) e a área da bacia hidrográfica (A) (Equação 05). A densidade hidrográfica é importante, pois representa o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos d'água. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão (CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (5)$$

2.2.3.4 Índice de sinuosidade

A sinuosidade do canal principal é um fator controlador da velocidade do fluxo de água (NOVAES et al., 2004), pois quanto maior a sinuosidade, maior a dificuldade encontrada pelo deslocamento da água no seu caminho até a foz, implicando numa menor velocidade. A sinuosidade é representada pela relação entre o comprimento do rio principal (l_{pr}) e o comprimento de seu talvegue (D_v) (Equação 6), que seria o

comprimento reto do canal medido da nascente até a foz conforme Alves e Castro (2003).

$$I_s = \frac{l_{pr}}{Dv} \quad (6)$$

De acordo com Alves e Castro (2003), valores de sinuosidade bem próximos a 1, indicam que o canal tende a ser retilíneo e valores maiores que indicam canais tortuosos. Valores entre 1 e 2 apontam para formas transicionais, regulares e irregulares.

2.3 GEOPROCESSAMENTO

SILVA (2001) afirma que o geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre uma base de dados georeferenciados, que são registros de ocorrências, para transformar em informação relevante, e deve necessariamente apoiar-se em estruturas de percepção ambiental que proporcionem o máximo de eficiência nesta transformação.

Com a utilização de técnicas de geoprocessamento pode-se acompanhar com mais facilidade a rápida evolução da população observada atualmente e dos espaços por ela ocupados e auxiliar na análise dos efeitos das intervenções e mudanças causadas pela implementação dos planos e estratégias no meio urbano e rural.

Sendo assim o geoprocessamento muda a forma de coletar, utilizar e disseminar a informação, possibilitando o acompanhamento ou monitoria, por meios diversos, desde imagens de satélite até mapas 48 interativos, da espacialização e extensão dos efeitos das políticas e ações de desenvolvimento, sobre o espaço, em tempo real.

2.3.1 Geoprocessamento aplicado a gestão de 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. Assim, é de grande importância para gestores e pesquisadores, coletar o máximo de informações

a sobre as Bacias Hidrográficas, para o desenvolvimento de planos de gerenciamento cada vez mais eficazes no âmbito dos recursos hídricos.

Para ENGMAN (1996), o futuro da hidrologia depende em grande medida da disponibilidade de dados adequados para a construção e validação dos modelos hidrológicos, papel que o sensoriamento remoto pode e deve representar. São três as razões enumeradas por Rango e Shalabi (1998) que apoiam a aquisição de dados por meio dos sensores remotos (Apud ÁVILA et al. 1999):

- A habilidade de adquirir dados espacializados em lugar de observações pontuais;
- Potencial para obter dados sobre o estado da superfície terrestre em grandes extensões (precipitação, umidade do solo, água subterrânea, evapotranspiração, água de superfície e características fisiográficas das bacias);
- A habilidade para, baseado nos registros dos sensores, permitir a reconstrução de séries históricas.

ÁVILA et al. (1999) cita a alguns aspectos relevantes da utilização de técnicas de geoprocessamento na hidrologia, nos quais destaca-se:

- Interatividade – o usuário tem grande interatividade com sistemas computacionais, enviando continuamente instruções e recebendo respostas.
- Sistemas multiusuários – vários usuários podem ter acesso a bancos de dados geográficos simultaneamente. O sistema operacional baseado em mecanismos multiusuários data de 1960. Mais recentemente, a tecnologia tem sido orientada no sentido de trabalhar com bancos de dados distribuídos, evitando a concentração de todos os dados numa única central.
- Opções gráficas – os sistemas permitem a entrada e saída de dados gráficos (em diversos formatos –raster, vetor, imagens, dados numéricos), o que facilita muito as operações primitivas nos sistemas geográficos de informações.
- Volume de dados e velocidade de tratamento – os dados dos sistemas geográficos de informações são complexos e volumosos, o que constantemente requer robustos sistemas de armazenamento de dados. Ao mesmo tempo o sistema é capaz de tratar com rapidez e eficiência grande volume de dados;

- Uso simultâneo de dados de origens diferentes – os primeiros sistemas foram quase todos baseados em CAD. Hoje uma unidade de geoprocessamento requer sistemas mais complexos que possam tratar simultaneamente dados de origens diferentes. Assim, para manipulação completa de informações hidrológicas, os sistemas devem ter algumas características, como: gerenciar bancos de dados; tratar imagens de satélites (de diversas origens – observação da terra, meteorológicos, hiperfrequências etc.); captar informações vetoriais e rasterizadas ; cruzar mapas; aplicar funções matemáticas em dados especializados ; Possuir opções cartográficas para finalização dos mapas, entre outras. Atualmente, para o uso simultâneo das informações, não se recomenda só um SIG, ou um CAD ou sistema de tratamento de imagens, mas sim um sistema que possua todas essas características.

- Custo – o sistema deve ter um custo baixo se comparado com outros sistemas baseados em modelagem matemática, processamento gráfico etc.

Diante do exposto, é notória a gama de benefícios que o geoprocessamento agrega em estudos hidrológicos, mostrando-se uma ferramenta viável e necessária para aumento da eficácia em análises ambientais contribuindo cada vez mais no cumprimento dos parâmetros da Política Nacional de Recursos Hídricos, para o gerenciamento e preservação deste recurso natural.

2.3.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

BOHNAM-CARTER (1996) afirma que o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema de software computacional com o qual a informação pode ser capturada, armazenada e analisada, combinando dados espaciais de diversas fontes em uma base unificada, empregando estruturas digitais variadas que representam fenômenos espaciais também variados, através de uma série de planos de informação que se sobrepõe corretamente em qualquer localização.

Com o SIG é possível a obtenção qualitativa e quantitativa de dados computacionais geográficos possibilitando a gestão dos recursos e aplicação de técnicas otimizadas baseadas em diagnósticos georeferenciados (CAVALLARI, 2007).

Há vários softwares da linguagem SIG sendo utilizados no atualmente, no entanto o *ArcGIS* e *QGIS* se destacam na comunidade acadêmica, o primeiro foi desenvolvido pela empresa Norte-Americana *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) já segundo foi desenvolvido pela *Open Source Geospatial Foundation* (OSGF) e dispõe um perfil mais estudantil, sendo distribuído gratuitamente na internet.

Apesar da origem dos dois programas computacionais, os mesmos são bastante parecidos e possuem uma gama de ferramentas que possibilitam trabalhar espacialmente com dados georeferenciados, simulando de maneira efetiva cotas hipsométricas, coordenadas cartográficas, confecções de mapas e modelagens ambientais.

2.3.3 Sensoriamento Remoto-Satélites de relevo.

O sensoriamento remoto pode ser definido como:

A ciência que visa o desenvolvimento de técnicas de obtenção e extração de informações sobre objetos da superfície terrestre, por meio da detecção e medição das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. (MENESES,2006).

O mesmo afirma ainda que aplicação conjunta do sensoriamento remoto e exploração espacial vem contribuindo continuamente para previsões meteorológicas, monitoração das alterações ambientais, levantamento dos recursos naturais, detecção de poluição, queimadas e etc. Ou seja, contribui para pesquisadores de várias áreas na busca de soluções para muitos problemas aos níveis local e principalmente global.

2.3.3.1 Coleta de dados e Classificação dos sistemas sensores

A forma de aquisição das medidas espectrais da superfície terrestre se dá por três níveis: terrestre, suborbital e orbital. Nos quais, a nível terrestre os sistemas sensores podem ser instalados em mastros, barcos, boias ou em laboratórios. No nível suborbital, geralmente, utiliza-se como plataforma de coleta de dados aeronaves, e para o nível orbital, empregam-se os satélites não tripulados e balões conforme a figura 6.E o que determinará a utilização de um dado sensor ou outro, para um determinado nível de coleta de dados espectrais, depende, sobretudo, de fatores

relacionados ao: objetivo da pesquisa; tamanho da área imageada ;disponibilidade de equipamentos sensores e o custo e precisão desejada dos resultados obtidos.(MOREIRA,2001).

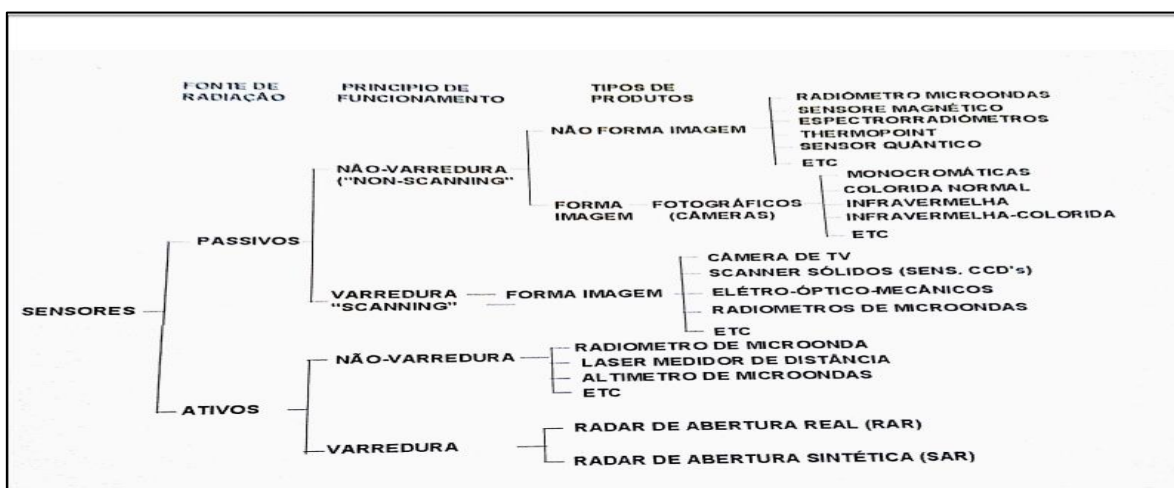
Figura 6- Tipos de coleta de dados: terrestres, suborbital e orbital.



Fonte: Moreira (2001)

A classificação dos sistemas sensores, ainda segundo o autor referido acima, se divide nas seguintes características: fonte de radiação, ao princípio de funcionamento e ao tipo de produto (figura 7).

Figura 7-Classificação dos sistemas sensores.



Fonte:(Moreira,2001)

2.3.3.2 Tipos de Resoluções

Resolução é a capacidade que um sensor tem para identificar o menor objeto possível. Sendo assim, na prática, a detecção de um objeto nas imagens de sensoriamento remoto é determinada por quatro diferentes formas de medições: área do campo de visada do sensor; comprimento de ondas; por valores numéricos da medida da radiância do alvo; e pelo tempo (data) em que a imagem foi tomada. Essas formas de medidas, se referem respectivamente a resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, nas quais serão definidas a abaixo: (MENESES, 2006).

1) Resolução espacial: É o menor elemento de área no terreno que é visto pelo sensor de uma dada altitude, em um instante de tempo. Este parâmetro é importante pelo fato de determinar qual o seria o tamanho mínimo de um objeto a ser identificado em uma imagem, ou seja, em função do tamanho da resolução espacial será possível constatar objetos com tamanho igual ou superior a mesma.

2) Resolução espectral: Envolve três parâmetros de medida: a largura do comprimento de onda das bandas; o número de bandas que o sensor possui e as posições que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético. Assim, quanto maior sua resolução espectral, melhor será a visualização e diferenciação de objetos em uma imagem.

3) Resolução radiométrica: É a medida da radiância por detetores, na qual será melhorada quando o sensor aumenta sua capacidade de medir valores precisos de um maior número de diferentes níveis de radiância, ou do sinal. Assim, as resoluções radiométricas para sensores multiespectrais com resolução espacial de 10 a 30 metros, são da ordem 8 bits ($2^8=256$ valores digitais), o que significa a capacidade de discriminar 256 valores diferentes de reflectância por banda espectral. Já sensores com alta resolução, o pixel possui o tamanho de 1 m, com uma resolução radiométrica de 10 ou 11 bits ($2^{10}=1024$ ou $2^{11}=2048$ valores digitais) para identificação individual de cada alvo através das formas e pequenas funções espectrais do mesmo.

4) Resolução temporal: Corresponde a medida temporal, em dias, que um satélite leva para obter, repetitivamente, uma nova imagem da mesma área, quanto mais curto for o período de tempo, melhor será a resolução temporal. Portanto a mais importante aplicação desta, é o acompanhamento da dinâmica dos fenômenos terrestres e da paisagem, como a monitoração do crescimento do desmatamento em florestas.

2.3.4 Dados SRTM para Obtenção de MDE's

A missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) da NASA no ano 2000, permitiu a obtenção de um modelo digital de elevação para boa parte da superfície terrestre (FARR et al., 2007). Os dados SRTM apresentam aplicabilidade no planejamento e gestão ambiental, assim como em projetos de manejo de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológicos, programas de conservação de florestas e do solo, dentre outros (ANDRADES FILHO et al., 2011). No Brasil, os dados originais foram aprimorados pela EMBRAPA e organizados para distribuição com resolução espacial de 90 m. Também o projeto Topodata do INPE (VALERIANO et al., 2010).

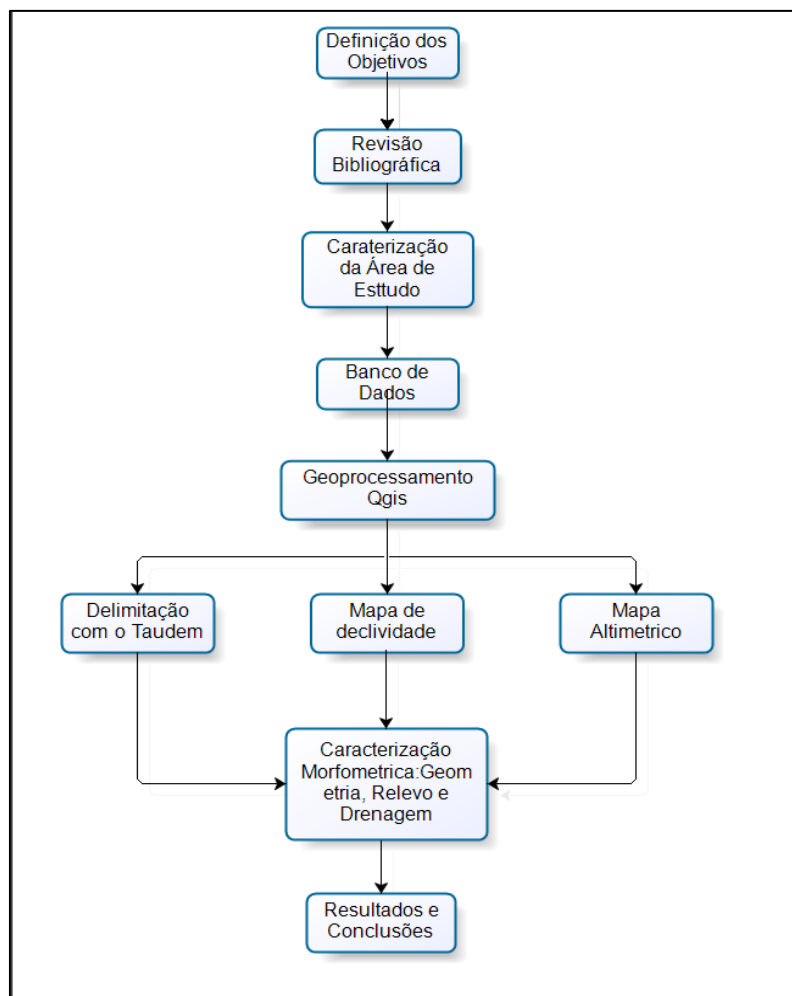
3 METODOLOGIA

Para que os objetivos deste trabalho fossem alcançados foram adotados procedimentos metodológicos que incluíram a utilização de um SIG para análise de imagens Srtm 30m, onde foram coletados dados físicos, hidrológicos e geomorfológicos da área estudada.

O SIG utilizado no geoprocessamento dos dados necessários para se estimar as características morfométricas da bacia foi o Qgis. Empregou-se o mesmo em conjunto com o as ferramentas do Taudem, software no qual permite uma serie de analises hidrológicas.

Este trabalho foi desenvolvido em várias etapas, conforme pode ser visualizado na Figura 8. Cada uma das etapas está descrita na sequência.

Figura 8- Organograma da Metodologia Aplicada.



Fonte: Autor

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

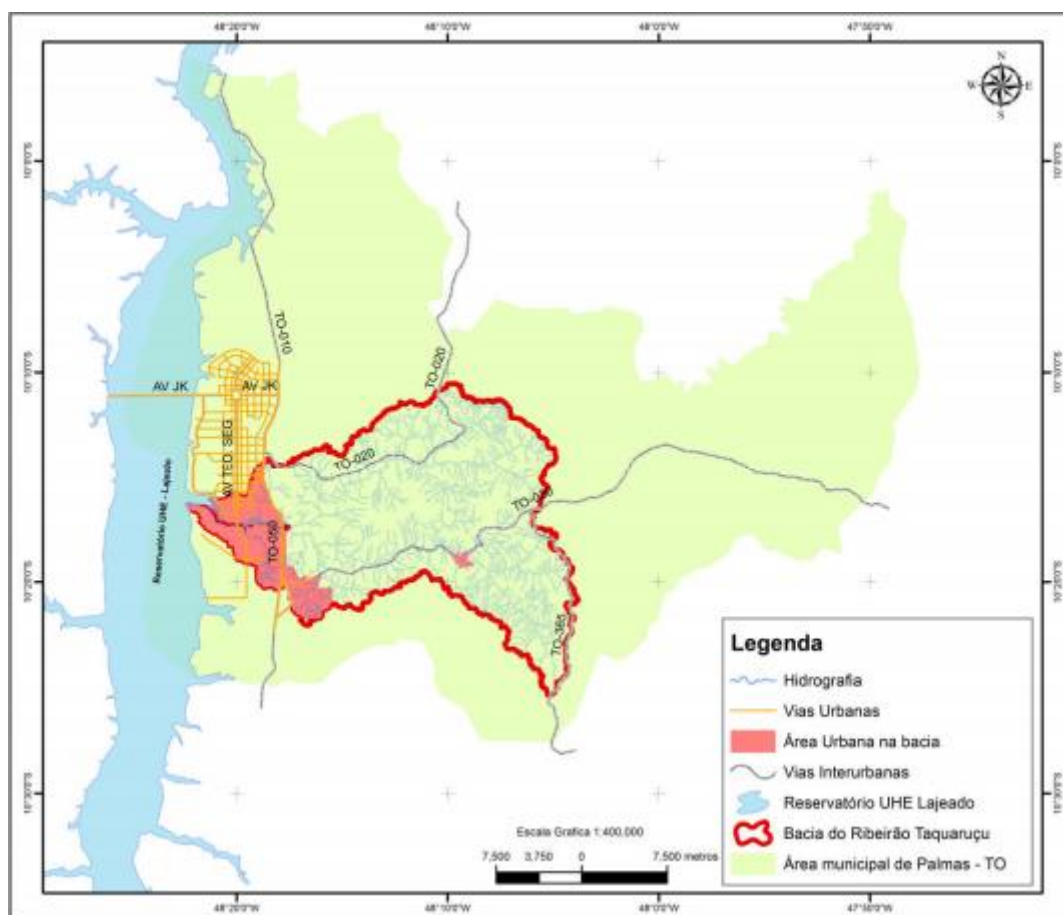
A bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçu está localizada na porção central do município de Palmas, entre os paralelos 10°10'41" e 10°25'05" de latitude Sul e os meridianos 48°03'46" e 48°18'34" de longitude Oeste de Greenwich (Figura-9).

A mesma tem sua nascente na APA Serra de Lageado, onde seu leito passa por chácaras e fazendas. É de conhecimento que ação antrópica gera o assoreamento do solo nos períodos chuvosos, no qual carreamento de detritos soltos ocasiona a obstrução do ribeirão. A região oeste da bacia, apresenta uma urbanização intensa, setores de Plano Diretor Sul, Taquaralto, Aurenny I, II e III e o aeroporto de Palmas (TOCANTINS,2014).

Essa bacia hidrográfica é afluente direta do Rio Tocantins e seus principais contribuintes pela margem esquerda são o Ribeirão Taquaruçuzinho, o Córrego

Machado e o Córrego Buritizal e pela margem direita são os Córregos Macacão e Tiúba (SANTOS, 2000). A bacia é interceptada pelas rodovias estaduais TO-050, TO-020 e TO-030 que dão acesso às regiões norte, sul e leste do Estado (TOCANTINS, 2012). A figura 9 demonstra os limites da bacia no município de Palmas -TO.

Figura 9- Localização da Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande em Palmas, TO.



Fonte: Chiesa (2016)

Do ponto de vista geológico apresenta uma grande diversidade, sendo caracterizada pela presença de litologias pertencentes aos domínios da Bacia Sedimentar do Parnaíba, da Faixa de Dobramentos do Proterozóico Médio e Superior, e dos Complexos Metamórficos do Arqueano e Proterozóico Inferior; além de Coberturas Cenozoicas (TOCANTINS, 1999).

3.2 BASE DE DADOS

A imagem de satélite para verificar o MDE da bacia será a do tipo SRTM 1 Arc-Second Global, na qual oferece uma cobertura mundial de dados vazios preenchidos

com uma resolução de 1 de arco de segundo (30 metros), sendo coletadas através do site da USGS. Já os vetores que indicam uma serie de informação tais como hidrografia, bacias, limites municipais e entre outros irão ser reunidos a partir do banco de dados da SEPLAN do estado do Tocantins.

3.3 GEOPROCESSAMENTO

Nesta etapa utilizou-se o software computacional QGIS versão 2.8.3 desenvolvido pelo OSGEO que trabalha com Sistema de Informação Geográfica (SIG) e permite trabalhar com dados espaciais para criação e manipulação de mapas utilizando um sistema de coordenadas georeferenciadas.

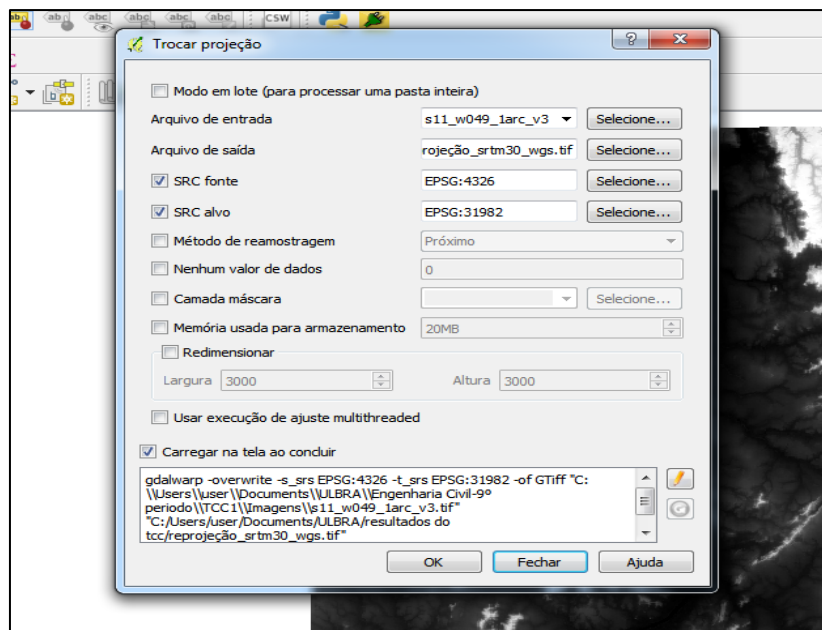
Através da ferramenta TAUDem foram feitas as seguintes análises:

- Desenvolvimento de Modelos Digitais de Elevação hidrologicamente corretos (remoção de depressões);
- Calculo do caminho de fluxo (direções) e a declividade;
- Calculo da área de contribuição usando métodos de direção de fluxo simples e múltiplos;
- Vários métodos para a delimitação das redes de drenagem, incluindo métodos baseados em formulários topográficos sensíveis à densidade de drenagem espacialmente variável;
- Métodos objetivos para a determinação do limiar para delineação de rede de canais com base no fluxo de gotas;
- Delimitação de bacias hidrográficas e sub-bacias.

3.3.1 Delimitação automática da Bacia com a ferramenta TauDEM

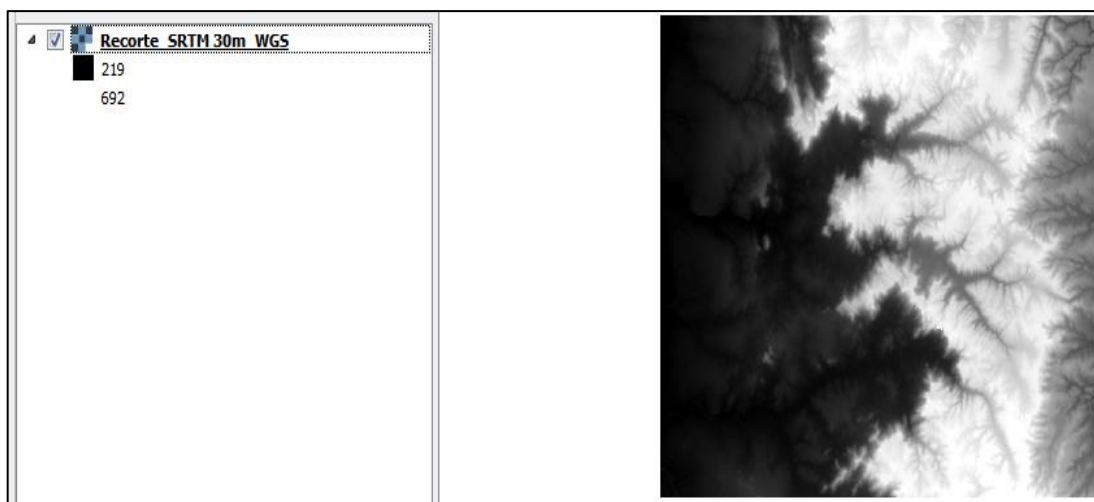
Para delimitação da bacia hidrográfica no TauDEM, primeiramente foi realizado uma reprojeção dos sistemas coordenadas geográficas do MDE para o sistema de coordenadas planas, neste caso para (EPSG:31982, SIRGAS2000/UTM zone 22S), com isso todos os algoritmos do programa funcionaram com perfeição (Figura10). Também foi feito um recorte no raster, priorizando a visualização da região onde bacia de Taquaruçu se localiza (Figura 11).

Figura 10-Reprojeção do Raster.



(Fonte: o Autor)

Figura 11-Recorte do Raster na região da bacia hidrográfica estudada.



(Fonte: Autor)

3.3.1.1 Pit Remove

Foi primeira etapa para a delimitação da bacia, este algoritmo consiste na remoção de depressões espúrias existentes num MDE. Depressões ou áreas planas que apresentam cotas inferiores à vizinhança podem ocorrer naturalmente no relevo, mas, geralmente, são resultantes de erros nos processos de geração do MDE. Por

essa razão, essas depressões devem ser retiradas por um procedimento automático, ao executar os seguintes comandos:

Processar>Basic Grid Analysis Tools>Pit Remove.

3.3.1.2 D8 Flow Directions

Gerou o raster que mapeia o escoamento de água através do método D8, que estima para cada pixel presente na imagem oito direções para o fluxo hídrico. O algoritmo *D8 Flow Directions* gera dois arquivos raster: a direção de fluxo e a declividade obtendo-se pelos comandos:

Processar>Basic Grid Analysis Tools> D8 Flow Directions.

3.3.1.3 Algoritmo D8 Contributing Area

A área de contribuição corresponde aos limites da bacia hidrográfica determinado pelo ponto de escoamento. Este ponto de escoamento é um arquivo shapefile de pontos definido pelo analista. Este processo foi executado em três passos: primeiro, criou-se o mapa raster da área de contribuição. Após a criação, é preciso apontar para a foz ou exutório da bacia (*outlets*) e marcar o ponto. Por último, obteve-se novamente o raster *D8 Contributing Area* indicando o ponto de escoamento nos parâmetros. O ponto de escoamento pode ser um exutório, barragem ou reservatório.

Este processo deve ser executado em duas fases, gerando duas versões da área de contribuição da bacia. Na primeira fase, cria-se uma área de contribuição geral para visualizar as sub-bacias. Esta fase foi importante para definir o ponto de exutório. Na segunda fase, necessitou-se executar novamente o algoritmo *D8 Contributing Area* informando o exutório nos parâmetros do programa. Desta forma, o TauDEM realizou a delimitação de uma bacia específica, sendo executado pelas funções:

Processar>Basic Grid Analysis Tools> D8 Contributing Area.

3.3.1.4 Algoritmo Stream Definition by Threshold

Através dessa função, criou-se um raster contendo a rede de drenagem. Esta não é a rede de drenagem definitiva: conforme foi determinado para o raster *D8*

Contributing Area, a definição dos córregos deve ser aplicada em toda a extensão da área de interesse através de um limiar (*threshold*) para a criação dos rios de margens simples. Na segunda etapa, essa definição de córrego por limiar deve ser estabelecida apenas para a região da sub-bacia.

Processar >Stream Network Analysis Tools >Stream Definition by Threshold

3.3.1.5 Criação do shapefile de Ponto

Esta etapa consistiu na criação do ponto de exutório, dependendo assim, da localização da bacia. Basicamente, é preciso apontar o local da barragem ou foz e marcar o ponto ali. Depois, executou-se novamente os algoritmos do item 3.3.1.3 e 3.3.1.4 para delimitar a bacia. Para a criação do ponto utilizou-se as funções abaixo:

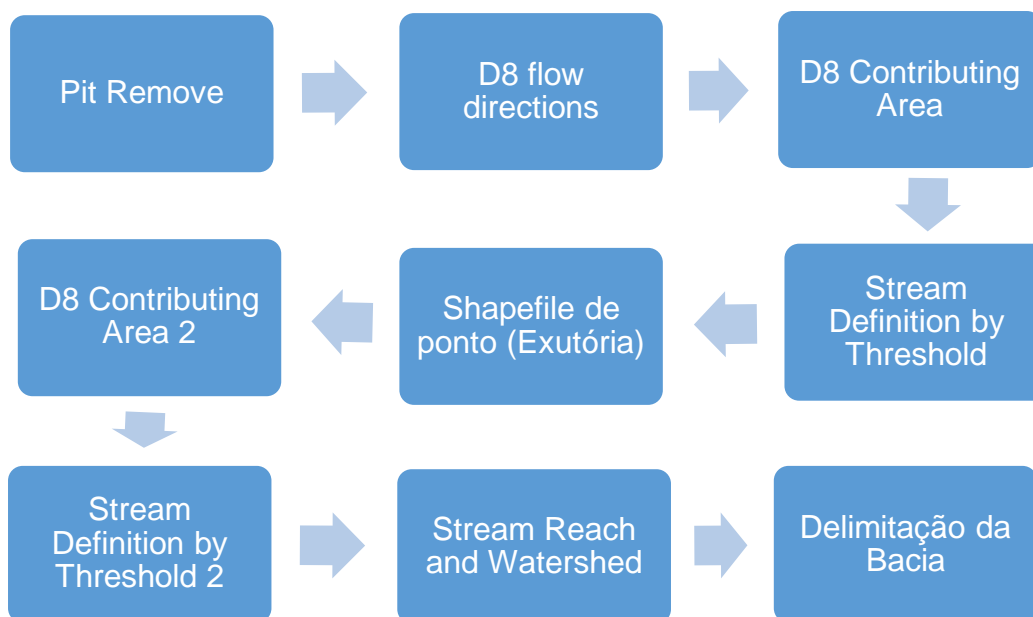
Menu Camada>Criar Camada>Camada do Tipo Shape

3.3.1.6 Stream Reach and Watershed

Após a realização das etapas descritas acima, este é o último algoritmo do TauDEM, a ser executado. O mesmo vetorizou a rede de drenagem do formato raster para o formato shapefile, além disso, criou-se a bacia da região estudada. Após este processo foi necessário uma série de mudanças nas propriedades dos vetores gerados, para a hierarquização fluvial e melhor visualização da bacia. Para a execução deste parâmetro foi utilizado a seguinte sequência de comandos:

Processar >Stream Network Analysis Tools >Stream Reach and Watershed

Figura 12-Organograma da ordem dos processos no TAUDem



Fonte: (Autor)

3.3.2 Mapa de declividade

Para esta etapa o raster já com a forma bacia delineada e sem as depressões espúrias gerado pelo pit remove, também estava configurado com coordenadas planas, para que os algoritmos ao serem executados, apresentassem os resultados em unidades métricas. Sendo assim, utilizou-se a ferramenta Grass, oriunda da própria instalação do Qgis, na qual possui uma função que calcula a declividade em graus ou porcentagem do MDE, após o a execução do algoritmo as classes de declividade foram reclassificadas de acordo com as definidas pela Embrapa (Tabela2).

Tabela 2- Classes de Declividade Embrapa (1979)

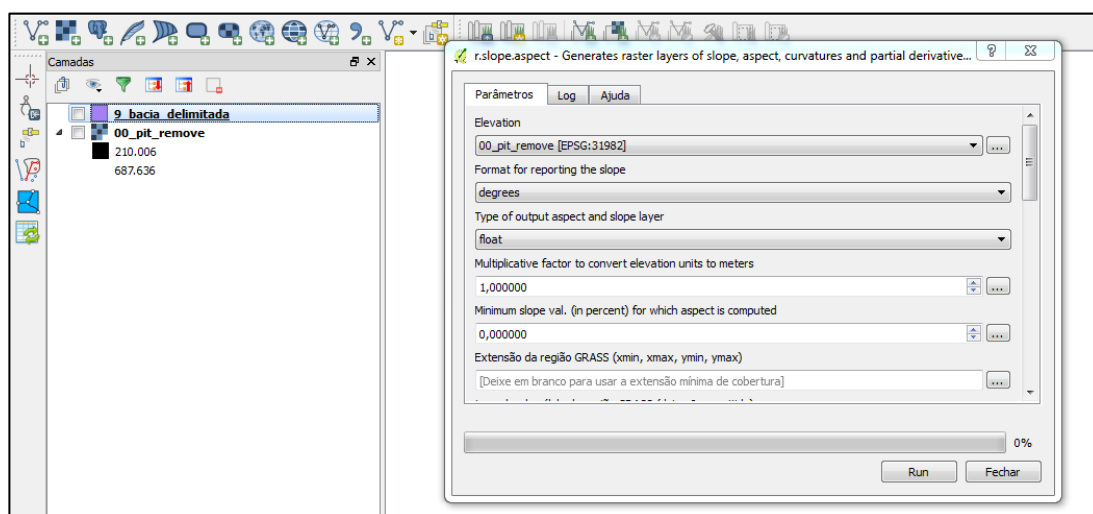
Declividade (%)	Relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave-ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte-ondulado
45 - 75	Montanhoso
>75	Forte-montanhoso

(Fonte: Embrapa,1979)

Os cálculos deste comando foram realizados de acordo com as fórmulas de Horn (1981). Para a determinação da declividade e do aspecto, o algoritmo utiliza uma matriz 3x3 ao redor de cada pixel, portanto não é possível calcular os valores para as células adjacentes às bordas do layer. Essas células recebem valores de declividade zero. Então, a figura 13 demonstra a seguinte sequência de comandos:

Processar>Caixa de ferramentas>buscar pelo comando: **r.slope.aspect**

Figura 13-Comandos para Cálculo da declividade do MDE



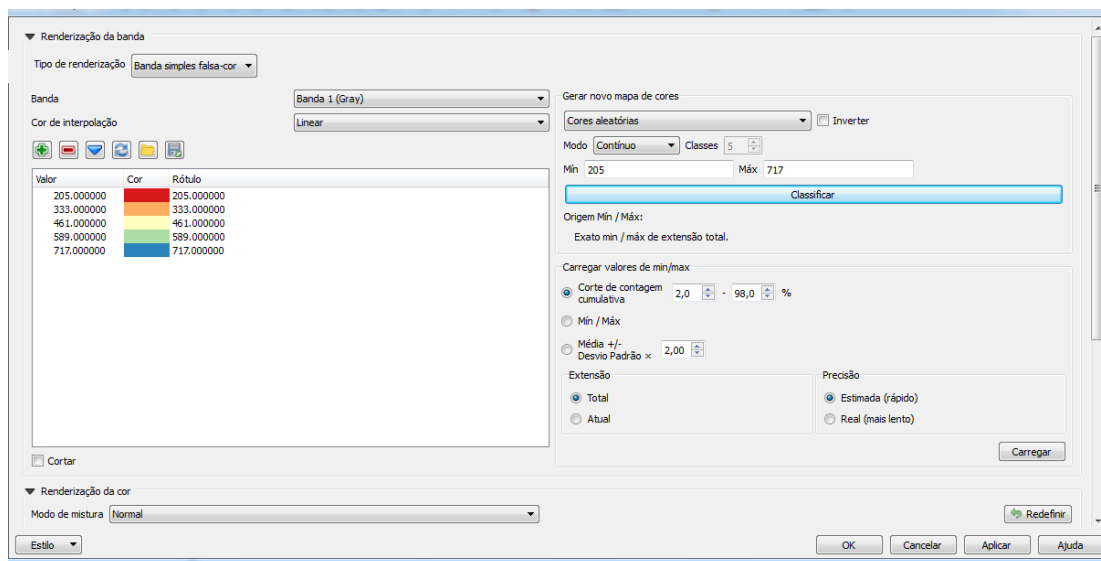
Fonte: (Autor)

3.3.3 Mapa Hipsômetrico.

Para este mapa o processo inicial foi o mesmo dos itens 3.3.2 e 3.3.3. Este mapa representa a elevação de um terreno através de cores, geralmente utiliza-se um sistema de graduação de cores começam com verde escuro para baixa altitude e, passando por amarelo e vermelho, até cinza e branco para grandes elevações.

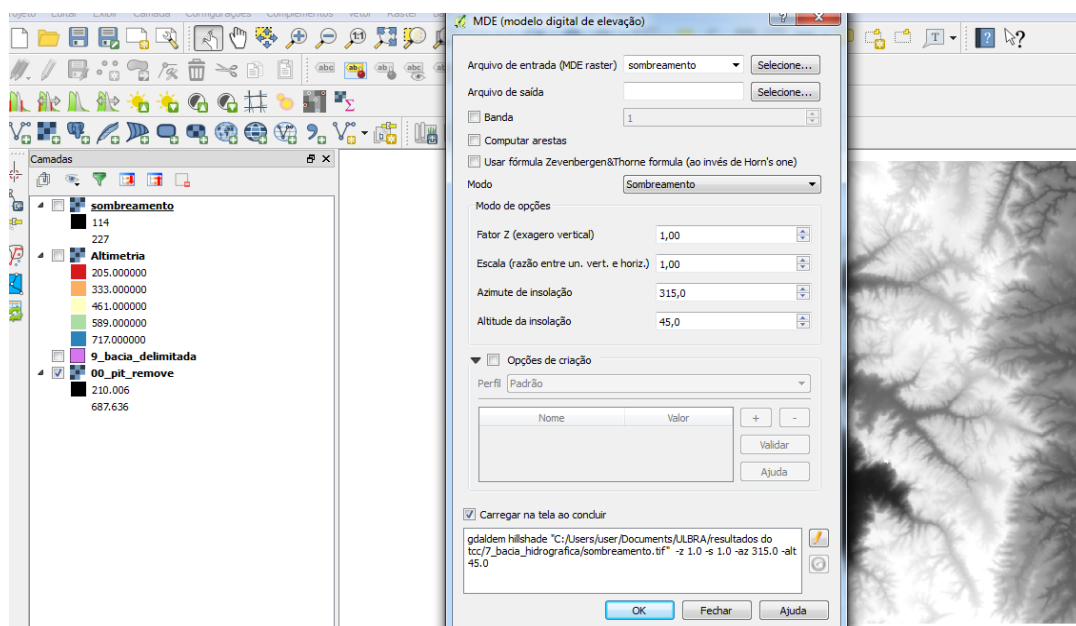
Obteve-se o mapa através de 2 fases: A primeira consistiu na mudança de propriedades de renderização do raster, através deste processo foi possível a classificação altimétrica da região em valores mínimos e máximos (Figura 14). E a segunda foi criação do efeito de sombreamento na imagem através dos comandos: Raster > Análise de Terreno > Sombreamento (Figura 15). Após esses processos ,obteve-se 2 imagens sobrepostas.

Figura 14- Mudança de Propriedades de Renderização das Imagens.



Fonte:(Autor)

Figura 15- Sequência de comandos para o efeito de Sombreamento.



Fonte:(Autor)

3.4 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

Na caracterização morfométrica serão abordados os parâmetros envolvendo as características geométricas, do relevo e drenagem os quais serão expostos na Tabela 3 discriminando cada equação para obtenção do mesmo, sendo que as definições e relevâncias de tais parâmetros já foram abordados no item 2.2.

Deve-se ressaltar que alguns parâmetros desta caracterização serão obtidos pelo geoprocessamento descrito no item 3.3, tais como: área, perímetro, comprimento das bacias e dos canais, declividades, altimetria e a ordenação dos cursos d'água segundo Strahler.

Tabela 3-Parâmetros morfometricos calculados.

Numeração	Abreviação	Parâmetro	Definição	Unidade	Referência
eq.1	Kf	Coeficiente de forma	$F = \frac{A}{L^2}$	–	–
eq.2	Kc	Coeficiente de compacidade	$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	–	Strahler(1964)
eq.3	Ic	Índice de circularidade	$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2}$	–	Miller (1953)
eq.4	Dd	Densidade de drenagem	$Dd = \frac{L}{A}$	km ⁻¹	Horton(1945)
eq.5	Dh	Densidade de hidrografica	$Dh = \frac{N}{A}$	canais/km ²	–
eq.6	Is	Índice de sinuosidade	$Is = \frac{Lpr}{Dv}$	–	–

Fonte :(Autor)

3.5 ANÁLISES E RESULTADOS

Com os dados físicos obtidos da bacia, elaborou-se uma planilha no software Excel de acordo com os parâmetros da (Tabela 3), nos quais os resultados serão classificados de acordo com os autores citados no referencial. Sendo assim, as principais análises que foram feitas com relação a morfometria foram: risco de enchentes, escoamento superficial, classificação da qualidade da drenagem e transporte de sedimentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA

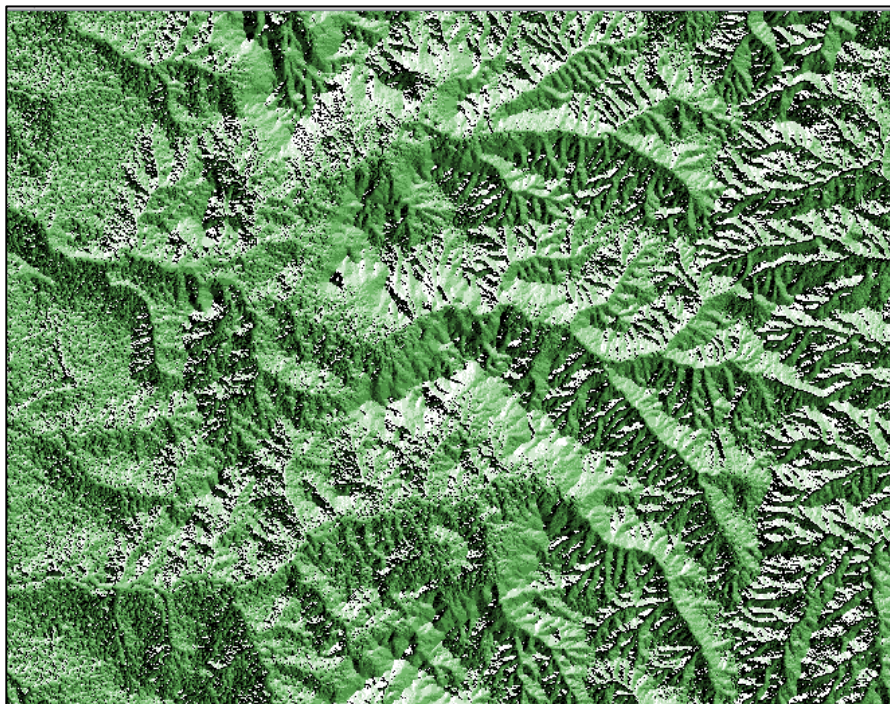
Os resultados apresentados na sequência correspondem à etapa de processos com a ferramenta TauDEM, na qual as características físicas da bacia são organizadas e/ou processadas, para a delimitação da bacia hidrográfica.

A Figura 16 expressa o raster após o primeiro processo, o Pit remove, nessa condição a imagem se encontra hidrologicamente corrigido. Já a Figura 17, após o D8 *Flow direction*, a determinação das direções de fluxo a água no TauDEM, o qual leva em consideração o relevo da bacia (MDE),

Figura 16- Raster Após o processo do Pit Remove.

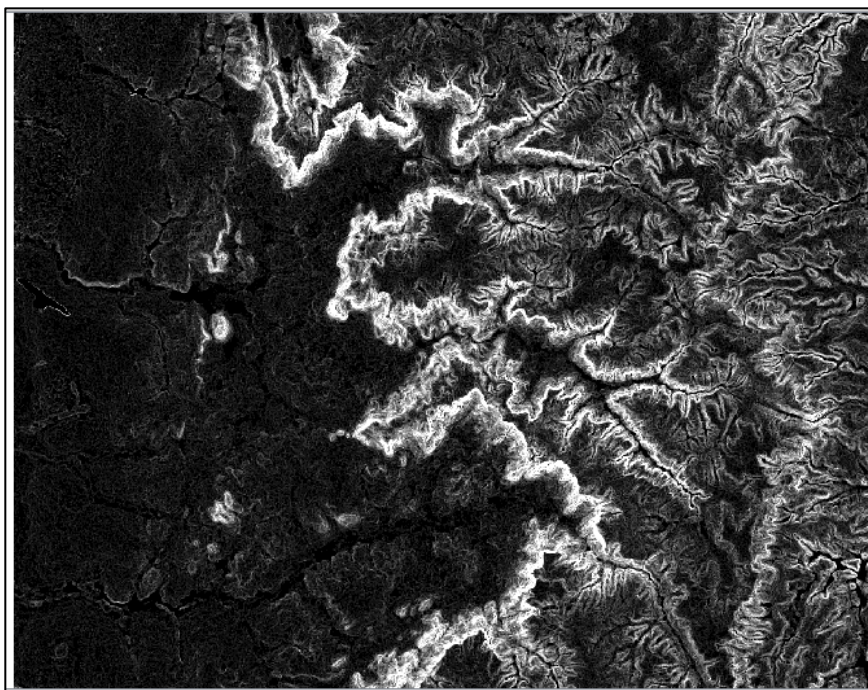


Figura 17- Relevo da Bacia Hidrográfica, onde cada pixel indica o sentido em qual água escoar.



Ainda resultando juntamente com os fluxos de água do processamento do algoritmo, é mostrado na Figura 18 as declividades do MDE, sendo as partes mais claras as de maior declividade e as mais escuras as planas.

Figura 18- Raster resultante do Slope Grid.



A partir das direções de fluxo foi determinada a primeira área de drenagem acumulada da bacia (Figura 19). A Figura 20 representa toda a rede de drenagem da região da bacia antes da definição da exutória, definida de forma automática no TauDEM, tendo como dado de entrada a área de drenagem acumulada.

Figura 19-Área de contribuição da bacia -versão1

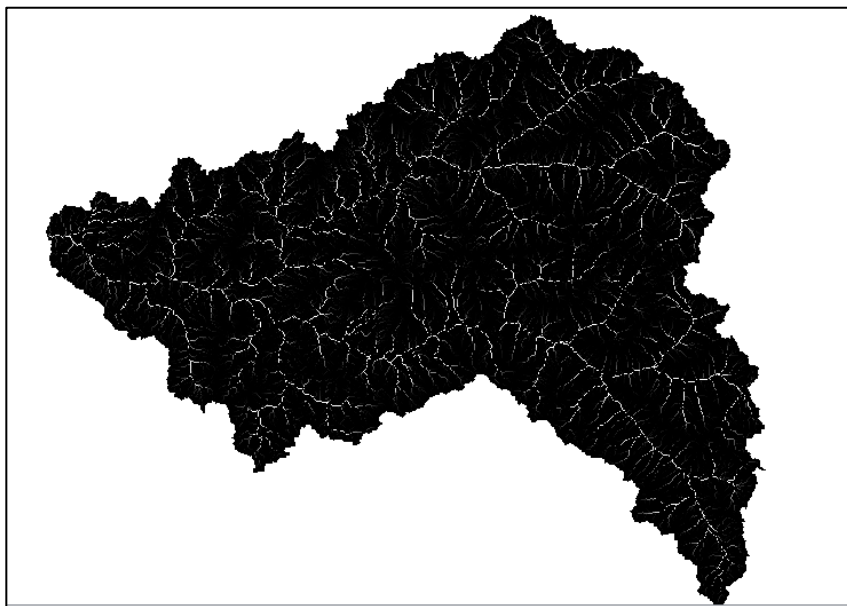
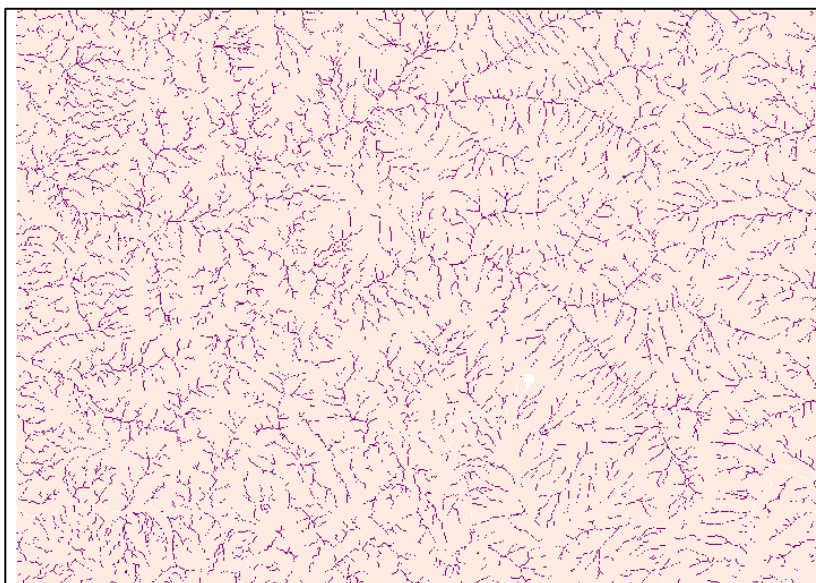
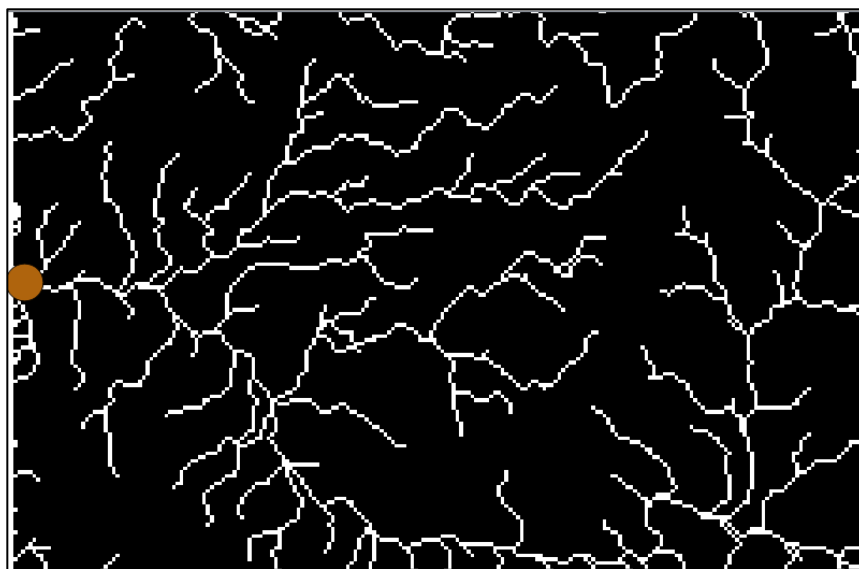


Figura 20-Rede total de drenagem da bacia



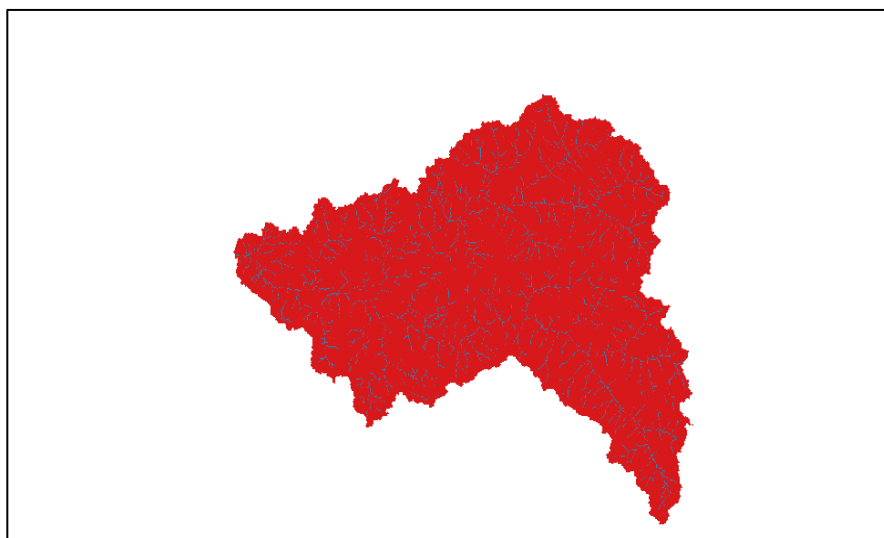
A figura 21 demonstra a criação do shapefile de ponto, localizando a exutória da bacia.

Figura 21-Shapefile do Ponto de Exutória.



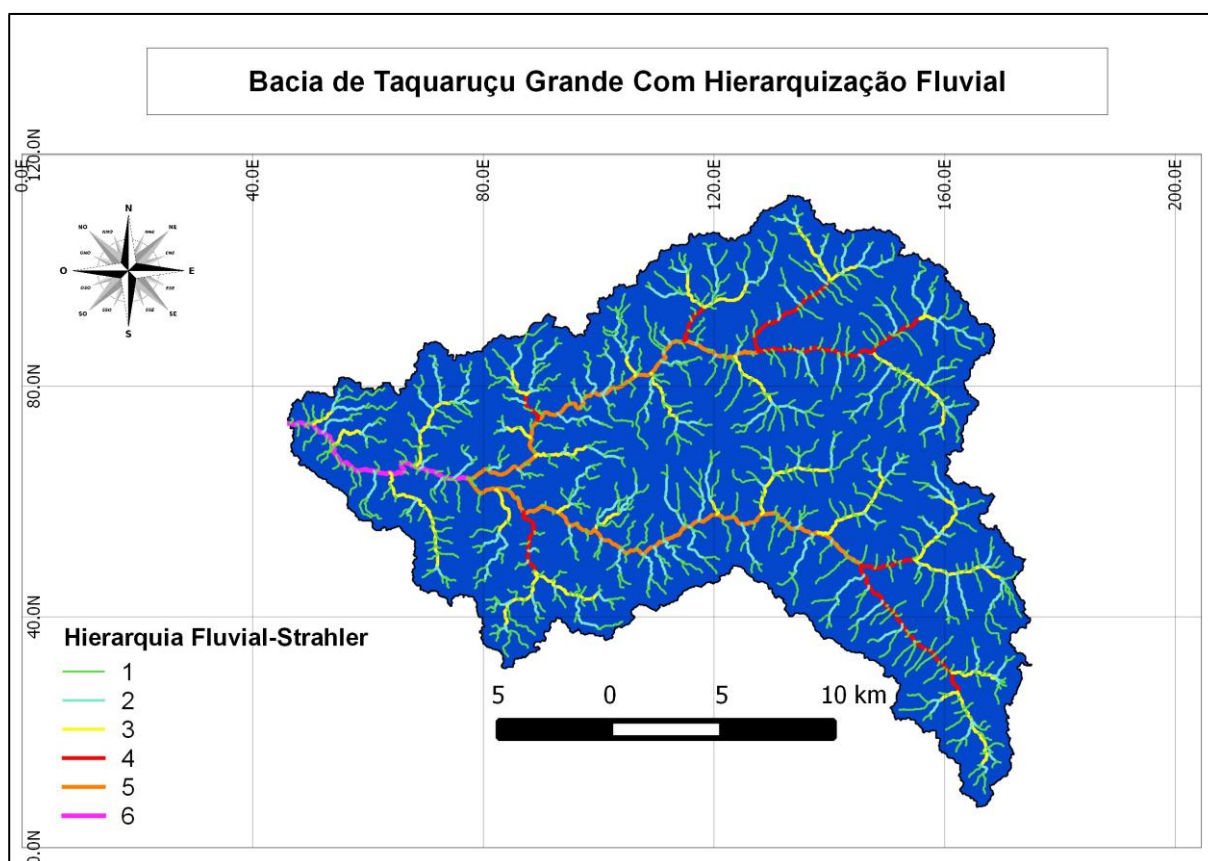
Na Figura 22 demonstra a rede de drenagem com todos os canais a partir do ponto exutório, posteriormente as segundas versões dos algoritmos D8 Contributing Área de e Stream Definition by Threshold, gerando ao todo 1364 trechos de rio.

Figura 22-Área de contribuição e Rede drenagem Segmentada



Em seguida, A figura 23 mostra o resultado final da delineação da bacia de Taquaruçu em forma de mapa. No qual é resultante, do algoritmo Stream Reach and Watershed, com uma série de mudanças nas propriedades dos rasters, e vetorização do mesmo, para uma melhor qualidade das imagens, hierarquização fluvial e definição limites da bacia.

Figura 23-Mapa da Bacia de Taquaruçu com Hierarquização fluvial.



4.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMETRICA

4.2.1 Características Geométricas

Os valores de área, perímetro e quantidade de canais foram obtidos através do comando calculadora de campo na tabela de atributos do shapefile gerado pelo processo descrito no item (4.2), as figuras 24 e 25 demonstram a obtenção destes parâmetros. O comprimento axial (Lax) também foi medido pelo uso deste recurso (Figura 26).

Figura 24-Calculadora de campo na tabela de atributos do QGIS.

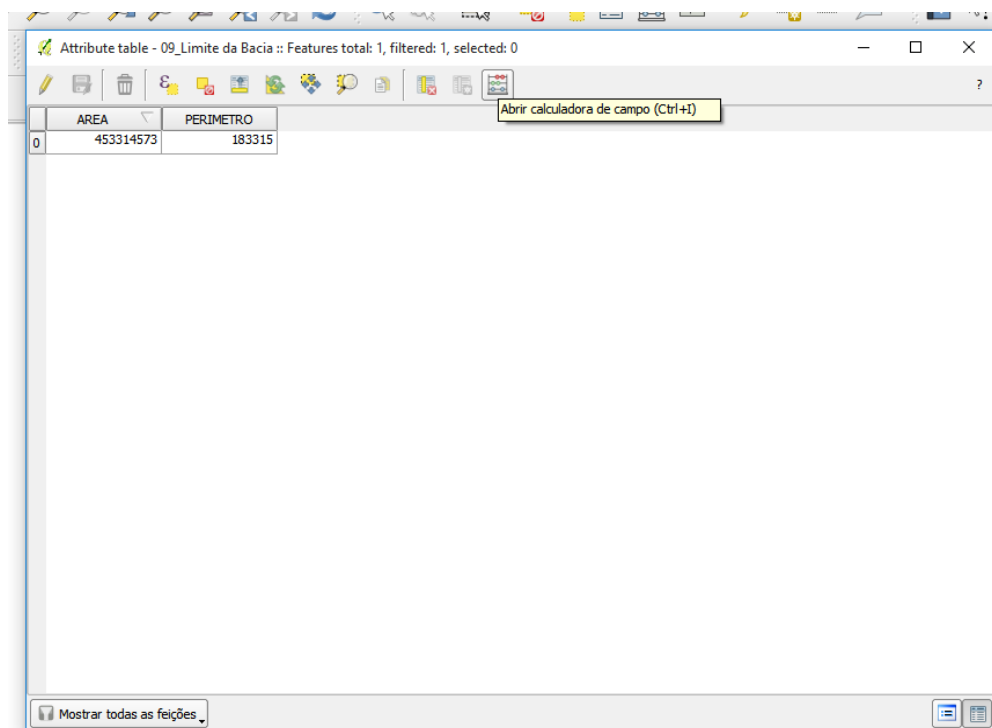


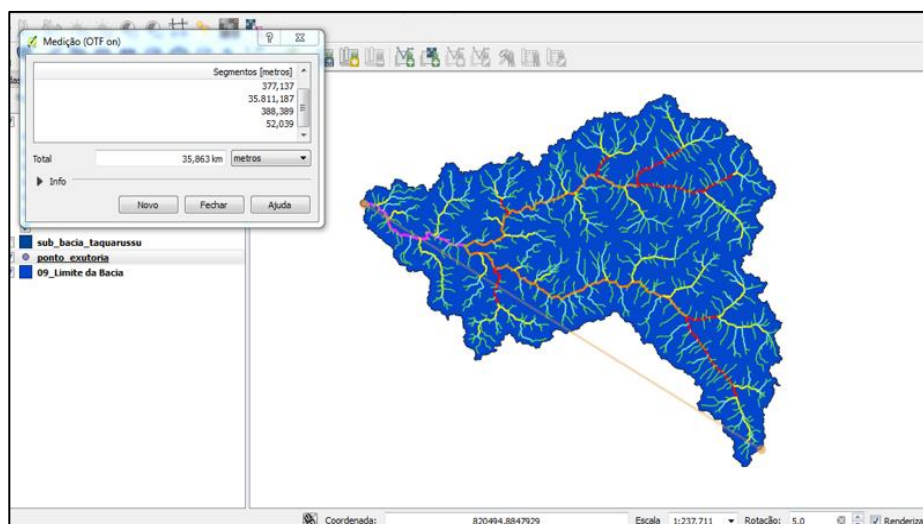
Figura 25-Quantidade total de canais na encontrados na Bacia.

Attribute table - 08_drenagem_final :: Features total: 1365, filtered: 1365, selected: 1

	LINKNO	DSLINKNO	USLINKNO1	USLINKNO2	DSNODEID	Order	Length	Magnitude
1342	55	593	-1	-1	-1	1	399.8	
1343	53	779	-1	-1	-1	1	657.1	
1344	49	419	-1	-1	-1	1	61.2	
1345	47	675	-1	-1	-1	1	883.8	
1346	45	597	-1	-1	-1	1	264.8	
1347	43	467	-1	-1	-1	1	173.0	
1348	41	585	-1	-1	-1	1	435.6	
1349	39	443	-1	-1	-1	1	435.6	
1350	37	789	-1	-1	-1	1	939.8	
1351	35	521	-1	-1	-1	1	61.2	
1352	33	797	-1	-1	-1	1	30.6	
1353	31	767	-1	-1	-1	1	595.9	
1354	29	643	-1	-1	-1	1	374.4	
1355	27	529	-1	-1	-1	1	572.8	
1356	25	721	-1	-1	-1	1	491.5	
1357	23	625	-1	-1	-1	1	965.1	
1358	21	619	-1	-1	-1	1	527.3	
1359	19	823	-1	-1	-1	1	491.5	
1360	17	467	-1	-1	-1	1	588.5	
1361	13	427	-1	-1	-1	1	43.3	
1362	7	773	-1	-1	-1	1	1631.8	
1363	5	427	-1	-1	-1	1	295.3	
1364	3	731	-1	-1	-1	1	651.8	

Mostrar todas as feições

Figura 26-Distância entre o ponto de exutória e o ponto mais distante da bacia (Lax).



Estes dados foram a base para o cálculo dos parâmetros morfométricos ligados a geometria. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos na bacia de Taquaruçu Grande.

Tabela 4- Características geométricas da bacia da hidrográfica do ribeirão Taquaruçu Grande

Características Geométricas	
A-Área (Km ²)	453,315
P- Perímetro (Km)	183,315
Kf- Coef. de Forma	0,352
Kc- Coeficiente de Compacidade	2,411
Ic- Índice de Circularidade	0,170
Padrão de Drenagem	Dentrítico

Ao analisar os valores obtidos, inferi-se que a bacia tem baixa propensão a enchentes, evidenciado pelo valor de F que foi menor que 0,5 e Kc que foi maior que 1,5, ambas classes proposta por Silva e Mello (2008). Este fato se deve a forma da bacia em questão ser mais alongada que circular devido ao valor de Ic, no qual valores menores que 0,51 tendenciam maior alongamento de uma bacia (BORSATO,2005). Observando a os cursos d`agua pelo mapa da bacia delimitada no item (4.1), é possível a classificar o padrão de drenagem no tipo dentrítico de acordo com as classificações do referencial.

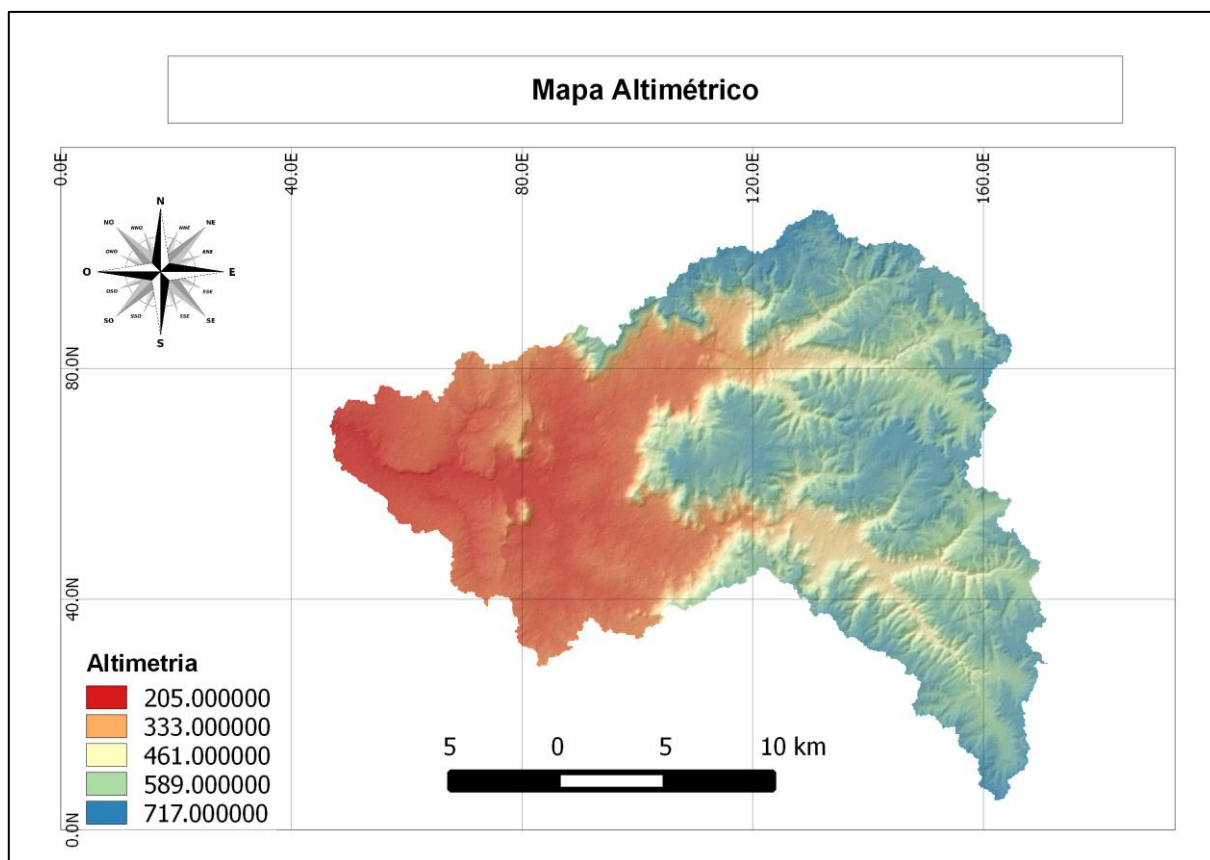
4.2.2 Características de relevo

Tabela 5- Características do relevo da Bacia Hidrográfica do ribeirão Taquaruçu Grande.

Características de Relevo	
Altitude máxima (m)	717,000
Altitude mínima (m)	215
Amplitude Altimetria	502
Declividade	0 a 75%

A representação altimétrica, obtida por meio de imagens SRTM, mostra que as altitudes na bacia em estudo variam de 205 a 717 metros, aproximadamente (Figura27).

Figura 27-Mapa Altimétrico da Bacia.

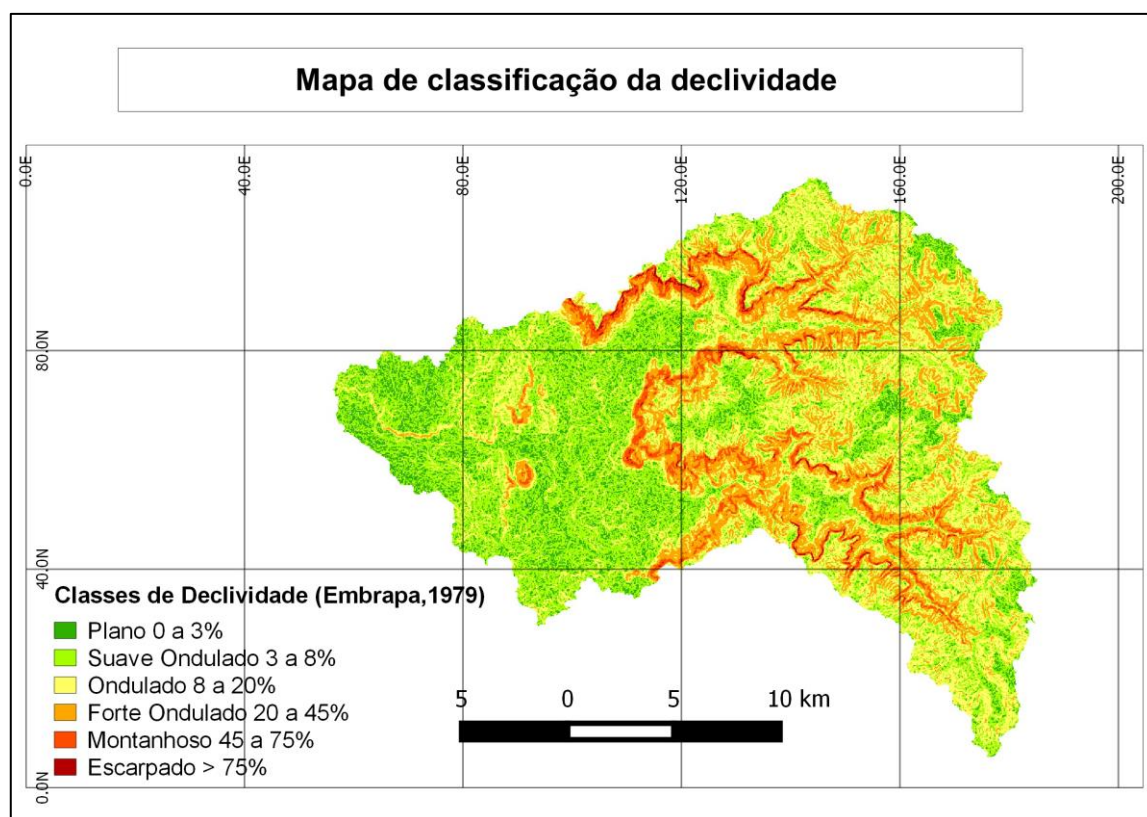


Com o mapa da declividade (Figura 28) obtido, verificou-se que na região leste se encontram as maiores declividades devido a serra de Lajeado, onde muitas das nascentes se encontram, sendo classificadas como regiões montanhosas com declividades variantes de 45 a 75 %. Na porção central existem pontos com declives de maiores que 75 %, mostrando um relevo escarpado, que são os divisores de águas.

A região oeste, no sentido do rio Tocantins apresenta as regiões mais planas de 0 a 3 % de declividade, demonstrando assim a direção do fluxo de água no sentido leste para oeste.

Deve-se ressaltar a influência da declividade no aumento da velocidade em que o escoamento superficial se dá nos terrenos da bacia, a mesma influência em vários em processos tais como: pico de enchente, infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos (VILLELA; MATTOS,1975).

Figura 28-Mapa das Declividades da Bacia segundo classificação da Embrapa.



4.2.3 Características de rede de drenagem

Para quantificar essas características, foi necessário a obtenção dos dados de Ltc e Lrp. O primeiro foi calculado pela ferramenta *group stats*, já o segundo foi mensurado manualmente, ambos obtidos no ambiente SIG. Estes procedimentos são mostrados nas figuras 29 e 30.

Figura 29-Ferramenta group stats no QGis.

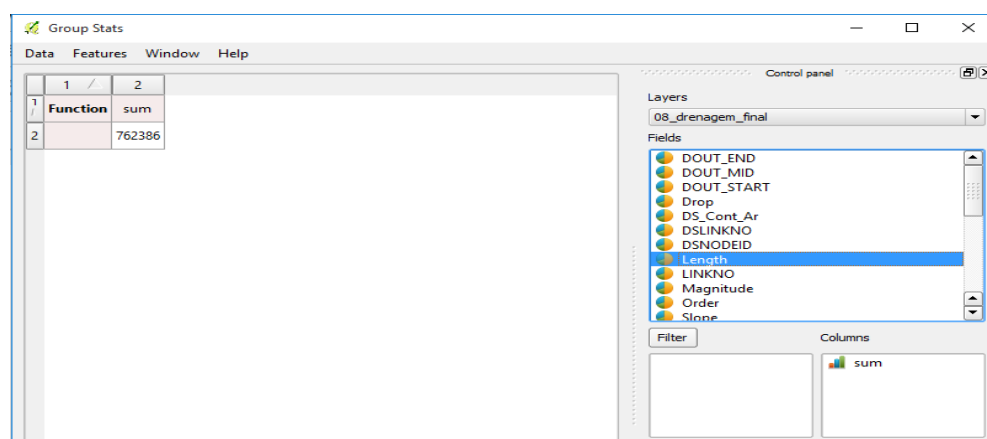
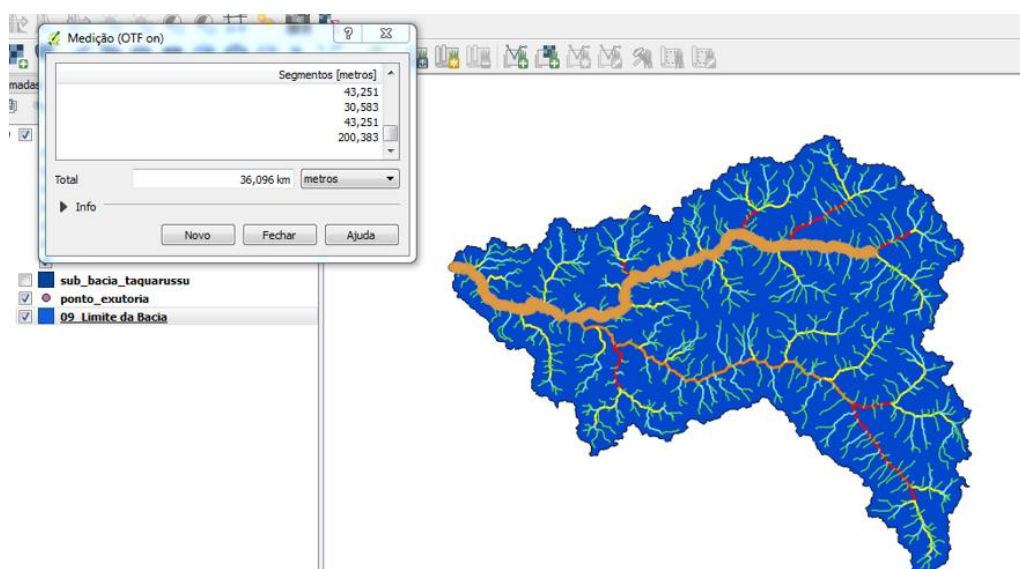


Figura 30-Medição do comprimento do Canal Principal (Lcp).



Sendo assim, a tabela 6, mostra os parâmetros calculados para caracterização da rede de drenagem da bacia em estudo.

Tabela 6- Características da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do ribeirão Taquaruçu Grande.

Características de Rede de Drenagem	
Ltc-Comprimento de todos os canais (Km)	762,386
Lrp- Comprimento do Ribeirão Taquaruçu grande (Km)	36,096
Ordenação do córrego	6 ^a
Dd-Densidade de drenagem (Km/Km ²)	1,682
Dh-Densidade de drenagem (canais/Km ²)	3,009
Is-Índice de sinuosidade	1,694

A densidade de drenagem foi considerada baixa, pois o valor encontrado foi menor que 5 km km⁻² segundo a classificação de Silva e Mello (2008), indicando que esta bacia hidrográfica apresenta baixa relação entre o comprimento de rios e a área da bacia, com um eficiente escoamento de fluxo de água e boa infiltração para o lençol freático.

O valor de Dh informa que existe aproximadamente 3 rios para cada um quilômetro quadrado da bacia, no qual torna o ambiente favorável para a geração de novos cursos fluviais, em função das características morfológicas do relevo como apresentado por Castro e Carvalho (2009). O índice de sinuosidade teve um valor de 1,69, portanto canal principal é retilíneo e favorece um maior transporte de sedimento conforme a literatura.

5 CONCLUSÃO

A partir dos dados encontrados nesta pesquisa inferiu-se que nos estudos relacionados a bacias hidrográficas, a morfometria é de extrema importância, pois os resultados obtidos demonstraram a importância e influências da forma de uma bacia em toda dinâmica hidrológica e hidráulica local.

A ferramenta do sistema de informação geográfica QGis, o Taudem, atendeu as expectativas para o delineamento automático da bacia, onde foi possível cálculo dos elementos básicos para a obtenção das características morfométricas da mesma.

Com isso a bacia em estudo, possui forma alongada, sem propensão a cheias, com eficiência no escoamento de fluxo d'água e boa infiltração para o lençol freático, além de apresentar um canal principal retilíneo, favorecendo o transporte de sedimentos. As grandes declividades no início do seu trajeto tendem a uma constante com valores relativamente baixos na exutória, tornando a velocidade do fluxo de água lenta. Sendo assim, a mesma possui um ambiente favorável para geração de novos cursos fluviais sendo que estes não estão sujeitos apenas ao fator geológico na constituição hierárquica da hidrografia local.

Por fim, sugere-se como linhas de pesquisas futuras a utilização da ferramenta Taudem, para delimitação automática de bacias hidrográficas em ambientes de SIG gratuitos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA H. A. & SILVA, L. **Determinação das características hídricas da microbacia de drenagem da barragem Vaca Brava.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 16, n. 1, p.77-86, 2008.

ALVES, J.M.P; CASTRO, P.T.A. **Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análises de padrões de lineamentos.** Rev. Brasileira de Geociências, p. 117-1245, jun. 2003.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: informe 2011** Disponível em: < <http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 28 março.2016.

ANDRADES FILHO, C.O; ROSSETTI, D.F; ZANI, H. **Hipsometria derivada de MDE-SRTM aplicada na distinção entre a Formação Barreiras e os Sedimentos Pós-Barreiras na Bacia Paraíba.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. Anais. 2011. p. 3443-3443

ÁVILA, C. J. C. P et al. (1999). **“Geoprocessamento da Informação Hidrológica”.** O Estado da Águas no Brasil, ANEEL, 187-196.

BARROS, E. K. E. **Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente (APP) e identificação do conflito de uso da terra na bacia do Ribeirão Taquarussu Grande, Palmas – TO.** Monografia. Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2007.

BIER, F. B. **Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC.** Florianópolis, 2013, 115 p., Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

BOHNAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS**. Ottawa: Pergamom, 1996.

BORMANN, Bernard T. et al. **A framework for sustainable-ecosystem management**. Portland: Department Of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1994. 61 p. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-331.

BORSATO, F.H. **Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá. Maringá– PR. 2005.

BOTELHO, R. G. M. & SILVA, A. S. da. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. In:

CAVALLARI, R. L. **A importância de um Sistema de Informação Geográfica no Estudo de Microbacias Hidrográficas**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v. 6, n. 11, 2007.

CHIESA, Viviane Basso. **APLICABILIDADE DE MODELOS MATEMÁTICOS NA ANÁLISE DE PROCESSOS DE OUTORGA: O CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU**. 2016. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas-to, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/253>>. Acesso em: 04 out. 2016

CHRISTOFOLETTI, A. **A morfologia de bacias de drenagem**. Notícias Geomorfológicas, Campinas, v.18, n.36, p.130-2, 1978.

CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo. Edgard Blücher, 1980. 188 p.

CRUCIANI, D.E. **Hidrologia**. Piracicaba: ESALQ, 1976. 134p.

Farr, T.G.; Kobrick, M. 2000. **Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data**. EOS (Transactions, American Geophysical Union), v.81, p.583-585.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FRANÇA, G.V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. Piracicaba, 1968. 151p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1968

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia (2. ed.)**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e Meio ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 392 p.

HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geol. Soc America Bulletin, v.3, n.56, 1945.

LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ/ USP. 143 p, 1976.

LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia Florestal para o manejo de bacias Hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ/ USP. 1986. 242 p.

MARINHO, C. F. C. E. **Caracterização hídrica e morfométrica do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba**. 67 f. Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido) Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

MARTINS, F.B. et al. **Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS)**. Estudo de caso. Cerne, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, jul./set. 2005.

MENESES, Paulo Roberto. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Unb, 2006. 138 p

MOREIRA, Mauricio Alves. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto: E Metodologias de Aplicação**. São José dos Campos-sp: Inpe, 2001. 250 p.

NOVAES, L.F.; AMARAL, L.G.H.; TERRA, A.A. **Determinação das características físicas da bacia hidrográfica do rio Corrente**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14., 2004, Porto Alegre. **Anais XIV CONIRD**. 2004.

PISSARA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A.S. **Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP)**. Rev. Bras. Ciências do Solo, Viçosa, n.28, p.297-305, 2004.

ROCHA, J. S. M. **Manual integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: Edições da UFSM, 1997, 446 p.

SANEATINS – Companhia de Saneamento do estado do Tocantins. **Relatório do Monitoramento de Vazão do Ribeirão Taquaruçu Grande**, Palmas, 2006.

SANEATINS - Companhia de Saneamento do estado do Tocantins. **Diagnóstico socioeconômico e ambiental da Sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande. Perspectivas para a tomada de decisões**. Palmas, 2007.

SANEATINS - Companhia de Saneamento do estado do Tocantins. Disponível em: < www.saneatins.com.br > . Acesso em 03/08/2008.

SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANTOS, Alexandre Rosa dos. **Caracterização Morfológica, Hidrológica e Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo, Micro-Região de Viçosa, MG**. 2001. 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa-mg, Viçosa, 2001. Disponível em:

<<http://www.mundogeomatica.com.br/TesesMonografias.htm>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

SILVA, A.M.; MELLO, C.R. **Apostila de Hidrologia**. Universidade Federal de Lavras. In Site: www.deg.ufla.br/Irriga%C3%A7%C3%A3o/Disciplinas/ENG%20170/hidrologia_eng_170.htm. Acesso em: 10 de outubro 2016.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

STRAHLER AN. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Trans Am Geophys Union n.38, p.913–920, 1957.

TEODORO, V. L.; et al. **O conceito da bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. Revista Uniara , n. 20, 2007.

TOCANTINS (Estado). Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins: Subsídios ao planejamento da Gestão Territorial**. Palmas: SEPLAN, 2012.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 2005**. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia - ciência e aplicação**. Editora da Universidade (UFRGS) /Edusp/ ABRH. Porto Alegre, 1997, 944 p.

UNITINS. **Plano de Manejo da Sub-Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande – TO (S.O.S.Taquaruçu)**: Relatório Técnico Final. Palmas, v. 1, 1999.

VALERIANO, M. de M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM Para o território nacional: o projeto TOPODATA**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, 2005, **Anais...XII**.

VALERIANO, M.M; ROSSETTI, D.F. Topodata: **Seleção de Coeficientes Geoestatísticos para o Refinamento Unificado de Dados SRTM**. INPE-16701-RPQ/853. São José dos Campos/SP. 2010.

VILAÇA, M. F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, L. M.; SIMÃO, M. L. R. **Bacia Hidrográfica como unidade de Planejamento e Gestão: O estudo de caso do Ribeirão Conquista no município de Itaguara – MG**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO

DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 8, 2009. **Anais...** UFV, 2009. 1 CD-ROOM.

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