



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS DE PATOS**

ADRIEL LUCENA DE AZEVEDO

**OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS DA SUB-BACIA DO AÇUDE
ESGUICHO, PB/RN, COM EMPREGO DE GEOTECNOLOGIAS.**

Patos – Paraíba

2017

ADRIEL LUCENA DE AZEVEDO

**OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS DA SUB-BACIA DO AÇUDE
ESGUICHO, PB/RN, COM EMPREGO DE GEOTECNOLOGIAS.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos/PB, para a obtenção do grau de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Amador de Sousa

Patos – Paraíba

2017

FICHA CATALOGADA NA BIBLIOTECA SETORIAL
CAMPUS DE PATOS – UFCG

A994o Azevedo, Adriel Lucena de
Obtenção de variáveis morfométricas da sub-bacia do Açude Eguicho,
PB/RN, com emprego de geotecnologias/ Adriel Lucena de Azevedo. – Patos,
2017.
37f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, 2017.

“Orientação: Prof. Dr. Antonio Amador de Sousa”.

Referências.

1. Semiárido. 2. Análise morfométrca. 3 Geotecnologias. I. Título.

CDU 624.13

ADRIEL LUCENA DE AZEVEDO

**OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS DA SUB-BACIA DO AÇUDE
ESGUICHO, PB/RN, COM EMPREGO DE GEOTECNOLOGIAS.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos/PB, para a obtenção do Grau de Engenheiro Florestal.

APROVADA em: 27/03/2017

Prof. Dr. Antonio Amador de Sousa
Orientador

Prof. Dr. Izaque Francisco Candeia de Mendonça
1ª Examinador

Prof. Dra. Joedla Rodrigues de Lima
2º Examinador(a)

A meus pais: Adenilson Batista de Azevedo e Maria José Lucena de Azevedo, motivo da minha existência. À minha esposa Ruana, a meu filho Miguel (amor da minha vida), à minha avó Francisca Antônia da Silva (Nina); meus irmãos: Adjamara e Anderson; aos sobrinhos (as) Júlia, Laura e Pedro e toda à família.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida;

A meu Pai Adenilson Batista de Azevedo e minha mãe Maria José Lucena de Azevedo por sempre acreditarem no meu potencial, pelo trabalho e suor derramado para a concretização deste sonho. A eles os méritos desta conquista;

À minha Esposa Ruana Miranda, pelo apoio, paciência, compreensão, incentivo e companheirismo.

Ao professor e orientador Dr. Antônio Amador de Sousa pelos ensinamentos, paciência e contribuições para o desenvolvimento deste trabalho e durante toda a minha graduação;

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições e sugestões;

Aos meus amigos de infâncias;

Aos colegas e amigos de residência Alexsandro, Francisco José da Silva (Franze), João, Jaílson, Sávio, Antônio (Quietinho), Josias, Whenderson, Francisco José (Noturno), Matthaus e Raphael pela convivência harmoniosa;

À turma 2012.1 pela união que possibilitou superar dificuldades ao longo de toda a graduação;

Ao PET Engenharia Florestal pelo aprendizado e experiências, em especial aos tutores Joedla Rodrigues e Elizabeth de Oliveira;

À GTC Florestal e Ambiental;

A todos os professores que contribuíram na minha jornada para obter êxito na aprovação do vestibular.

Aos professores da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal pelo conhecimento compartilhado. Em especial aos professores (as): Alana Candeia, Antônio Lucineldo, Assíria, Maria do Carmo (Carminha), Gilvan, Ivonete, Izaque, Jacob, João Batista, Elenildo, Lúcio Valério, Josuel, Naelza, Olaf, Patrícia, Valdir Mamede, Rivaldo Vital, Francisco (Chicão).

Aos funcionários do Restaurante Universitário (RU);

As Funcionárias da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal Ivanice e Edinalva;

Enfim, A todos que contribuíram de forma direta ou indireta ao longo da minha vida até o presente momento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho.	18
Figura 2 – MDE SRTM com áreas sem dados em destaque.	20
Figura 3 – Sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN, destacando sua delimitação e ordenamento dos canais de drenagem segundo a classificação de Strahler.	26
Figura 4 – Superposição entre a drenagem gerada para a sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN, a partir de dados SRTM e a drenagem de referência.	28
Figura 5 – Sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN compartimentada de acordo com a área de contribuição de cada município que abrange.	30
Figura 6 – Classes de declividades da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN.	33
Figura 7 – Mapa de orientação das vertentes e suas respectivas porcentagens em relação à área total da sub-bacia do Açude Esguicho, PB/RN.	34
Figura 8 – Distribuição das classes altimétricas da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN.	35
Figura 9 – Perspectiva visual da distribuição do relevo na sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho.	35

LUCENA, Adriel Lucena de.. 2017. **Obtenção de variáveis morfométricas da sub-bacia do açude esguicho, PB/RN, com emprego de geotecnologias.** Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Centro de Saúde e Tecnologia Rural (CSTR), Patos - PB, 2017. 36 p.

RESUMO

A ocupação humana da região semiárida do Brasil se deu de forma intensa e desordenada, causando impactos negativos sobre os seus recursos naturais. Este modelo de exploração, aliado às características de clima, solo e vegetação da região favoreceu o processo de degradação ambiental ao longo do tempo. Com vistas ao planejamento de uso desses recursos, a bacia hidrográfica apresenta um caráter integrador das atividades humanas e naturais, pelo que é considerada unidade básica para o gerenciamento do uso da terra. Neste sentido, necessário se faz conhecer as suas características físicas, as quais influenciam diretamente no seu funcionamento hidrológico. Este procedimento envolve várias determinações com vistas à análise morfométrica, iniciando pela delimitação da bacia hidrográfica, cujas operações podem ser realizadas com o apoio de Sistemas de Informação Geográfica – SIG, operando sobre dados altimétricos tais como os fornecidos pela missão SRTM. Diante disto, desenvolveu-se o presente trabalho como o objetivo de realizar a caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho utilizando as ferramentas SIG QGIS e GRASS. Os resultados obtidos mostram que a área de captação da sub-bacia é de 517,4 km², com um formato alongado, inferido pelos coeficientes Kc (2,45), F (0,25) e IC (0,16). A composição do sistema de drenagem resulta numa sub-bacia hidrográfica de 4^a ordem, com maior número de segmentos de rios de 1^a ordem concentrado na parte sul da sub-bacia. De forma geral, predominam relevos de suave ondulado a ondulado (69 %), seguidos por relevos plano (15,3%), fortemente ondulado (13,2%), montanhoso (2,2%) e fortemente montanhoso (0,3%). A maior área da sub-bacia está exposta para a face norte (31 %) e sua amplitude altimétrica é de 673 m. As principais conclusões revelam que os dados SRTM mostraram-se satisfatórios na definição da rede de drenagem e que as ferramentas dos softwares QGIS e GRASS foram eficientes para a realização das operações básicas para obtenção das variáveis estudadas.

Palavras-chave: Semiárido. Análise morfométrica. Geotecnologias.

ABSTRACT

The human occupation of the semiarid region of Brazil occurred in an intense and disorderly way, causing negative impacts on its natural resources. This exploration model, combined with the climate, soil and vegetation characteristics of the region favored the process of environmental degradation over time. In order to plan the use of these resources, the hydrographic basin presents an integrative character of the human and natural activities, and is considered a basic unit for the management of land use. In this sense, it is necessary to know its physical characteristics, which directly influence its hydrological functioning. This procedure involves several determinations for morphometric analysis, starting with the delimitation of the hydrographic basin, whose operations can be carried out with the support of Geographic Information Systems - GIS, operating on altimetric data such as those provided by the SRTM mission. In view of this, the present work was developed with the objective of performing the morphometric characterization of the hydrographic basin of the Esguicho dam using the SIG QGIS e GRASS tools. The results obtained show that the catchment area of the basin is 517.4 km², with an elongated shape, inferred by the coefficients Kc (2,45), F (0,25) and IC (0,16). The composition of the drainage system results in a 4th order hydrographic basin, with a higher number of first order river segments concentrated in the southern part of the basin. In general, there is a predominance of gently undulated to undulated reliefs (69%), followed by flat reliefs (15,3%), strongly undulated (13,2%), mountainous (2,2%) and strongly mountainous (0,3%). The largest area of the basin is exposed to the north face (31%) and its altimetric range is 673 m. The main conclusions show that the SRTM data were satisfactory in the definition of the drainage network and that the tools of the QGIS and GRASS software were efficient to perform the basic operations to obtain the variables studied.

Keywords: Semiarid. Morphometric analysis. Geotechnology.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 Bacia Hidrográfica.....	13
3.2 Análise morfométrica de bacias hidrográficas	14
3.3 Modelo Digital de Elevação	15
3.4 Aspectos fisiográficos da área	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 Localização da área de estudo	18
4.2 Materiais utilizados	19
4.3.1 Etapas para desenvolvimento do trabalho.....	19
4.3.2 Processamento do MDE SRTM.....	19
4.3.3 Obtenção das variáveis morfométricas.....	20
4.3.4 Mapas de declividade e orientação das vertentes.....	20
4.3 Métodos	19
4.4 Variáveis morfométricas	22
4.4.1 Área total	22
4.4.2 Perímetro.....	22
4.4.3 Coeficientes de Compacidade	23
4.4.4 Fator de forma	23
4.4.5 Índice de Circularidade.....	23
4.4.6 Declividade.....	24
4.4.7 Declividade média	24
4.4.8 Orientação das vertentes	24
4.4.9 Ordenação dos cursos d'água	25
4.4.10 Densidade de drenagem.....	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1 Delimitação da sub-bacia hidrográfica e composição da rede de drenagem.....	26
5.2 Características físicas da sub-bacia hidrográfica.....	30

5.3 Análise de relevo	32
5.3.1 Declividade.....	32
5.3.2 Orientação das vertentes.....	33
5.4.3 Hipsométrica da sub-bacia.....	34
6 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	388

1 INTRODUÇÃO

O processo de ocupação humana da região semiárida do Brasil ao longo do tempo deu-se de forma intensa e desordenada, causando impactos negativos através da exploração dos seus recursos naturais, principalmente o uso e destruição da cobertura vegetal, dos recursos hídricos e utilização do solo sem o uso de práticas adequadas de manejo e conservação. Dentre as principais consequências desse modelo de exploração, tem-se o rebaixamento dos lençóis freáticos, aumento dos processos erosivos, assoreamento dos corpos d'água, degradação do solo, redução da produtividade, diminuição da biodiversidade, dentre outros (MELO; CATARINA, 2008).

As características climáticas e de relevo da região, com precipitações anuais irregulares e mal distribuídas, que podem variar de 300 a 800 mm, além da ocorrência de prolongados períodos de estiagem, aliado às altas taxas de evapotranspiração, solos predominantemente rasos e com baixa capacidade de retenção de água (ARAÚJO FILHO, 2013), constituem um conjunto de fatores que favorece o processo de degradação ambiental.

Neste cenário, a bacia hidrográfica, por seu caráter integrador de fenômenos naturais e das atividades humanas, é considerada unidade básica de planejamento, monitoramento e gerenciamento dos recursos naturais, a partir do conhecimento de suas características físicas e cobertura vegetal, o que torna possível o acompanhamento das mudanças causadas pelo uso indevido da terra, visando a mitigação dos impactos causados pela ação antrópica e desastres naturais.

Para este propósito, a delimitação da bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos, para então se obterem e quantificarem as características hidrológicas e de relevo, retratadas em variáveis morfométricas que envolvem hierarquia fluvial, análises areal, linear e hipsométrica (CHRISTOFOLETTI, 1980; VILLELA; MATOS, 1975; CARDOSO, et al., 2006).

Atualmente, com a disponibilidade de dados de sensoriamento remoto, uso de técnicas de geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica, as operações manuais antes trabalhosas para delineamento e obtenção de variáveis morfométricas foram substituídas por tarefas computacionais, operando sobre modelos Digitais de Elevação. Neste aspecto, destacam-se os dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizados de forma gratuita na internet, que oferecem consistência, rapidez aos processos envolvidos, e geração de bancos de dados que poderão servir de suporte às tomadas de decisão.

Para o processamento automática da imensa quantidade de dados utilizados nesses procedimentos, existem vários softwares proprietários disponíveis no mercado, mas que envolvem altos custos de aquisição. Uma forma alternativa é a utilização de programas “open source”, a exemplo dos SIG’s QGIS e GRASS, softwares poderosos para processamento, análise e visualização dos dados, tornando esse tipo de operação, antes onerosa, muito mais econômica.

A área de estudo, circunscrita na Microrregião do Seridó Oriental e Microrregião do Seridó Ocidental Paraibano (IBGE, 2015), possui grande importância socioeconômica para a região, por se tratar de uma área estratégica com potencial para o abastecimento público, irrigação e subsistência para a população, representado pela capacidade de armazenamento do Açude Esguicho (27.937.310 m³), porém apresenta escassez de estudos sobre aspectos de fisiografia e drenagem da sua sub-bacia hidrográfica.

Diante disto, realizou-se o presente trabalho com a finalidade de gerar subsidio que auxilie num futuro planejamento de gestão integrada dos recursos hídricos, que contemple aspectos ambientais, sociais e econômicos na sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Obter variáveis morfométricas da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN, de forma automática, usando Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM na resolução de 30 m, com auxílio de Geotecnologias.

2.2 Objetivos específicos

- Corrigir cenas SRTM a serem processadas;
- Delimitar a sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho;
- Simular o fluxo da rede de drenagem;
- Calcular variáveis morfométricas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma região hidrológica bastante utilizada para o desenvolvimento de modelos de estudos na área de hidrologia, pela simplicidade que oferece na aplicação de balanço de água. O seu funcionamento está relacionado com as características físicas, as quais propiciam o seu entendimento e podem ser calculadas, desde área seja delimitada, sendo esta uma operação básica (VILLELA; MATOS, 1975).

Silveira (2001) define bacia hidrográfica como uma área de captação natural de água da precipitação na qual todos os escoamentos convergem para um único ponto de saída, denominado de exutório. Sua composição básica se caracteriza por um conjunto de superfícies denominadas vertentes, conectadas por canais naturais de escoamento que conduzem essas águas para um único leito, constituindo a rede de drenagem, como se conhece.

Conforme Lima (2008) é nesse espaço que se realizam os balanços hídricos, contabilizando entrada e saída de água, e onde são delineadas bacias e sub-bacias conectadas pelos sistemas hídricos, assim considerada um ente sistêmico (PORTO; PORTO, 2008).

A escala de delimitação da área da bacia hidrográfica depende do objetivo do estudo ou projeto a ser desenvolvido, podendo ser delimitada em toda a sua extensão natural, como a Bacia do Rio Amazonas, por exemplo, bem como em unidades menores, constituindo sub-bacias, levando em consideração o tamanho ideal, ou seja, aquele que envolva toda a problemática de interesse (PORTO; PORTO, 2008).

O sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica é composto pelo canal principal e seus afluentes ou tributários, naturalmente conectados, e o seu conhecimento traz informações importantes, como a velocidade com que a água deixa a bacia, gerando parâmetros que indicam a eficiência de drenagem da mesma. Este sistema pode ser analisado a partir do ordenamento dos canais de drenagem, inicialmente proposto por Horton (1945) e modificado por Strahler (1957).

O conhecimento das características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo) e do tipo de cobertura vegetal, dentre outras, permite entender o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, que é dado em função destas. Para tornar possível o entendimento das inter-relações existentes entre esses fatores é necessário expressar quantitativamente tais características (LIMA, 2008).

As consequências de todas as atividades humanas decorrentes da sua forma de ocupação e utilização das águas refletem-se ao longo dos canais e no seu exutório, afetando o ecossistema como um todo, uma vez que seus principais componentes (solo, água, vegetação e fauna) coexistem em permanente dinâmica e interação (CARDOSO et al., 2006; PORTO; PORTO, 2008; VON SPERLING, 1995).

Por esse caráter integrador, a bacias hidrográfica é considerada uma unidade de gestão dos recursos naturais e sociais, pois possibilita o monitoramento das ações antrópicas como uso da terra, poluentes, além da descarga de água e sedimentos que podem ser medidos, bem como as consequentes respostas da natureza (GUERRA; CUNHA, 1996; NETELER; MITASOVA, 2004).

3.2 Análise morfométrica de bacias hidrográficas

Esse tipo de estudo teve início com a publicação do trabalho do engenheiro hidráulico Robert E. Horton que procurou estabelecer as leis do desenvolvimento dos rios e de suas bacias, posteriormente, com a contribuição de Arthur N. Strahler e colaboradores da universidade de Colúmbia. Os principais índices e parâmetros sugeridos são: hierarquia fluvial, análise areal, análise linear e análise hipsométrica (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas se inicia pela ordenação dos canais fluviais para estabelecer a hierarquia fluvial, seguindo-se com a análise dos aspectos lineares, areais e hipsométricos e seus parâmetros (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Vários parâmetros foram desenvolvidos para a análise física de bacias hidrográficas, a saber: (1) área, (2) fator de forma, (3) coeficiente de compacidade, (4) índice de circularidade, (5) altitude média, (6) declividade, (7) densidade de drenagem, (8) número de canais, (9) direção e comprimento do escoamento superficial, (10) ordem dos cursos d'água, (11) extensão média do escoamento superficial, (12) sinuosidade do curso d'água, (13) comprimento da bacia, (14) curva hipsométrica, (15) elevação média da bacia, (16) comprimento dos canais, (17) padrão de drenagem, (18) orientação, (19) rugosidade dos canais, (20) dimensão e forma dos vales, dentre outros (CHRISTOFOLETTI, 1980; LIMA, 2008; VILLELA; MATOS, 1975).

Com os avanços tecnológicos, as análises morfométricas são realizadas de forma ágil, com menor custo e subjetividade na extração, com auxílio de ferramentas das plataformas SIG, tendo como principal entrada os Modelos Digitais de Elevação (MDE) (RIBEIRO; FERREIRA, 2014; SIRANGELO et al., 2015).

As informações geradas servirão de indicadores para os tomadores de decisão, planejadores e administradores para gestão, prevenção, mitigação de desastres naturais, eventos externos em uma bacia hidrográfica, além da elucidação e compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local (CHISTOFOLETTI, 1980; SAUSEN; NARVAES, 2013).

3.3 Modelo Digital de Elevação

A crescente disponibilidade de bases topográficas digitais, associada ao uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem incentivado o desenvolvimento de métodos automáticos de extração de variáveis topográficas, utilizando Modelos Digitais de Elevação como Planos de Informação (PI) sobrepostos em SIG (VALERIANO, CARVALHO JUNIOR, 2003).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) pode ser considerado como qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço, cujos dados altimétricos correspondem tanto à superfície do solo quanto aos elementos presentes sobre a superfície (edifícios, vegetação) (CHAVES, 2002; RIBEIRO; FERREIRA, 2014). O MDE não deve ser confundido com Modelo Numérico do Terreno, onde os dados são derivados a partir de valores de altitude da superfície do solo, provenientes, por exemplo, de mapa topográficos (curvas de nível), levantamentos por GPS ou por altimetria a laser (LIDAR) (GROHMANN et al. 2008).

Uma das fontes mais utilizadas atualmente é constituída pelos Modelos Digitais de Elevação provenientes da missão denominada de “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM), um projeto internacional liderado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a National Geospatial Intelligence Agency (NGA), para obtenção de informação de relevo numa escala global da superfície da Terra, usando a técnica de interferometria de radar à bordo da nave espacial Endeavour (USGS, 2016). Essa missão gerou dados de elevação de alta resolução, beneficiando qualquer projeto que exija conhecimento preciso da forma e altura da terra, tais como: controle de enchentes, modelagem de drenagem, conservação do solo, reflorestamento, dentre outros (JPL, 2016).

A base de dados SRTM foi originalmente produzida com resolução de 30 m, mas disponibilizada apenas para os Estados Unidos na sua resolução original. Para as demais localidades os dados foram reamostrados para uma resolução de 90 m, conforme relatam Gromann et al. (2008). Ainda segundo os mesmos autores, essa resolução pode ser considerada razoável para trabalhos em pequena ou média escalas, mas limitada a estudos de detalhe, sendo

viável uma interpolação dos dados para uma resolução maior, melhorando a coerência de suas propriedades angulares, fator importante em análise morfométrica.

Para a América do Sul os produtos SRTM foram disponibilizados para o público em meados de 2003, gerando uma grande expectativa em relação aos ganhos de conhecimento sobre o território brasileiro em detrimento da escassez de dados topográficos em escalas adequadas (CUNHA; BACANI, 2016).

No Brasil, as informações disponibilizadas pelo SRTM foram melhoradas por meio de técnicas de geoestatísticas, utilizando processo de Krigagem (RIBEIRO; FERREIRA, 2014) para reamostrar os dados de 90m para uma resolução de aproximadamente 30 m, num projeto desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), denominado de TOPODATA (VALERIANO; ROSSETTI, 2010). Anos depois, os dados com resolução de 30 m, antes disponibilizados apenas para os Estados Unidos, foram liberados para o resto do mundo, conforme anunciou a Casa Branca, durante um encontro de chefes das nações unidas sobre o clima em Nova York (JET, 2016). Esses dados podem ser acessados gratuitamente através da rede mundial de computadores pelo seguinte endereço eletrônico: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Logo, as abordagens usando MDE SRTM serão favorecidas tendo em vista que as análises serão realizadas nos dados originais com maior grau de fidelidade do terreno.

Os dados SRTM apresentam algumas falhas em determinados pontos da imagem, que precisam ser corrigidos. Essas falhas ou “voids”, são buracos, células com valores sem dados (*no data*) decorrentes da técnica usada para aquisição das informações que ocorrem em regiões de terreno acidentado, bem como influência de corpos d’água (NETELER, 2005). Assim, parte do pós-processamento é o preenchimento dessas áreas. O interpolador “*Spline Regularizadora de Tensão*” – RST (MITASOVA E MITAS, 1993) tem oferecido resultados satisfatórios, sendo indicado para correção de células de valores sem dados do MDE SRTM (GROHMANN, 2006)

O processamento desses dados em um Sistema de Informação geográfica (SIG) possibilita que seja feita uma abordagem especializada da superfície terrestre gerando variáveis topográficas derivadas da altimetria (VALERIANO; ROSSETTI, 2010).

Segundo Chaves (2002), diversas informações qualitativas e quantitativas podem ser extraídas dos modelos digitais de elevação, tais como: (1) geração de imagem em níveis de cinza, (2) geração de imagem fatiada, (3) imagem sombreada, (4) normatização topográfica de dados de sensoriamento remoto, (5) mapas de isolinhas, (6) mapas de declividade, (7) caracterização de bacias hidrográficas (ALVES et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2010).

A qualidade do Modelo Digital de Elevação pode ser avaliada confrontando uma amostra de pontos de elevação do MDE derivados e pontos de elevação conhecidos, tidos como referência mais provável da realidade, cuja correspondência entre esses pontos é dada pela raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) dos dados de elevação (CHAGAS et al., 2010).

3.4 Aspectos fisiográficos da área

A região Seridó do Rio Grande do Norte e Paraíba se insere no bioma Caatinga, que por sua vez é formada por um mosaico com diferentes tipos de vegetação, contendo espécies caducifólias e xerófilas. Abrange os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte do Estado de Minas Gerais (VELLOSO et al., 2002).

Para classificar a distribuição da vegetação Velloso et al. (2002) sugerem que o bioma Caatinga seja dividido em oito escorregões, a saber: (1) Complexo de Campo Maior; (2) Complexo Ibiapaba – Araripe; (3) Depressão Sertaneja Setentrional; (4) Planalto da Borborema; (5) Depressão Sertaneja Meridional; (6) Dunas do São Francisco; (7) Complexo da Chapada Diamantina e (8) Raso da Catarina.

Seguindo esta classificação, a região Seridó pertence a ecorregião denominada de Depressão Sertaneja Setentrional, descrita como paisagem típica do semiárido. Nesta área predomina um relevo suave ondulado com elevações residuais. Segundo Santos et al. (2011) os solos da região são classificados como Luvisolos Litólicos Eutroficados e Luvisolos Cromícos Orticos

Apresenta solos pedregosos que tendem a ser mais rasos que as demais paisagens encontradas na região Nordeste. A fertilidade é naturalmente elevada, destacando-se grande potencial de exploração de minérios (VELLOSO et al., 2002).

Conforme Amorim et al. (2005) e Santos, et al. (2015), a vegetação desta área é caracterizada por um estrato herbáceo que cobre o solo no inverno e ausente no verão, um estrato arbustivo e arbóreo mais espaçado, de menor porte e biomassa, quando comparada a outras áreas da Caatinga, mas há exceções como a localizadas ao Sul de Santa Luzia com clima de Matas Serranas (CPRM, 2005)

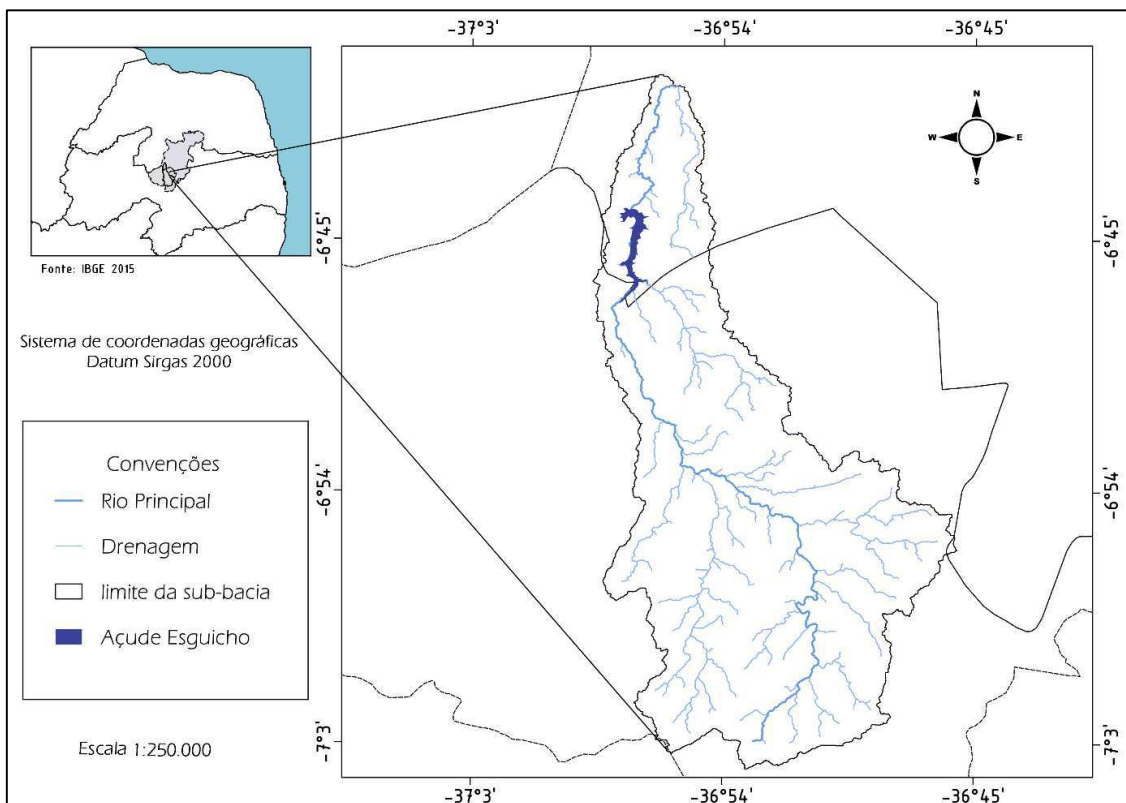
De acordo com Duque (2004), as chuvas na região Seridó estão concentradas entre os meses de Janeiro a Maio, acrescenta informações de um mapa de isoietas constituído por dados históricos de 22 anos, identificou a região compreendida entre as precipitações de 400 e 600 mm.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área de estudo

A área de estudo está circunscrita na Microrregião do Seridó Oriental e Microrregião do Seridó Ocidental Paraibano (IBGE, 2015), compreendendo a sub-bacia de contribuição do açude do Divino Espírito Santo, popularmente conhecido como açude Esguicho, com capacidade de 27.937.310 m³ (SEMARH, 2015), inserida entre as coordenadas 6°38' S, 36°59' O e 7° 3' S, 36°44'O (Figura 1).

Figura 1— Localização da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho.



Fonte — Azevedo (2017)

Seu principal curso é o Rio Quipauá, tributário do Rio Seridó, cuja drenagem forma uma das sub-bacias da Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu, abrangendo os municípios de Santa Luzia-PB, Várzea-PB, São José, Salgadinho-PB, Junco do Seridó-PB, Ouro Branco-RN, e Equador-RN, Uma região com um relevo suavemente ondulado e ondulado, com elevações residuais, solos rasos com alta fertilidade natural e um elevado potencial para exploração de minério (VELOSO et al., 2002).

O clima, segundo classificação de KÖPPEN, adequado por Alvares et al. (2013), é do tipo Bshw- Semiárido quente e seco com curta estação chuvosa concentrada nos meses de Março, Abril e Maio, temperatura variando de 25° C a 35°C.

4.2 Materiais utilizados

- Carta Planialtimétrica da SUDENE, editada em 1985 e digitalizada em 1996, folha Jardim do Seridó (SB.24-Z-B-V) e Juazeirinho (SB-24-Z-D-II), na escala de 1:100.000;
- MDE SRTM (Data: fevereiro, 2000) abrangendo as cenas S07_W037, S07_W038, S08_W037, S08_W038, com resolução de 30m; Softwares QGIS mais complementos e GRASS GIS;
- Imagens de satélite Sentinel-2^a resolução espacial de 10 m bandas 8 (NIR), 3 (G) e 2(B).

4.3 Métodos

4.3.1 Etapas para desenvolvimento do trabalho

A realização do estudo compreendeu as seguintes etapas: (1) escolha da ferramenta SIG para; Processamento dos dados; (2) treinamento com os softwares utilizados; (3) formação da base de dados georreferenciada para análises, contendo MDE SRTM, imagem do satélite Sentinel-2A, carta topográfica proveniente do banco de dados do exército brasileiro (DSG) em formato raster e arquivos vetoriais que abrangem a área de estudo; 4) mapeamento da área de estudo; (5) cálculo das variáveis morfométricas, realizado em ambiente SIG.

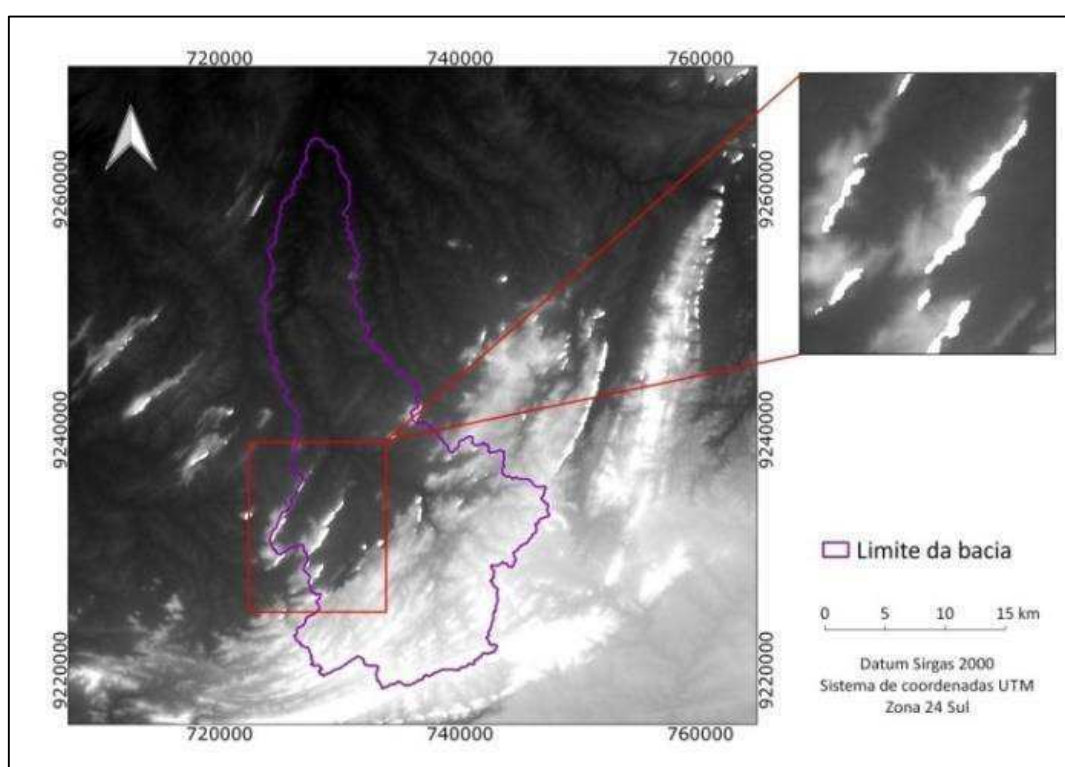
4.3.2 Processamento do MDE SRTM

O MDE SRTM foi adquirido em formato GeoTIFF a partir do site <http://earthexplorer.usgs.gov/>, contendo dados correspondentes às seguintes cenas: S07_W037, S07_W038, S08_W037 e S08_W038. A resolução das cenas é de 1 arc de segundo, que equivale a aproximadamente 30 metros, referenciadas ao DATUM WGS84.

O Modelo foi utilizado para extração das características morfométricas em ambiente SIG com auxílio das ferramentas QGIS e GRASS, sendo que o processamento dos dados contidos no MDE compreendeu as seguintes etapas:

- Composição de mosaico das cenas SRTM (Raster > micelânea > mosaico);
- Reprojeção do mosaico para coordenadas planas, referenciadas ao Datum Sirgas2000, Zona 24 S (Raster > Projeções > Reprojeter);
- Recorte envolvendo a área de estudo (Vetor > Ferramenta de geoprocessamento > Recortar);
- Preenchimento de regiões sem dados no MDE SRTM (figura 2), utilizando o módulo “*r.fillnulls*”, que opera com o algoritmo *Spline* Regularizadora de Tensão – RST (MITASOVA; MITAS, 1993) implementado no SIG GRASS.

Figura 2— MDE SRTM com áreas sem dados em destaque.



Fonte — Azevedo (2017)

Após a realização das operações da última etapa, o mapa raster denominado de “DEM” foi exportado para o SIG GRASS GIS versão 7.0.5, para a extração das variáveis morfológicas.

4.3.3 Obtenção das variáveis morfométricas

Os mapas iniciais para obtenção dos atributos hidrológicos foram executados pelo algoritmo “*r. watershed*” (NETELER, 1998). Esse módulo deriva mapas de acumulação de fluxo, direção de drenagem, localização da drenagem e limite da bacia hidrográfica, além de calcular o fator LS da Equação Universal de Perda de Solos (GRASS Development Team, 2016).

Desta forma foram gerados o mapa de direção de fluxo e a rede de drenagem, com um “*Threshold=1500*” (Limiar) e selecionando o algoritmo “*Single Flow Direction D8*”, os mapas gerados foram utilizados no algoritmo “*r.water.outlet*” para delimitação da sub-bacia a partir do exutório representado pelo ponto de coordenadas UTM E=728986 e N=9263502 previamente escolhido sobre o mapa “*Stream*”. O mapa da rede de drenagem e direção de fluxo foi ainda utilizado no módulo “*r.stream*” para as seguintes determinações: (1) hierarquização da rede de drenagem, pelo algoritmo *r.stream.order* (2) cálculo da área da sub-bacia, número e comprimento de rios de cada ordem e densidade de drenagem, utilizando o algoritmo “*r.stream.stats*”.

4.3.4 Mapas de declividade e orientação das vertentes

Para geração dos mapas de declividade e orientação das vertentes, executou-se o módulo “*r.slope.aspect*”, gerando inicialmente a declividade em porcentagem e depois a orientação das vertentes.

O mapa de declividade foi submetido ao algoritmo “*r.reclass*” para compartimentar o resultado em classes, constituindo seis temas, em intervalos distintos com valores em porcentagem como sugerido pela EMBRAPA (1979), conforme quadro 1.

Quadro 1 – Classes de declividade segundo a Embrapa (1979).

Declividade	Discriminação
0 - 3	Relevo plano
3 - 8	Relevo suavemente ondulado
8 - 20	Relevo ondulado
20 - 45	Relevo fortemente ondulado
45 - 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte – Embrapa (1979)

O mapa de orientação das vertentes é calculado por este módulo no sentido anti-horário, com início no leste (GRASS DEVELOPMENT TEAM, 2015), num processo de reclassificação pelo módulo “*r.reclass*”, resultando em 4 classes, a saber: (1) Norte (45° a 135°), (2) Sul (225° a 315°), (3) Leste (0° a 45° e 315° a 360°) e (4) Oeste (135° a 225°).

Com os dados obtidos nas etapas anteriores procedeu-se à análise para obtenção das demais variáveis (Quadro 1) com auxílio de planilha eletrônica.

Quadro 1 – Variáveis morfométricas calculadas da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN.

Características geométricas	
Área Total (A)	Fator de Forma (F)
Perímetro Total (P)	Índice de circularidade (IC)
Coeficiente de compacidade (Kc)	Padrão de drenagem
Características de Relevo	
Orientação das vertentes	Curva hipsométrica
Declividade	Amplitude altimétrica
Características de drenagem	
Comprimento do curso d'água principal	Densidade de drenagem (Dd)
Comprimento total dos cursos d'água	Ordem dos cursos de água

Fonte – Tonello et al. (2006)

4.4 Variáveis morfométricas

4.4.1 Área total

Á área de drenagem (A) é toda área drenada pelo sistema fluvial inseridas entre seus divisores topográficos, projetada em um plano horizontal (TONNELLO, 2005).

4.4.2 Perímetro

O perímetro da bacia (P) constitui o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas determinado pela área da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980; TONNELLO, 2005).

4.4.3 Coeficientes de Compacidade

O coeficiente de compacidade (K_c) relaciona a forma da bacia a um círculo e é dado pela relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo. O resultado é um número adimensional que varia de acordo com a forma da bacia.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Sendo:

K_c = Coeficiente de compacidade

P =Perímetro da bacia em km

A = Área de drenagem em km^2

De acordo com Villela e Mattos (1975), este número aumenta conforme a irregularidade da bacia, de forma que em bacias alongadas seu valor é significativamente superior a 1. Como consequência, quanto mais o coeficiente se aproxima da unidade mais susceptível a bacia será a ocorrência de enchentes.

4.4.4 Fator de forma

O fator de forma (F) relaciona a forma da bacia à de um retângulo e é obtido pela razão entre a largura média e o comprimento da bacia:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Sendo:

F = Fator de forma

A = Área de drenagem da bacia (km^2)

L = Comprimento do eixo da bacia, da foz até o ponto mais longínquo do espigão (km)

4.4.5 Índice de Circularidade

Assim como o coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a forma da bacia se aproxima de um círculo e diminui conforme a forma torna-se alongada (CARDOSO, 2006). Este índice é obtido a partir da seguinte equação:

$$IC = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (3)$$

Sendo:

IC= índice de circularidade;

A= Área de drenagem (km²);

P= Perímetro.

4.4.6 Declividade

A declividade do terreno é calculada através da variação da altitude entre dois pontos do terreno em relação à distância que os separa (TONELLO et al., 2006) e foi calculada em ambiente SIG, usando os dados de altitude do MDE SRTM.

4.4.7 Declividade média

Segundo Lima (2008), a declividade média da bacia pode ser calculada pela relação da distância entre as curvas de nível e o comprimento total das curvas de nível pela a área total da bacia, conforme expressão abaixo:

$$S = (D \times L / A) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

S = declividade média (%)

D = distância entre as curvas de nível (m)

L = comprimento total das curvas de nível (m)

A = área da bacia hidrográfica (m²)

4.4.8 Orientação das vertentes

Essa variável expressa a medida do ângulo horizontal da direção do escoamento superficial e sofre influência da latitude. O seu efeito quanto ao regime térmico pela incidência solar, é proporcional ao aumento da altitude (ARRUDA, 2012).

4.4.9 Ordenação dos cursos d'água

Consiste no processo de classificação de determinado curso de água no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Tem a função de facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos (CHRISTOFOLETTI, 1980) encontrado em Horton (1945) e Strahler (1957).

Neste trabalho foi utilizada a classificação proposta por Strahler (1957), na qual os menores canais sem tributários são considerados de primeira ordem, estendendo-se da nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da 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 primeira e segunda ordem; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários de ordens inferiores e assim sucessivamente.

4.4.10 Densidade de drenagem

De acordo com Vilella e Mattos (1975), este é o índice que fornece o grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. Varia de 0,5 km/ km² para bacia com drenagem pobre a 3,5 km/ km² para bacia bem drenadas. É determinado pela (4) seguinte equação (HORTON, 1945):

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Sendo:

Dd= Densidade de drenagem (km/km²);

Lt= Comprimento total de todos os canais (km);

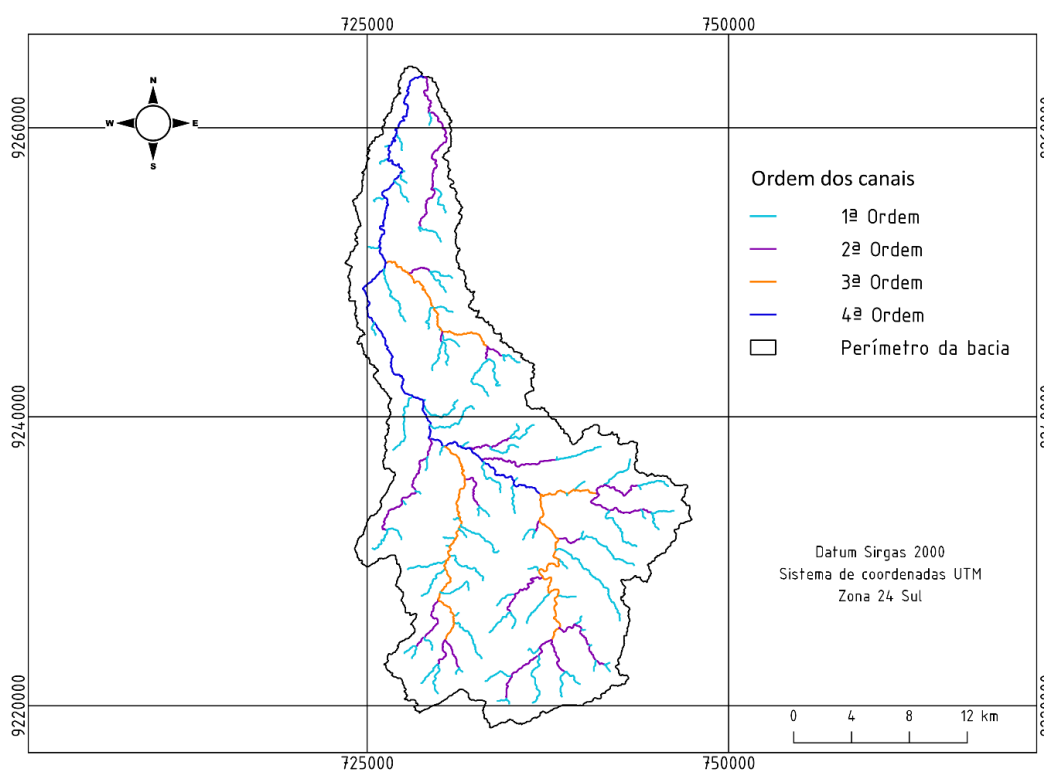
A=Área da bacia (km²).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Delimitação da sub-bacia hidrográfica e composição da rede de drenagem

A Figura 3 apresenta a sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho com a sua rede de drenagem ordenada segundo Strahler (1957). A sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho é formada por canais efêmeros e intermitentes, que são regimes de fluxo de ocorrência típica na região em que se insere. A composição da rede de drenagem, pela Figura 3, resulta numa sub-bacia de 4ª ordem de ramificação de acordo com a classificação de Strahler (1957), desenhando um padrão dendrítico, também de ocorrência comum na região estudada. A área de drenagem, delimitada por 199,2 km de perímetro, foi calculada em 517,4 km².

Figura 3 — Sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN, destacando sua delimitação e ordenamento dos canais de drenagem segundo a classificação de Strahler.



Fonte — Azevedo (2017)

A Tabela 1 apresenta os dados sobre número e comprimento total de canais, além de sua área de contribuição, por ordem de classificação.

Tabela 1 — Valores para número e comprimento de canais, com suas respectivas áreas de contribuição, por ordem de classificação, da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN.

Ordem	Número de canais	Comprimento total (km)	Área de contribuição (km ²)
1	99	173,4	314,9
2	20	87,2	270,7
3	4	52,7	317,4
4	1	48,1	517,4
Total	124	361,4	

Fonte – Azevedo (2017)

Pela Tabela 1, verifica-se que o comprimento total de rios do sistema de drenagem da sub-bacia hidrográfica, foi calculado em 361,4 km. Um outro dado obtido com auxílio da função “*r.stream.stats*” do GRASS GIS é a área de drenagem para cada ordem hierárquica, como se observa na Tabela 1. Neste aspecto a seguinte observação deve ser feita: não ocorre acumulação no sentido da 1^a para a 4^a ordem. Isto ocorre pelo fato de existirem segmentos de rios de 1^a ordem que não convergem para formar um segmento de 2^a ordem, confluindo diretamente com um segmento de 2^a, de 3^a ou de 4^a ordem. O mesmo fenômeno ocorre entre segmentos de 2^a e de 3^a ordens.

Verifica-se ainda na Tabela 1, que os canais de drenagem de 1^a ordem aparecem em maior número e, na Figura 3, vê-se que estão localizados nas áreas de maior altitudes, ou seja, nas áreas de cabeceira ou nascentes, na parte sul da sub-bacia onde o relevo é mais dissecado.

A extensão do rio principal é de 71,6 km, apresenta direção de escoamento de Sul para Norte dada em função das características de relevo.

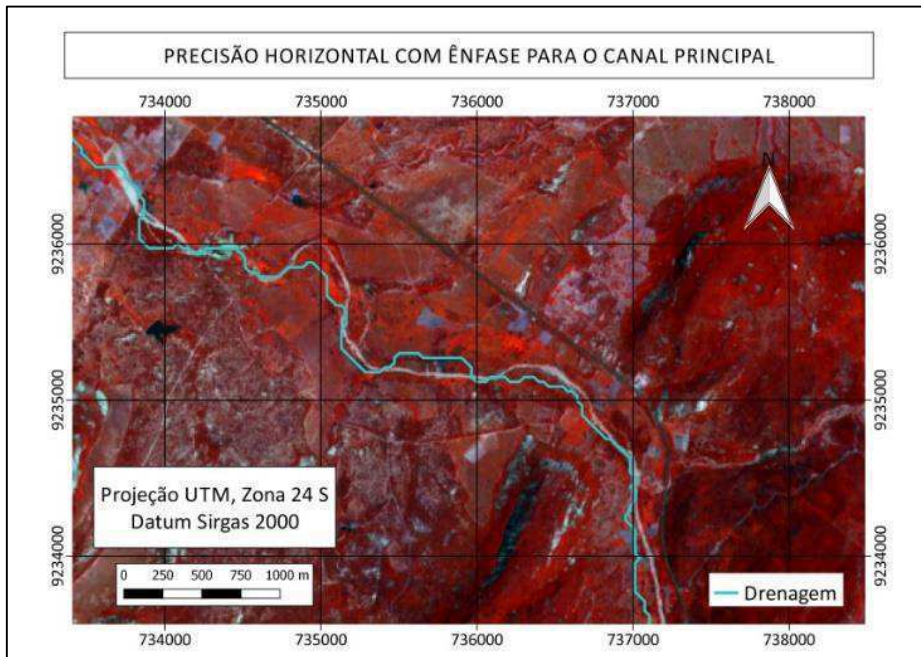
5.2 Traçado da rede de drenagem

A Figura 4 (a) ilustra a superposição da rede de drenagem gerada a partir dos dados SRTM e a drenagem visualizada em imagem de satélite Sentinel-2A formada pela composição falsa cor das bandas 8 (NIR), 3 (G) e 2 (B) tomada como referência. Nesta figura verifica-se falta de precisão horizontal no traçado, em trechos onde este não coincide com o leito visualizado na imagem (tonalidade mais claras), com ênfase para o rio principal, embora grande parte seja reconhecida na imagem. Ocorre ainda o surgimento de canais não detectados na imagem como pode ser visto na Figura 4 (b). Isto sugere que a utilização desta técnica exige

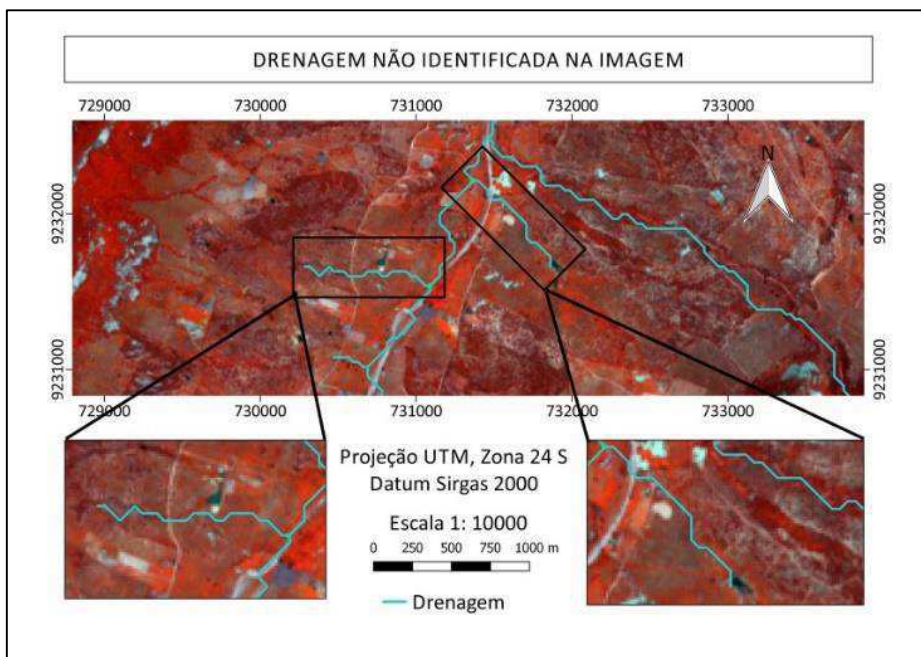
cuidados e procedimentos auxiliares, tais como o uso de outras fontes de dados, para eliminar essas falhas.

Figura 4— Superposição entre a drenagem gerada para a sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN, a partir de dados SRTM e a drenagem de referência.

(a)



(b)



Fonte — Azevedo (2017)

De acordo com Oliveira et al. (2010), os dados SRTM podem ser utilizados como alternativa viável para a delimitação de sub-bacia hidrográficas e desenvolvimento de estudos de recursos hídricos. Os referidos autores alertam, para o caso de ocorrerem variações na rede de drenagem obtida, divergindo da realidade. Neste caso, recomendam comparação com outros dados de sensoriamento remoto ou carta topográficas para efetuar eventuais correções.

Silva et al. (2015), analisando a drenagem obtida por 3 diferentes fontes (ASTER, TOPODATA e SRTM), obtiveram melhores resultado nas redes de drenagens extraídas de dados ASTER e TOPODATA, enquanto que os dados SRTM apresentou resultados insatisfatórios, não identificando os pequenos tributários, cujo fato foi associado à baixa resolução espacial do modelo SRTM, que era de 90 m, enquanto que nos dois primeiros a resolução era de 30 m.

Marques et al. (2011) obtiveram diferenças nas redes de drenagem extraídas a partir de distintos MDE e destacam a importância do uso supervisionado pelo operador e a utilização de fontes complementares para verificação da acurácia.

Os erros ocorridos no traçado automático da hidrografia geralmente estão relacionados com a qualidade do MDE, da resolução, em função do algoritmo utilizado pelo software no processamento dos dados, onde o fluxo segue para a célula (pixel) mais íngreme dentre outras oito adjacentes (GARBRECHT; MARTZ, 2000). Essa abordagem é denominada de modelo de fluxo de oito direções (D8) (JERSON E DOMINGUE, 1988).

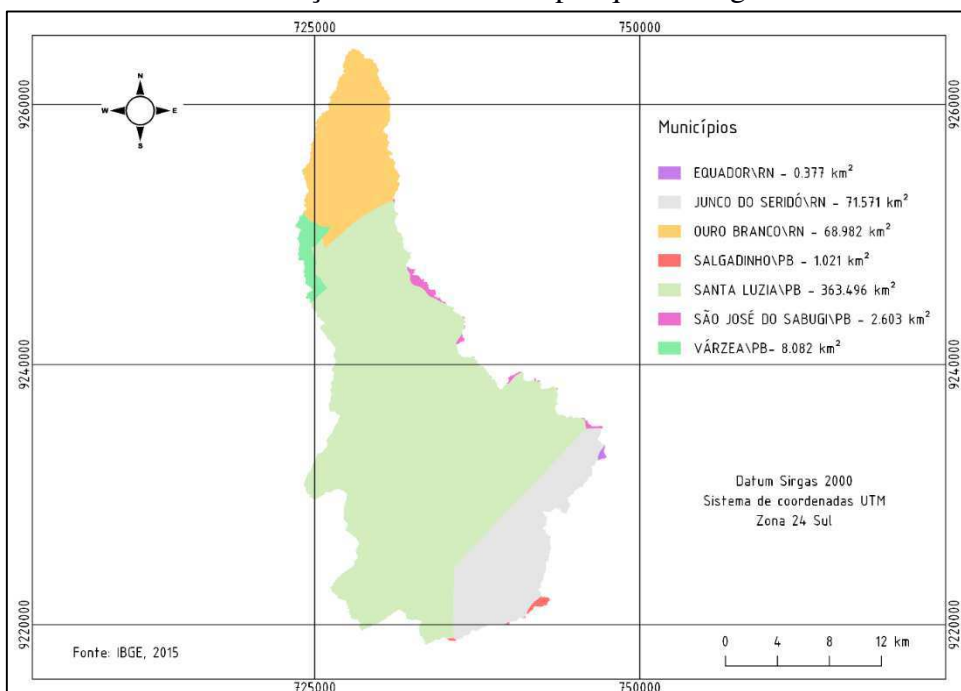
Oliveira et al. (2010), comparando os resultados de uma análise morfométrica utilizando dados SRTM e dados provenientes de cartas topográfica, constataram variação entre os resultados obtidos, o que atribuíram ao detalhamento dos dados utilizados. Neste caso os dados SRTM apresentam maior detalhamento do que os dados obtidos por cartas topográficas.

Levando essas informações em consideração, acredita-se que dados SRTM podem ser utilizadas para trabalhos de atualização de redes hidrográficas de grandes áreas, sobretudo aquelas com carência de informações cartográficas para média e pequenas escalas, bem como caracterização morfométrica de sub-bacias hidrográfica, desde que aliada a outras fontes confiáveis, tais como: imagens de satélites, fotografias aéreas, pontos de GPS coletados ao longo dos canais fluviais, para proceder ajustes e, assim, garantir maior precisão do posicionamento da hidrografia.

5.2 Características físicas da sub-bacia hidrográfica

A Figura 5 mostra a sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho compartimentada de acordo com a área de contribuição de cada município que abrange, quais sejam: Ouro Branco-RN, Equador-RN, Várzea-PB, São José do Sabugi-PB, Salgadinho-PB e Junco do Seridó-PB.

Figura 5— Sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN compartimentada de acordo com a área de contribuição de cada município que abrange.



Fonte — Azevedo (2017)

A maior porção de sua área está inserida no município de Santa Luzia, com uma área equivalente a 363 km² seguida pelo município de Junco do Seridó com uma área de 71 km². Em algumas áreas como São José do Sabugi, Salgadinho, Equador e Várzea o valor inserido nessas áreas é inexpressivo, no entanto, nesses locais estão localizados os limites da sub-bacia.

A inserção da sub-bacia hidrográfica em vários municípios indica a necessidade de ser discutida uma cooperação política como sugere o princípio número um da declaração de Dublin aprovada em reunião preparatória para a Rio- 92, onde diz que a gestão dos recursos hídricos deve ser integrada, considerando os aspectos ambientais, sociais e econômicos e que esteja baseada nos limites das bacias hidrográficas (GORRE-DALE, 1992).

A gestão territorial desordenada dos recursos naturais gera poluição dos rios, desmatamento das matas ciliares e da vegetação nativa que irão impactar negativamente ao longo de toda a sub-bacia, tendo como consequência o assoreamento dos rios, açudes, deixando

águas impróprias para consumo humano, além de diminuir a capacidade de produção de água, entre outros danos ambientais. Estes danos têm reflexos na parte norte sub-bacia estudada, na área representada pelo Açude Esguicho, principal reservatório sobre o rio Quipauá, que recebe as águas das precipitações.

A Tabela 2 mostra os resultados para as variáveis morfométricas que estão relacionadas com o seu sistema de drenagem, área e perímetro

Tabela 2 — Valores das variáveis de aspecto areal da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN.

Variáveis morfométricas	Valores	Unidade
Área da sub-bacia (A)	517,4	km ²
Coefficiente de compacidade (Kc)	2,45	Adimensional
Fator de forma (F)	0,25	Adimensional
Índice de Circularidade (IC)	0,16	Adimensional
Densidade de drenagem (Dd)	0,7	km/km ²

Fonte – Azevedo (2017)

Os valores encontrados para o Kc (2,45) e para o F (0,25) indicam que a sub-bacia tem um formato irregular, que difere da figura do círculo, tendo, portanto, um formato alongado, sendo uma sub-bacia pouco propícia a inundações. Essa informação pode ser evidenciada também pelo valor do IC (0,16) que assim como o Kc tende para a unidade à medida que o formato da sub-bacia se assemelha ao círculo. De acordo com Villela; Matos (1975), o que contribui para que bacias alongadas sejam menos propícias a enchentes em condições normais de precipitações, é que a possibilidade de ocorrência de chuvas cobrindo simultaneamente toda sua área é menor e há maior contribuição dos seus tributários, atingindo o rio principal em vários pontos.

Feitosa et al. (2011), na caracterização morfométrica da bacia do rio Pajeú, PE, obtiveram valores de 0,139 e 0,189 para F e IC respectivamente, identificando o formato alongado da bacia que favorece o processo de escoamento das águas das chuvas para o canal principal. Silva, et al. (2010) estudando a morfometria do Açude Soledade, PB, obtiveram os valores de 1,86 para o Kc, 0,56 para o F e um IC de 0,28, concluindo que se trata de uma bacia pouco susceptível a inundações e de formato alongado.

A densidade de drenagem, variável que indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, foi de 0,7 km/km² para a sub-bacia do Açude Esguicho. Este valor indica que para cada km² da sub-bacia existe um comprimento média de 0,7 km de canal de drenagem.

O valor da densidade encontrado é considerado baixo, tomando como referência Villela; Matos (1975), que admitem a classificação da densidade no intervalo de 0,5 km/km² a 3,5 km/km² ou mais, para bacias mal drenadas a bacias com drenagem eficiente respectivamente

Lima et al. (2013), na caracterização morfométrica da bacia do rio bom sucesso, BA, obtiveram uma densidade de drenagem igual a 0,92 km/km² classificando-a como de baixa densidade, atribuíram o valor encontrado as características de semiaridez da região. Afirmam ainda que esse valor indica que o grau de dissecação geral do relevo é baixo.

5.3 Análise de relevo

5.3.1 Declividade

Na tabela 3 encontram-se os valores de declividades correspondentes às respectivas classes, área e porcentagem em relação a área total da sub-bacia hidrográfica. Foram definidas seis classes de declividade, onde predomina relevo de Suave ondulado a Ondulado, representando, quando somados, aproximadamente 69 % da área. As demais classes são as seguintes: relevo Plano (15,3 %); Fortemente ondulado (13,2 %); Montanhoso (2,2 %) e Fortemente montanhoso (0,3 %). A declividade média foi de 1,64%, configurando-se como uma sub-bacia de baixa declividade.

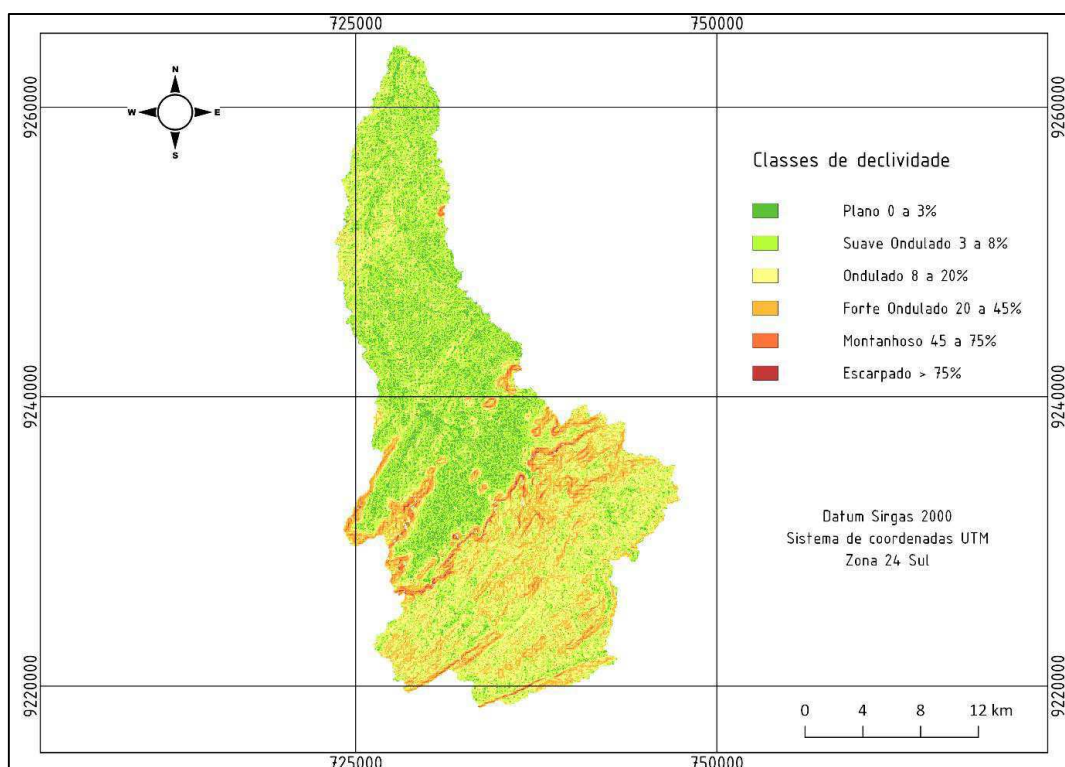
Tabela 3 – Classes de declividade e suas respectivas áreas e porcentagem em relação a área da sub-bacia do Açude Esguicho, PB/RN.

Declividade	Classes	Área	%
0-3	Plano	79,1	15,3
3-8	Suave ondulado	190,9	36,9
8-20	Ondulado	165,9	32,1
20-45	Fortemente ondulado	68,2	13,2
45-75	Montanhoso	11,4	2,2
>75	Fortemente montanhoso	1,9	0,3
Total		517,4	100

Fonte – Azevedo (2017)

As classes de declividade mais elevadas foram identificadas nas áreas com maiores altitudes, representadas pelas serras do planalto da Borborema, onde predomina um relevo que vai de ondulado a fortemente montanhoso (Figura 6).

Figura 6 — Classes de declividades da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN.



Fonte — Azevedo (2017)

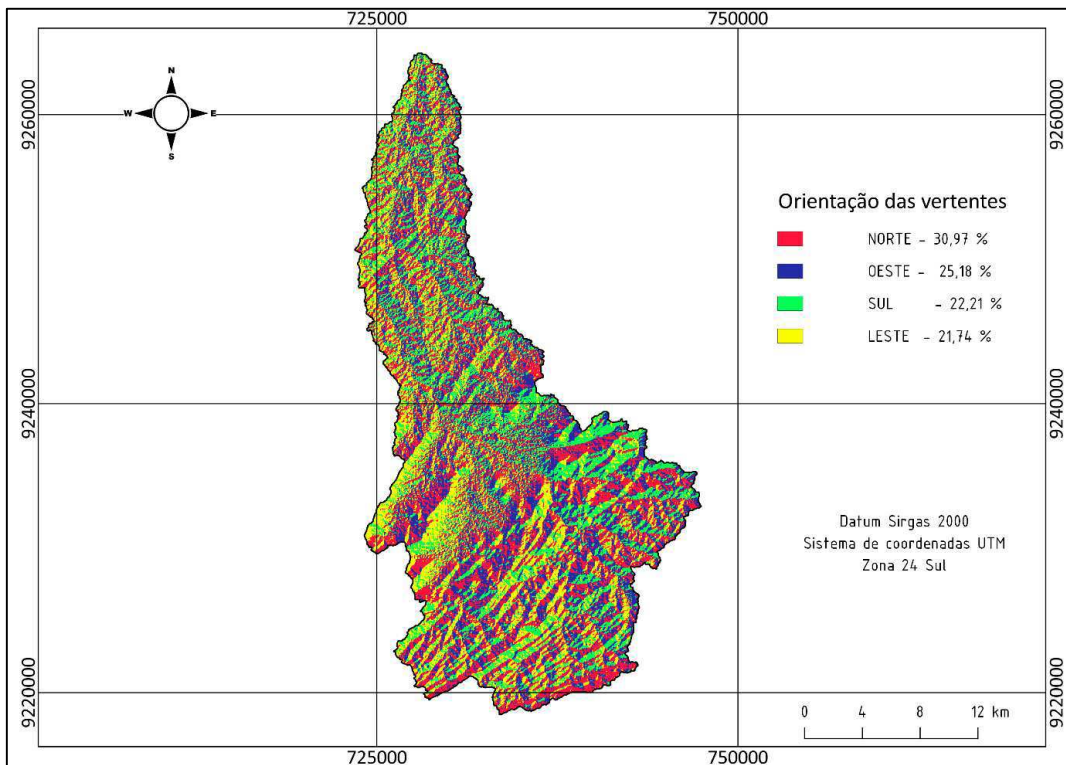
Quanto maior a declividade, maior a velocidade do escoamento superficial e menor a infiltração da água no solo, que pode ser compensada pela manutenção da cobertura vegetal (CARDOSO et al., 2006). Além disto, o seu conhecimento é importante para regularização ambiental, atendendo a legislação (Lei 12.651 intitulada de novo código florestal brasileiro) e planejamento de uso do solo diminuindo as chances de erosão e degradação ambiental.

5.3.2 Orientação das vertentes

Na Figura 7 estão representadas as quatro direções que indicam a orientação das vertentes, ou seja, as direções Norte, Sul, Leste e Oeste da área e valores em porcentagem da área ocupada em relação a área total. Nesta figura verifica-se que 30,9 % das faces do terreno

estão voltadas para a direção norte, 25,2 % para a direção Oeste, 22,2 % para a direção Sul e 21,7 % para a direção Leste.

Figura 7 — Mapa de orientação das vertentes e suas respectivas porcentagens em relação à área total da sub-bacia do Açude Esguicho, PB/RN.



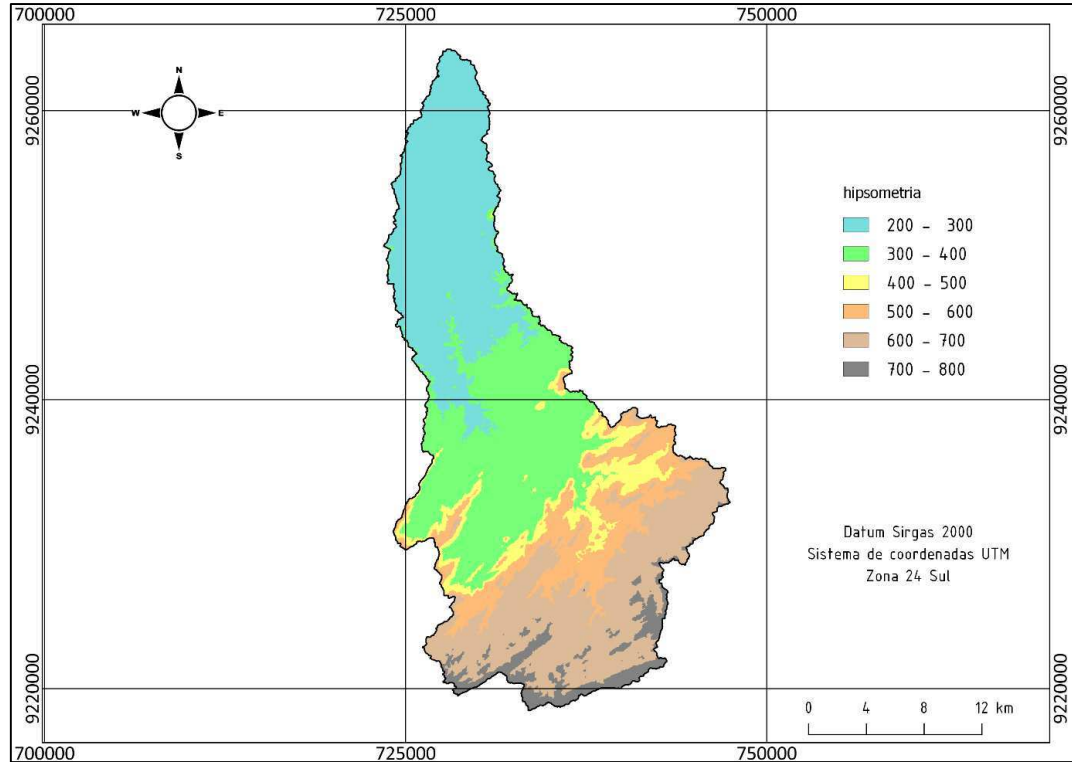
Fonte — Azevedo (2017)

Conforme Tonello et al. (2006), no hemisfério Sul há maior incidência da radiação na parte norte do relevo. No caso em estudo, a maior área da bacia está exposta para o lado Norte, cuja maior incidência de radiação solar concorre para maiores perdas por evapotranspiração.

5.4.3 Hipsométrica da sub-bacia

A figura 8 mostra a distribuição das faixas altimétricas extraídas do MDE SRTM para os limites da sub-bacia. A altitude da área variou de 200 m a 873 m, que resulta em uma amplitude altimétrica de 673 m. A altitude média foi de 442 metros. Pela figura 8, percebe-se que maior parte da sub-bacia está compreendida entre os intervalos de 200 a 400.

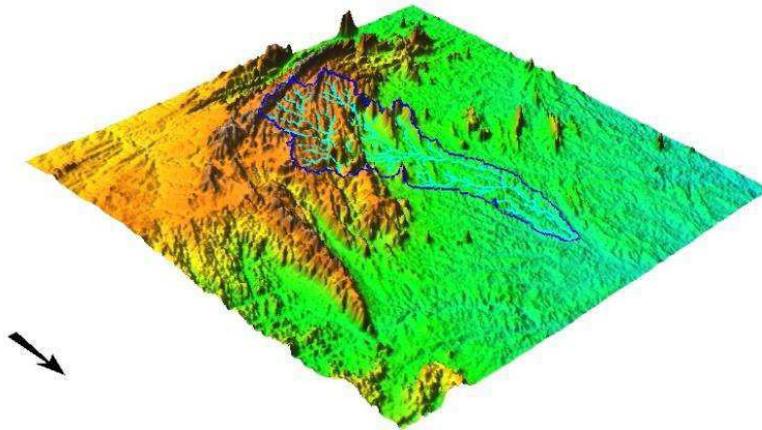
Figura 8 – Distribuição das classes altimétricas da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN.



Fonte — Azevedo (2017)

Complementando a análise, a figura 9 mostra, numa perspectiva visual a representação do relevo onde pode ser identificado as maiores altitudes que variam de 500 a 800 metros que representam a barreira física do Planalto da Borborema.

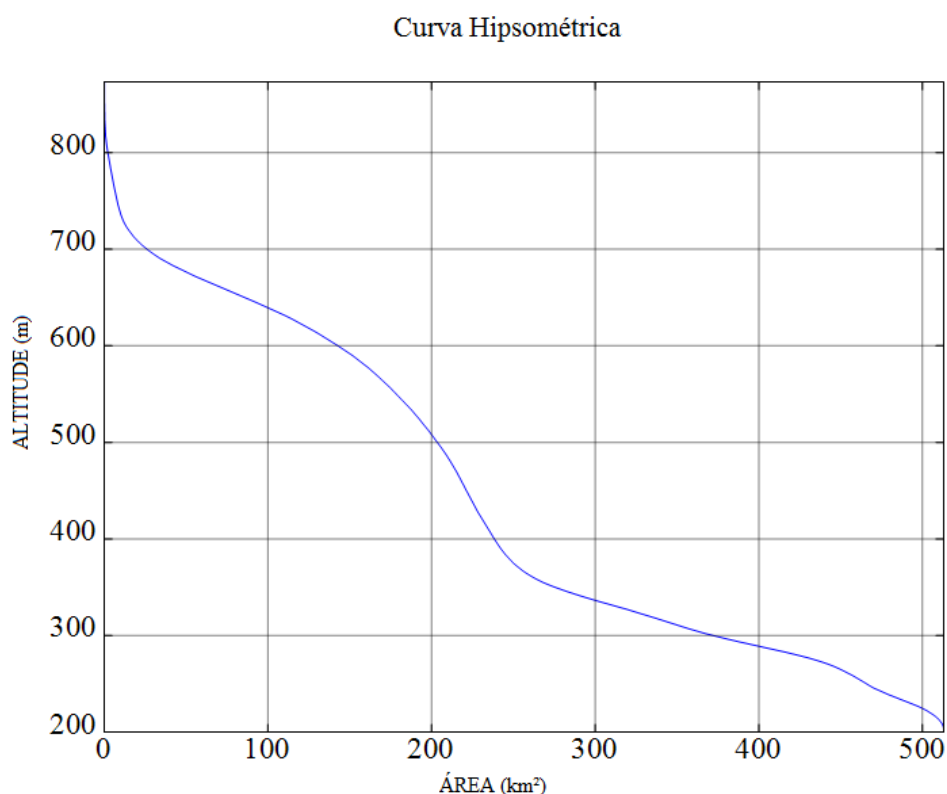
Figura 9 – Perspectiva visual da distribuição do relevo na sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN.



Fonte — Azevedo (2017)

O gráfico 1 mostra a distribuição do relevo através da curva hipsométrica da sub-bacia. Neste gráfico, a área da sub-bacia hidrográfica é assinalada no eixo das abscissas, em valores acumulados, enquanto que a altitude se expressa no eixo das ordenadas, sendo que o valor da abscissa indica a porção de área que existe acima do valor correspondente na ordenada. A partir de sua análise, percebe-se que 50 % da sub-bacia possui altitude maior que 300 metros e a maior parte da sub-bacia, cerca de 97%, possui altitude maiores que 225 metros. Altitudes maiores que 700 metros representam menos de 1 % da área da sub-bacia.

Gráfico 1 – Curva hipsométrica da sub-bacia hidrográfica do Açude Esguicho, PB/RN.



Fonte – Azevedo (2017)

De forma geral, a variação da altitude e a elevação média da sub-bacia hidrográfica influenciam nos fatores meteorológicos, a exemplo da temperatura média, e tem consequências nas perdas de água por evapotranspiração, na precipitação e no deflúvio (VILLELA; MATOS, 1975). Com relação aos fatores comandados pela declividade evidenciam-se condições mais propícias a dissecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude (TRENTIN; ROBAINA, 2005).

6 CONCLUSÃO

- Os dados SRTM foram úteis na definição da rede de drenagem, porém informações adicionais como dados de sensoriamento remoto devem ser utilizadas para garantir melhor precisão na determinação da hidrografia.
- Os softwares QGIS e GRASS mostraram-se completos para as análises, como ferramentas capazes de realizar as principais operações sobre o MDE, para extração das informações físicas da sub-bacia do Açude Esguicho, PB/RN.
- A análise possibilitou o conhecimento das características de relevo, tais como: declividade, orientação das vertentes e hipsometria, bem como os principais índices morfométricos da sub-bacia do Açude Esguicho, PB/RN.

REFERÊNCIAS

- ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Recife, Projeto Dom Helder Câmara, 2013. 200 p.
- ARRUDA, K. E. Mapeamento Geomorfológico da Folha Ouricuri- Pernambuco, através da utilização de Softwares de Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geografia e Física**. V. 5, n. 5, p. 1046-1055, 2012.
- 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. **Revista Árvore**, v. 30, n.2, p. 241 – 248, 2006.
- CHAGAS, C. S. FERNANDES FILHO, E. I., ROCHA, M. F., JÚNIOR, W. C., NETO, N. C. S. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 218-226, 2010.
- CHAVES, M. A. **Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistente para a bacia Amazônica**. 2002. 115 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2002.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**, 2.ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1980. 188 p.
- CUNHA, E. R.; BACANI, V. M. Morphometric Characterization of a Watershed through SRTM Data and Geoprocessing Technique. **Journal of Geographic Information System**. v. 8, n. 02, p. 238, 2016.
- DUQUE, J. G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. 4 ed. Fortaleza, Banco do Nordeste, p. 330, 2004.
- EHLSCHLAEGER, C. Using the AT search algorithm to develop hydrologic models from digital elevation data. In: **International geographic information systems (IGIS) symposium**. 1989. p. 275-281, Baltimore, MD, 1989.
- EMBRAPA. O novo mapa de solos do Brasil. 2011. Disponível em: <<http://mapoteca.cnps.embrapa.br>> Acesso em: 03/04/2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FEITOSA, A.; SANTOS B.; ARAÚJO, M. S. B. Caracterização morfométrica e identificação de áreas susceptíveis a erosão na bacia do rio pajeú, PE: o estudo de caso da Bacia Pajeú/PE. **Revista brasileira de geografia e física**, v. 4, n.4, p. 820-836, 2011.

G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.

GARBRECHT, J.; MARTZ, L. W. Digital elevation model issues in water resources modeling. In: MAIDMENT, D.; DJOKIC, D. Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems. Redlands: Environmental Systems Research Institute. California: ESRI 2000. p.1-28.

GORRE-DALE, E. The Dublin Statement on Water and Sustainable Development. **Environmental Conservation**, v. 19, n. 2, p. 181-181, 1992.

GRASS Development Team, 2015. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.0. Open Source Geospatial Foundation.

GROHMANN C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia. **Revista Geografica Acadêmica**. v. 2 n. 2 p.73-78. 2008

GROHMANN, Carlos Henrique. Resampling SRTM 03" -data with kriging. **GRASS/OSGeo-News**, v. 4, p. 20-25, 2006.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-339. 2006.

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

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Malhas Digitais, 2015. Disponível em: < <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>> Acesso em: 05/10/2016.

JERSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric engineering and remote sensing**. V. 54, n. 11, p1593-1600, 1988.

JPL – JET PROPULSION LABORATORY. Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: < <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>> Acesso em: 20/05/2016.

LIMA, C. K.; FILHO, A. P.; CUNHA, C. M. L. Características morfológicas e morfométricas dos canais de drenagem da bacia hidrográfica do rio bom sucesso – Semiárido da Bahia/Brasil. **Revista brasileira de geomorfologia**, v. 14, n. 4, p. 309-317, 2013.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Escola superior de Agricultura Luiz de Queiróz. Piracicaba – SP. 2008. 245p.

MARQUES, H. G.; PENATTI, N. C.; PARANHOS FILHO, A. C.; FROELICH, O.; ALMEIDA, T. I. R.; SHIMABUKURU, Y. Comparação entre modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2011. p. 1271-1278.

- MELO, RAFAEL R.; CATARINA, T. Alternativas e caracterização da Caatinga em assentamentos rurais no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 126-131, 2008.
- MITASOVA, H.; MITAS, L. Interpolation by regularized Spline with tension: I. Theory and implementation. In: **Mathematical Geology**, v.25. p. 641–655, 1993.
- NETELER, M. **Introduction to GRASS GIS software**, Hannover, 2ed.1998.
- NETELER, M. SRTM and VMAP0 data in OGR and GRASS. **GRASS Newsletter**, v. 3, p. 2-6, 2005.
- NETELER, M.; MITASOVA, H. **Open source GIS: A Grass GIS Approach**. 2 ed. Boston. 2004. 424 p.
- OLIVEIRA, P. T. S. DE; ALVES SOBRINHO, T.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 819-825, 2010.
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008.
- RIBEIRO, H. J.; FERREIRA, N. C. Análise comparativa de redes hidrológicas geradas a partir de superfícies hidrológicamente consistentes. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 20, n. 4, p. 784-805, 2014.
- SANTOS, E. C. A.; ARAÚJO, L. E.; MARCELINO, A. S. Análise climática da bacia hidrográfica do rio Mamanguape. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande-PB, V. 19, n. 1, p. 9-14, 2015.
- SAUSEN, T. M.; NARVAES, I.S. **Desastres naturais e geotecnologias: inundação** - Caderno didático, n. 7, INPE, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. São José dos Campos, 2013.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. Situação volumétrica de reservatórios do RN. 2015.
- Shuttle Radar Topography Mission. **U.S. Releases Enhanced Shuttle Land Elevation Data**.
- SILVA, C. R. R.; DEMARQUI, E. N.; ALMEIDA, F. T.; MINGOTI, R.; SOUZA, P. A. Diferentes modelos digitais de elevação na caracterização física da bacia hidrográfica do Rio Nandico, MT, Brasil. **Revista Scientia Plena**. v. 11, n. 5, p. 01-11. 2015
- SILVA, L.; LIMA, E. R. V.; ALMEIDA, H. A.; COSTA FILHO, J. F. Caracterização geomorfométrica e mapeamento dos conflitos de uso na bacia de drenagem do Açude Soledade. **Revista brasileira de geografia e física**, v. 3, n. 2, p. 112-122, 2010.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. Ed. Porto Alegre: Ed. Universidade-UFRGS/ABRH, 2001. p.35-51.
- SIRANGELO, F. R.; GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G. Análise Morfométrica das Sub-Bacias da Bacia hidrográfica do Taquari – Antans/RS, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto, XVII, 2015. João Pessoa, 2015. **Anais...** INPE, v. 1. P. 4930-4937. 2015.

SOUSA, G. M.; SOUZA, L. G.; COURA, P. H. F.; FERNANDEZ, M.; C.; MENEZES, M; P. Métodos para geração de modelos digitais de elevação para o maciço da Pedra Branca, RJ: Um estudo comparativo. In Simpósio Brasileiro de Ciências e Tecnologias da Geoinformação, II, 2008. Recife. **Anais...** Recife. Setembro de 2008, p. 01-08.

SOUZA FILHO, C. R. O relevo das Américas como nunca antes visto. **Revista InfoGEO**. v. 30, p. 54-56, 2003.

STEINER, S. S. **Aquisição e processamento de dados morfométricos derivados do modelo digital de elevação SRTM**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

STRAHLER, A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Transactions of American Geophysical Union, v.38, p.913-20,1957.

TEODORO, L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v. 20, p. 137-156, 2007.

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

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.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Metodologia para mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: XI Congresso Brasileiro de geografia Física Aplicada, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2005. p. 3606-3615.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Segund Global**. 2016.

USGS science for a changing world. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. 2016.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D F. **TOPODATA: Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010.

VALERIANO, M. M; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Geoprocessamento de Modelos Digitais de Elevação para Mapeamento da Curvatura Horizontal em Microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São José dos Campos, v. 4, n. 1, p 17-29. 2003.

VARELA-FREIRE, A. A. **A caatinga hiperxerófila Seridó, a sua caracterização e estratégias para a sua conservação**. São Paulo, SP: Editora ACIESP, 2002. 39p.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Escorregões propostas para o bioma caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental, The Nature Conservancy do Brasil, 2002. 76 p.

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

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 1995.