

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

JÚLIA ANDRESA FREITAS DA SILVA

**DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA SUB-
BACIA DO RIO GURJAÚ COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS**

**RECIFE - PE
2018**

JÚLIA ANDRESA FREITAS DA SILVA

**DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA SUB-
BACIA DO RIO GURJAÚ COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Florestal da Universidade Federal Rural
de Pernambuco, como parte das
exigências para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Simone Mirtes
Araújo Duarte

**RECIFE - PE
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S586d Silva, Júlia Andresa Freitas da
Delimitação e caracterização morfométrica da sub-bacia do Rio
Gurjaú com o uso de geotecnologias / Júlia Andresa Freitas da Silva.
– 2018.
51 f. : il.

Orientador: Simone Mirtes Araújo Duarte.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal,
Recife, BR-PE, 2019.
Inclui referências, anexo(s) e apêndice(s).

1. Engenharia florestal 2. Sistemas de informação geográfica
3. Bacias hidrográficas - Pernambuco I. Duarte, Simone Mirtes
Araújo, orient. II. Título

CDD 634.9

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais e à minha irmã, por absolutamente tudo, sem vocês eu não estaria aqui.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Simone Mirtes Araújo Duarte, que além de ser uma orientadora fantástica, também é uma pessoa maravilhosa e atenciosa.

Ao Prof. Dr. Marcelo Nogueira, tutor do PET – Engenharia Florestal, e a meus colegas de tantos anos do PET, só tenho a agradecer por todo meu crescimento pessoal e profissional e pelos momentos que passamos.

Aos meus amigos maravilhosos do Desvio Extracurricular + Jasmônico + Zoeira Never Ends, pelas risadas, raivas, choros, barracos e fofocas: Cibelle, Jéssica, Rafael, Tarcila, Igor, Laura, Isabele, Ingrid Fontes (membro honorário do grupo), Thiago e Ricardo.

A todos os amigos da turma 2013.1, tanto os que estavam presentes desde o começo quanto aos que chegaram para somar.

A todos os professores que tive ao longo da vida, cada um de vocês me incentivou, me desafiou, me ajudou.

“Eu me lembrava de que o mundo real era vasto, e que uma quantidade enorme de esperanças e medos, de sensações e emoções, estava à espera daqueles que ousassem sair por ele afora, buscando, em meio a seus perigos, o verdadeiro conhecimento do que é a vida”

Charlotte Brönte – Jane Eyre

RESUMO

O estudo das características de uma bacia hidrográfica permite que se entenda sua e dinâmica e que se realize uma gestão adequada de seus recursos. Tendo isto em vista, o presente trabalho objetivou caracterizar morfometricamente a sub-bacia do Rio Gurjaú, na Região Metropolitana do Recife – PE, por meio de geotecnologias. Neste estudo, utilizou-se um *shapefile* dos municípios de Pernambuco, que auxiliou como referência visual para situar o curso hídrico, e uma imagem SRTM de resolução espacial de 30 m x 30 m, referente à área de estudo, fornecida pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). Utilizando o Google Earth Pro, foi identificado o Rio Gurjaú. A imagem foi importada para o *software* gratuito Spring 5.5.4, onde gerou-se as isolinhas, a matriz de direção do fluxo hídrico e a matriz de fluxo acumulado em cada célula, as quais foram utilizadas para delimitar a sub-bacia. Foram aferidos a área e o perímetro da bacia e os cursos hídricos foram vetorizados. A altitude foi classificada de 30 em 30 metros. Foi gerada a grade de declividade, e elaborados os mapas de hipsometria e declividade. Calculou-se os seguintes parâmetros morfométricos: coeficiente de compacidade (Kc), índice de circularidade (Ic), fator de forma (Kf), razão de alongação (Re), rede de drenagem, hierarquia de drenagem, densidade de drenagem (Dd), densidade hidrográfica (Dh), coeficiente de torrencialidade (Ct), coeficiente de manutenção (Cm), índice de rugosidade (HD) e Relação relevo (Rr). A altitude mínima encontrada na sub-bacia foi 0 m, já a máxima foi 370 m. A classe de altitude mais representativa ao longo da sub-bacia foi entre 90 e 120 m, enquanto que a menos representativa foi entre 360 e 390 m. A declividade mínima foi de 0% e a máxima encontrada foi de 181,57%. O relevo da região é majoritariamente ondulado, apresentando entre 8% e 20% de declividade. A área encontrada foi de 148,115 km², o perímetro foi de 68,948 km e o comprimento axial da sub-bacia foi de 22,723 km. Os valores obtidos para as características morfométricas foram: Kc = 1,586; Ic = 0,392; Kf = 0,287; RL = 0,604; comprimento total dos cursos d'água = 110,226 km; hierarquia dos canais = 4ª ordem; Dd = 0,744 km.km⁻²; Dh = 0,317; Ct = 0,235; Cm = 1344,09 m².m⁻¹; HD = 0,277; Rr = 16,28. Foi possível perceber que a sub-bacia do Rio Gurjaú possui uma forma alongada, com declives não muito íngremes, não estando portanto sujeita a inundações.

Palavras-chave: SIG, Geoprocessamento, Caracterização física

ABSTRACT

The study of the characteristics of a river basin allows one to understand its dynamics and to carry out an adequate management of its resources. With this in view, the present work aimed to characterize morphometrically the sub-basin of the Gurjaú River, in the Metropolitan Region of Recife - PE, through geotechnologies. In this study, a shapefile of the municipalities of Pernambuco was used, which assisted as a visual reference to locate the water course, and an SRTM image of spatial resolution of 30 mx 30 m, referring to the study area, provided by the National Institute of Space Research (INPE). Using Google Earth Pro, the Gurjaú River was identified. The image was imported into the free software Spring 5.5.4, where the isolines, the water flow direction matrix and the flow matrix accumulated in each cell were generated, which were used to delimit the sub-basin. The area and perimeter of the basin were measured and the water flows were vectored. The altitude was rated 30 by 30 meters. The gradient grid was generated, and the maps of hypsometry and slope were elaborated. The following morphometric parameters were calculated: compaction coefficient (Kc), circularity index (Ic), shape factor (Kf), elongation ratio (Re), drainage network, drainage hierarchy, drainage density (Dd) (Dh), torrentiality coefficient (Ct), maintenance coefficient (Cm), roughness index (HD) and relief ratio (Rr). The minimum altitude found in the sub-basin was 0 m, and the maximum altitude was 370 m. The most representative altitude class along the sub-basin was between 90 and 120 m, while the least representative was between 360 and 390 m. The minimum slope was 0% and the maximum found was 181.57%. The relief of the region is mostly wavy, presenting between 8% and 20% of slope. The area found was 148,115 km², the perimeter was 68,948 km and the axial length of the sub-basin was 22,723 km. The values obtained for the morphometric characteristics were: Kc = 1.586; Ic = 392; Kf = 0.287; RL = 0.604; total length of watercourses = 110,226 km; hierarchy of channels = 4th order; Dd = 0.744 km.-2; Dh = 0.317; Ct = 0.235; Cm = 1344.09 m².m-1; HD = 0.277; Rf = 16.28. It was possible to notice that the sub-basin of the Gurjaú River has an elongated form, with slopes not very steep, and therefore is not subject to floods.

Keywords: GIS, Geoprocessing, Physical characterization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de hierarquia de canais segundo a metodologia de Strahler.....	17
Figura 2 - Exemplos de dados que podem ser trabalhados e interpretados simultaneamente	20
Figura 3 - Localização da drenagem do Rio Gurjaú	23
Figura 4 – Estação de Tratamento de Águas Gurjaú.....	25
Figura 5 - Análise exploratória do SRTM.....	26
Figura 6 - Isolinhas criadas no Spring.....	27
Figura 7 — Matriz de Direção do Fluxo (a) e Matriz de Fluxo Acumulado (b).....	27
Figura 8 - Contraste aplicado na ACM	28
Figura 9 -Tela de edição vetorial utilizada para a delimitação.....	28
Figura 10 -Análise exploratória da altitude.....	29
Figura 11 -Análise exploratória da declividade	30
Figura 12 - Mapa de localização da Sub-bacia do Rio Gurjaú.....	34
Figura 13 - Ordem dos canais da sub-bacia do Rio Gurjaú.....	36
Figura 14 - Mapa das classes hipsométricas	39
Figura 15 - Variação do relevo representado por perfis topográficos	40
Figura 16 -Mapa das classes de declividade	42
Figura 17 - Tubulação da Compesa sobre o Rio Gurjaú	43
Figura 18 - Relevo próximo à Ponte Sobre o Rio Gurjaú	43
Figura 19 - Variação do relevo nas terras da Usina Bom Jesus	44
Figura 20 - Vegetação mais densa em topos de morros (a), contornando o rio (b) e detalhe às margens (c).....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características obtidas com a delimitação da sub-bacia do rio Gurjaú.....	35
Tabela 2 - Resultados obtidos nos cálculos dos parâmetros morfométricos	35
Tabela 3 - Características de relevo calculadas.....	37
Tabela 4 - Classes hipsométricas e sua representatividade em área e porcentagem	38
Tabela 5 - Classes de declividade e suas representatividades em área e porcentagem	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de declividade	30
Quadro 2 - Parâmetros morfoméricos calculados	31
Quadro 3 - Pluviosidade mensal, em mm, de 2008 a 2018	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Geral	13
1.1.2 Específicos.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS	14
2.1.1 Características geométricas.....	14
2.2.2 Características da rede de drenagem	16
2.2.3. Características do relevo	19
2.2 GEOPROCESSAMENTO	20
2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	21
2.4 MISSÃO TOPOGRÁFICA RADAR SHUTTLE (SRTM).....	21
2.5 PLUVIOSIDADE E EROSÃO DO SOLO	22
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	23
3.2 MATERIAIS	25
3.3. MÉTODOS	26
3.3.1. Pluviometria	26
3.3.2. Delimitação da Sub-bacia do Rio Gurjaú	26
3.3.3 Hipsometria.....	29
3.3.4 Declividade.....	29
3.3.5 Morfometria	30
3.3.6 Visita à campo.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. PLUVIOSIDADE	32
4.2 DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA.....	33
4.3 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS	35
4.4. CARACTERÍSTICAS DO RELEVO	37
4.4.1 Hipsometria.....	38
4.4.2 Declividade.....	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
6 REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos mais importantes para a vida humana, estando intrinsecamente ligada a seu desenvolvimento ao longo da história, uma vez que a água permitiu a agricultura, que por sua vez foi essencial para que o ser humano se fixasse e, por consequência, as primeiras cidades se desenvolveram próximas às margens dos rios.

O manejo adequado dos recursos hídricos influencia positivamente na produção de alimentos, entre outras atividades humanas, ao passo que uma má gestão acaba levando a consequências desastrosas como erosão do solo, escassez, inundações, poluição dos corpos hídricos, chegando até a causar danos à saúde humana (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000).

Bacias hidrográficas são áreas delimitadas naturalmente por seu relevo, em que a precipitação escoar para um único ponto no final, que pode ser outro rio ou o mar. Para o entendimento da dinâmica das bacias e seu comportamento, é necessário que suas características físicas sejam observadas. O relevo de uma bacia hidrográfica influencia na velocidade do escoamento superficial e no arraste de partículas, enquanto a forma da bacia influencia no tempo que a água dos diferentes canais leva para chegar ao exutório (VILLELA; MATTOS, 1975). Por isso, a caracterização morfométrica é sempre um dos primeiros estudos necessários ao se trabalhar com a gestão de uma bacia hidrográfica.

Ainda que as características físicas de uma determinada bacia não sejam favoráveis a desastres, eventos fora do comum, como tempestades e secas, ainda podem alterar a dinâmica dessa bacia trazendo consequências negativas. A influência antrópica também é capaz de alterar o funcionamento de uma bacia hidrográfica, seja através do desvio de cursos hídricos, construção de barragens, retirada de solo, aterramentos ou supressão da vegetação.

O Brasil sofreu, historicamente, muita supressão vegetal, principalmente no seu litoral. Inicialmente, a supressão se dava objetivando o uso dos recursos obtidos, e em seguida passou a objetivar a abertura de áreas para o cultivo. O litoral pernambucano possui extensas áreas com plantios de cana-de-açúcar desde o período colonial até os dias atuais, onde ocorreu a supressão da mata atlântica.

Ao se trabalhar com áreas extensas, podem ser encontrados problemas que dificultem a avaliação, sejam eles obstáculos físicos ou um grande volume de dados, por exemplo. As geotecnologias permitem que se trabalhe essas áreas extensas, e até áreas menores, de forma

rápida e precisa, e ainda permitem o cruzamento de dados dos mais diversos tipos, a fim de suprir as necessidades do operador e compensar algum déficit de dados.

Contudo, essas tecnologias também encontram suas limitações, como a presença de nuvens nas imagens de satélite, uma baixa resolução espacial que não permita a análise tão detalhada quanto se deseja, desatualização dos dados e capacidade de processamento do *hardware*. Por isso, o geoprocessamento deve sempre estar aliado à visitas técnicas para avaliação do local. A tecnologia está em constante desenvolvimento, isto é algo claro ao se comparadas a situação tecnológica atual com a década de 1940, quando o primeiro computador digital foi lançado.

Tendo em vista os pontos explanados, o presente trabalho objetivou caracterizar morfometricamente a Sub-bacia do Rio Gurjaú, utilizando geotecnologias.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Caracterizar morfometricamente a Sub-bacia do Rio Gurjaú, na Região Metropolitana do Recife - PE, delimitando-a e calculando seus índices, por meio de geotecnologias.

1.1.2 Específicos

- Delimitar a Sub-bacia do Rio Gurjaú;
- Calcular os índices morfométricos para obter suas características geométricas, do relevo e da rede de drenagem;
- Avaliar os valores dos índices encontrados
- Avaliar a hipsometria da sub-bacia através do mapa hipsométrico;
- Avaliar a declividade da sub-bacia através de seu mapa;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

Bacias hidrográficas podem ser entendidas como áreas delimitadas por divisores naturais em que ocorre a captação da água precipitada e que escoam para um único ponto, denominado exutório (TUCCI, 2012). Porém, nem toda a água que entra nesse sistema sai no exutório. Há a ocorrência de perdas sejam por evaporação, desde o momento em que a precipitação se inicia bem como ao longo do escoamento; por infiltração, dependendo da permeabilidade do solo, formando lençóis subterrâneos; ou pelo o acúmulo de água em depressões formadas pelo terreno, que posteriormente será evaporada ou infiltrada; além, da captação pelas raízes das plantas e sua posterior transpiração (VILLELA; MATTOS, 1975).

Os critérios para conceituar as divisões das bacias, tais como sub-bacias e microbacias podem variar de acordo com diferentes autores. Alguns autores utilizam a área de drenagem como critério para classificação, como Faustino (1996), que considera como microbacias as que possuem área inferior a 100 km², sub-bacias aquelas com área entre 100 km² e 700 km², e bacias hidrográficas propriamente ditas as possuem área superior a 700 km². Há também classificações mais subjetivas, como a de Santana (2004), que considera sub-bacias quaisquer desmembramentos de bacias hidrográficas ao longo de seu tributário principal, do mesmo modo que essas bacias podem ser sub-bacias de outras maiores, possibilitando sempre desmembrar uma bacia hidrográfica em sub-bacias e assim por diante. No presente trabalho, foi considerado a classificação de Faustino.

Para o entendimento da dinâmica hidrológica das bacias é necessário que suas características físicas sejam estudadas, afinal elas possuem uma estreita relação com o regime hidrológico, logo a caracterização morfométrica é uma das primeiras atividades realizadas, ao fazer qualquer trabalho relacionado a gestão das bacias (TEODORO et al., 2007).

A morfometria da bacia engloba diversos índices que analisam e avaliam as características da sua superfície, podendo ser dividida em características geométricas, características da rede de drenagem e características do relevo.

2.1.1 Características geométricas

As características geométricas de uma bacia são aquelas relacionadas às medidas planimétricas, que explicam a dinâmica da bacia de forma ampla. Abrangem a área,

perímetro, comprimento do eixo principal, e índices que relacionam essas características entre si e à forma da bacia. A forma de uma bacia é importante pois influencia no tempo de concentração, ou seja, no tempo que a água leva para percorrer desde o local onde precipitou até o exutório (VILLELA; MATTOS, 1975). Em bacias mais arredondadas o tempo de concentração é menor, o tempo percorrido pela água nos canais é semelhante, fazendo com que precipitações de diferentes pontos cheguem ao exutório ao mesmo tempo, causando inundações.. Existem diversos índices, mas os principais são o coeficiente de compacidade (Kc); fator de forma (Kf); razão de alongação (Re); e o índice de circularidade (Ic).

2.1.1.1 Coeficiente de compacidade (Kc)

Este coeficiente relaciona o perímetro da bacia com a circunferência de um círculo de mesma área que a bacia, uma vez que e foi determinado utilizando a Equação 1 (VILLELA; MATOS, 1975).

$$Kc = 0,28 \times \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que, P é o perímetro em km e A área da bacia em km².

Ele é um número adimensional, que varia a partir de um, sendo a unidade correspondente à uma bacia hidrográfica circular. Levando em conta a relação entre a forma da bacia e a probabilidade de inundações, Silva e Mello (2008) propuseram a seguinte classificação:

- Kc de 1 a 1,25 - indica a alta probabilidade de inundações;
- Kc de 1,25 a 1,50 – bacia com tendência mediana a inundações; e
- Kc > 1,50 – não sujeita a inundações;

2.1.1.2 Índice de circularidade (Ic)

Este índice, proposto por Miller (1953), corresponde à relação entre a área da bacia e a área de um círculo de mesmo perímetro que a bacia, foi calculado através da Equação 2, varia de 0 a 1, sendo que quanto próximo de 1,0 for o valor de Ic, mais próxima da forma circular será a bacia (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$Ic = 12,57 \times \left(\frac{A}{P^2} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde, A é a área em km² e P o perímetro em km.

De acordo com a classificação proposta por Schumm (1956), a bacia cujo índice de circularidade é inferior a 0,51 possui forma mais alongada, enquanto que índices superiores a este valor indicam uma tendência à circularidade.

2.1.1.3 Fator de forma (Kf)

Valor adimensional, determinado pela Equação 3, que relaciona a largura média da bacia com o comprimento do eixo principal, sendo esta a distância euclidiana entre a foz e o ponto distante da bacia, usando como referência o curso principal (TONELLO, 2005).

$$Kf = \frac{A}{Lx^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde, A é a área da bacia em km² e Lx corresponde ao comprimento do eixo principal da bacia em km.

Silva e Mello (2008), classificam o valor obtido para esse índice da seguinte forma:

- Kf < 0,50 – bacia sem tendência a inundações;
- Kf de 0,50 a 0,75 – bacia com tendência media a inundações; e
- Kf de 0,75 a 1 – bacia com tendência a inundações;

2.1.1.3 Razão de alongação (Re)

Razão de alongação (Equação 4) é a relação entre o diâmetro do círculo de área igual à área da bacia e o comprimento do eixo da bacia, sendo que quanto maior for o seu valor, mais próximo de um círculo a bacia será e maior será a probabilidade de enchente (MOSCA, 2003).

$$Re = 1,128 \left(\frac{A^{0,5}}{Lx} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde A é a área da bacia em km² e Lx corresponde ao comprimento do eixo principal da bacia em km.

2.2.2 Características da rede de drenagem

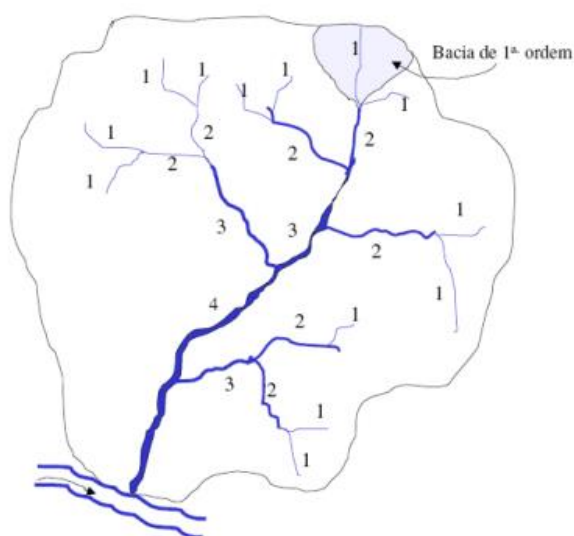
A rede de drenagem da bacia também influencia no comportamento hidrológico, sendo necessário que a mesma seja estudada. Assim como nas características geométricas, também

existem diversos índices para avaliar, destacando-se: classificação hierárquica de Strahler; densidade de drenagem (Dd); densidade hidrográfica (Dh); coeficiente de torrencialidade (Ct); e coeficiente de manutenção (Cm).

2.2.2.1 Classificação hierárquica de Strahler

O grau de ramificação desse sistema de drenagem pode ser expresso através da ordem dos cursos d'água, que categoriza hierarquicamente os canais ao longo da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). O método de hierarquização proposto por Horton (1945) e modificado Strahler (1964) é o método utilizado no presente trabalho, segundo ele cada curso de água que não possui afluentes é considerado um canal de primeira ordem, dois canais de primeira ordem ao se juntar, formam um de segunda ordem, dois de segunda formam um de terceira e assim por diante (Figura 1).

Figura 1 - Exemplo de hierarquia de canais segundo a metodologia de Strahler



Fonte: Guimarães, 2013

2.2.2.2 Densidade de drenagem

Corresponde à relação entre o comprimento total dos canais e a área da bacia, permitindo que se observe o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, que quanto mais bem desenvolvido, mais eficaz é (VILLELA; MATTOS, 1975). Determinada pela equação 5, proposta por Horton (1932).

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde Lt corresponde ao comprimento total dos canais em km e A na área da bacia em km^2 .

2.2.2.3 Densidade hidrográfica

Corresponde à relação entre o número de cursos d'água de primeira ordem e a área da bacia hidrográfica (Equação 6), ela representa a capacidade da bacia em gerar novos cursos hídricos (CHRISTOFOLETTI, 1969).

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que, Dh é a densidade hidrográfica, em n° de cursos d'água por km^2 ; N é o número de cursos d'água de primeira ordem; e A é a área em km^2 .

2.2.2.4. Coeficiente de torrencialidade (Ct)

Índice adimensional que quantifica a tendência à ocorrência de inundações a partir da relação entre a densidade hidrográfica e a densidade de drenagem (Equação 7). Quanto maior o valor do Ct , maior é a susceptibilidade a inundações.

$$Ct = Dd \times Dh \quad (\text{Equação 7})$$

Em que Ct é o coeficiente de torrencialidade, adimensional.

2.2.2.5. Coeficiente de Manutenção (Cm)

Este coeficiente foi proposto por Schumm (1956), citado em Borsato e Martoni (2004), ele corresponde ao inverso da densidade de drenagem (Equação 8), ou sejam ele quantifica a área sem entalhes, indicando a área mínima necessária 1m de canal se desenvolver (EMBRAPA, 2012).

$$Cm = \left(\frac{1}{Dd} \right) \times 1000 \quad (\text{Equação 8})$$

Onde, C_m corresponde ao coeficiente de manutenção em $m^2.m^{-1}$, e D_d corresponde à densidade de drenagem em $km.km^{-2}$

2.2.3. Características do relevo

O relevo influencia na velocidade de escoamento, no arraste de partículas e na infiltração da água no solo. Wischemeier e Smith (1978) citam que quanto mais agudos os declives presentes em uma bacia, maior a velocidade de escoamento e maior a quantidade de sedimentos carregados pela água.

Além do estudo da distribuição espacial do relevo da área, existem índices que ajudam a caracterizar esse relevo, como o índice de rugosidade (HD) e a relação relevo (Rr).

2.2.2.5. Índice de rugosidade (HD)

Este índice relaciona a amplitude hipsométrica com a densidade de drenagem, sendo índice adimensional (Equação 9). Ele permite que se tenha uma ideia da possibilidade de erosão do solo, uma vez que quanto mais íngremes as vertentes, mais alto ele resulta.

$$HD = \Delta A \times Dd \quad (9)$$

Em que:

HD = índice de rugosidade; e Δa = amplitude altimétrica (km).

2.2.2.6. Relação de relevo (Rr)

Este índice relaciona a amplitude altimétrica com o comprimento do eixo principal, indicando o desnível entre a cabeceira e a foz (Equação 10). Schumm (1956) indica que quanto maior o Rr, maior é a declividade média da bacia.

$$Rr = \Delta A / Lx \quad (\text{Equação 10})$$

Em que:

Rr = Relação de relevo; e Δa = amplitude altimétrica (km).

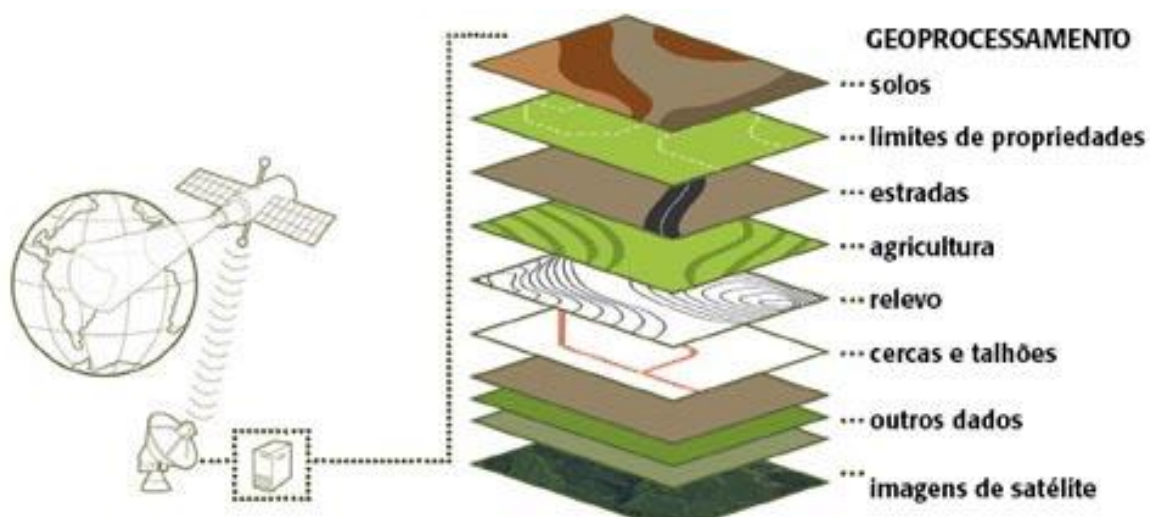
2.2 GEOPROCESSAMENTO

Desde o surgimento das cidades, sempre se fez necessário saber informações sobre recursos, como a população estava distribuída, qual a infraestrutura que a cidade possuía, quais os povoados e cidades vizinhos, entre outras coisas; isso, por sua vez, requeria que a superfície terrestre fosse observada, representada e os objetos que a compunham registrados. Assim, o mapeamento da superfície e de seus recursos vem sendo realizado desde os primórdios da humanidade (ROSA, 2013).

A automatização dos dados espaciais começou por volta da década de 1950, mas encontrou diversas limitações dada a tecnologia da época, afinal, além dos limites na capacidade de processamento dos hardwares e softwares, havia também o custo, de modo que o geoprocessamento só veio se popularizar na década de 80, quando houve se iniciou a difusão dos microcomputadores (CÂMARA; DAVIS, 2018).

Atualmente o geoprocessamento serve de suporte para diversos estudos em diferentes áreas, como estudos de solo, relevo, recursos hídricos, vegetação, densidade populacional, entre outros. Uma das principais vantagens do geoprocessamento, é a possibilidade de se trabalhar com diversas camadas de dados, que permite a interpolação dos mesmos e assim, a obtenção de vários níveis de informação (Figura 2).

Figura 2 - Exemplos de dados que podem ser trabalhados e interpretados simultaneamente



Fonte: Instituto G4, 2013

2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O termo Sistemas de Informações Geográficas (SIG), refere-se a um conjunto de elementos utilizados no processamento de dados gráficos e numéricos, para a realização de análises espaciais e modelagens de superfícies. Os SIGs são compostos, de forma geral por cinco elementos (ROSA, 2011):

- Software, que corresponde ao conjunto de programas computacionais através dos quais se realiza a padronização, validação, armazenamento e análise dos dados. Além de gerar a informação, que nada mais é do que o dado pós-processado de acordo com as necessidades do usuário;
- Hardware, que corresponde ao conjunto de equipamentos físicos necessários para que o software desempenhe suas funções;
- Dados, que são o material bruto que entra no sistema, para que ao fim seja gerada a informação;
- Usuários, afinal, equipamentos e programas não podem processar os dados sozinhos, é necessário que pessoas decidam quais os objetivos daquele processamento;
- Técnicas de análise, que são as metodologias disponíveis para que o usuário obtenha as informações desejadas com os dados que possui.

A capacidade dos SIGs de processar um grande volume de dados, que geralmente compreendem grandes áreas físicas, a versatilidade das operações que podem ser realizadas e a velocidade dos processos, principalmente quando comparados às análises de campo, é de extrema utilidade análises de relevo, degradação do solo, índices de vegetação e recursos florestais.

2.4 MISSÃO TOPOGRÁFICA RADAR SHUTTLE (SRTM)

A Missão Topográfica Radar Shuttle é um projeto internacional liderado pela Agência Nacional de Inteligência Geoespacial (NGA) e pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), lançado em 11 de fevereiro de 2000, a bordo do Space Shuttle Endeavour, que captou cerca de 80% da superfície sólida terrestre, produzindo um banco de dados bastante completo a respeito do relevo da superfície (NASA, 2016).

Foram produzidos dados brutos utilizados na criação de um Modelo Digital de Elevação de toda região continental do planeta localizada entre 56° S e 60° N. A coleta de dados ocorreu através de duas antenas SAR a 60 m de distância uma da outra (EMBRAPA, 2013).

O *United States Geological Survey* (USGS) disponibiliza os Modelos Digitais de Elevação com resolução espacial de 30m x 30 m por pixel para o território dos Estados Unidos, e 90m x 90m para o resto do mundo, porém através do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), essas imagens foram pré-processadas, de modo a serem disponibilizadas com resolução 30m x 30m para todo o território nacional.

2.5 PLUVIOSIDADE E EROSÃO DO SOLO

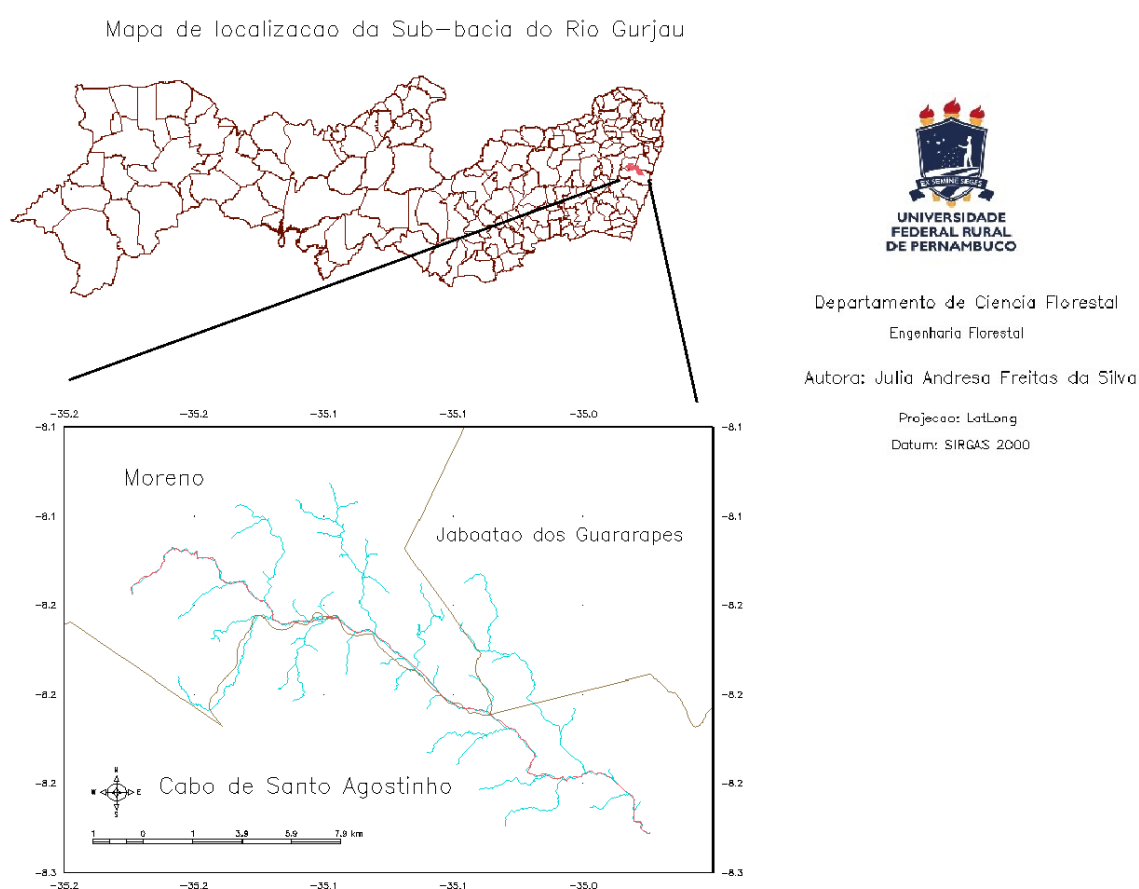
Quando ocorre a precipitação, as partículas menores do solo podem ser arrastadas, gerando perdas de solo que diminuem a espessura das camadas superficiais e, por consequência a capacidade de retenção de água é prejudicada, o que aumenta os escoamentos superficiais e as taxas de erosão do solo (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010). A desagregação e arraste das partículas é influenciada pela frequência, duração e intensidade das chuvas, assim, precipitações intensas e concentradas espacialmente, e que ocorrem em um curto espaço de tempo tem efeitos mais severos que chuvas leves (GUERRA et al., 2007). A cobertura vegetal intercepta as gotas de chuva, reduzindo seu impacto no solo, aumenta a infiltração de água, adiciona matéria orgânica que aumenta a retenção de água no solo e reduz a velocidade do escoamento superficial, influenciando assim, no processo de erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Rio Gurjaú está localizado na Região Metropolitana do Recife (Figura 3). Ele tem sua nascente no município de Moreno e sua foz em um trecho do Rio Pirapama, no município do Cabo de Santo Agostinho. Um de seus afluentes é o Rio São Braz, que nasce em Jaboatão dos Guararapes, assim, sua bacia abrange os três municípios.

Figura 3 - Localização da drenagem do Rio Gurjaú



Fonte: Autora, 2018

O município do Jaboatão dos Guararapes está situado no litoral do Estado de Pernambuco, com extensão territorial de 256 km², e está localizada entre Recife, e o Cabo de Santo Agostinho. O clima do município é caracterizado com As, segundo a classificação de Köppen.

De acordo com o censo de do IBGE (2010), a principal atividade agrícola na área era o cultivo de cana-de-açúcar, com mais de 1198 ha colhidos, mas há também o cultivo de abacaxi, feijão, milho, macaxeira, entre outras espécies; além da atividade pecuária.

O Cabo de Santo Agostinho, está localizado no litoral pernambucano. O desenvolvimento da cidade, está intrinsecamente ligado à monocultura da cana-de-açúcar, que em 1570 passou a ser sua principal atividade econômica. Hoje, o município conta com o Complexo Industrial Portuário de Suape que desde sua instalação movimentou a economia da região. O clima do município é As, segundo a classificação de Köppen.

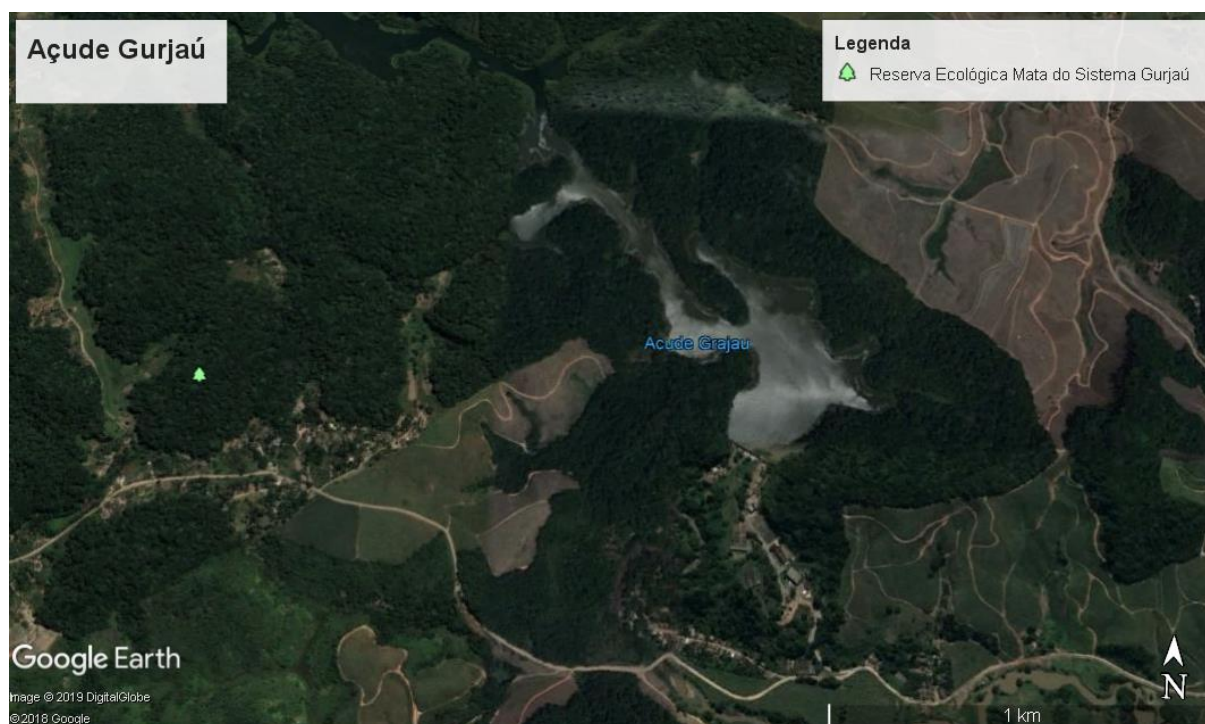
O município de Moreno se originou a partir da chegada de dois irmãos portugueses de sobrenome Moreno, cujo intuito ao se instalar na áreas, era fundar um engenho (IBGE, 2001). O clima do município é Am, segundo a classificação de Köppen.

Andrade (2001) cita que desde a primeira metade do século XVI, quando a coroa portuguesa iniciou a *plantation* em Pernambuco, como forma de acelerar a colonização substituindo o extrativismo do pau-brasil, a principal cultura era a cana-de-açúcar, difundindo assim os engenhos e desmatando intensivamente. O que explica a ligação intrínseca do desenvolvimento destes municípios à produção sucroalcooleira.

Na área de abrangência da bacia está localizado o Sistema de Matas do Gurjaú, fragmentos de mata atlântica que foram agrupados na criação de uma Reserva Ecológica pela Lei Estadual 9.989/1987. Entretanto, com a criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), em 2001, a situação da reserva ficou frágil, uma vez Reserva Ecológica não é englobada em nenhuma categoria de UC criadas. O Sistema de Matas do Gurjaú foi então recategorizado, pela Lei Estadual 14.324/2011, como um Refúgio de Vida Silvestre.

Próximo à RVS, há a Estação de Tratamento de Águas Gurjaú (Figura 4), cujo objetivo é a captação e distribuição de água para parte da Região Metropolitana do Recife, sua barragem no Rio Gurjaú foi construída em 1918 e a principal função é a fazer com que nível da água se eleve até a cota da estação de tratamento, a regularização da vazão do Rio Gurjaú é realizada por meio de uma represa no Rio Sucupema (CPRH, 2004).

Figura 4 – Estação de Tratamento de Águas Gurjaú



Fonte: Google Earth

De acordo com os dados fornecidos pela EMBRAPA (2001), através do Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE), a região é composta pelos solos podzólico vermelho-amarelo, podzólico amarelo, latossolo amarelo e gleissolo.

3.2 MATERIAIS

Foram utilizados os dados pluviométricos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), um *shapefile* contendo os limites dos municípios de Pernambuco, proveniente do Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE). A imagem SRTM utilizada, com resolução espacial 30m x 30m, foi fornecida pelo INPE, através do projeto TOPODATA, correspondente à folha 0836_ZN que abrangia a área de estudo.

Os dados e imagens foram processados utilizando os *softwares* gratuitos Spring 5.5.4 e QGIS. A produção dos mapas foi realizada no módulo SCARTA deste Spring. Também foi utilizado o *Google Earth Pro* para a visualização inicial da área.

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Pluviometria

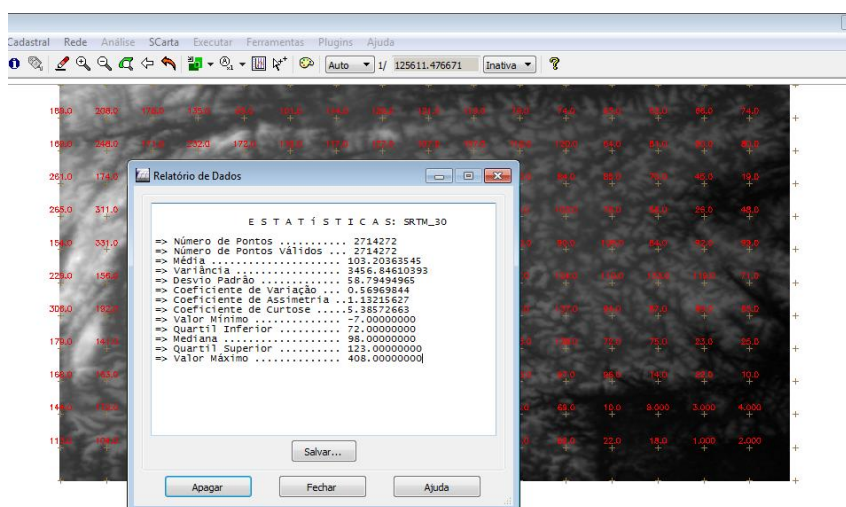
Para avaliar a pluviosidade da água foi realizada uma série temporal com dados pluviométricos de 2008 a 2018, fornecidos pela APAC e coletados na ETA Gurjaú. Em seguida, calculou-se a média mensal de pluviosidade.

3.3.2. Delimitação da Sub-bacia do Rio Gurjaú

Utilizando o Google Earth Pro, foram identificados os principais cursos hídricos que compõem a bacia, bem como o Açude Gurjaú, utilizado como ponto de referência.

A imagem SRTM foi importada para o software livre Spring, onde foi utilizada a ferramenta de análise exploratória para saber os valores máximos e mínimos (Figura 5).

Figura 5 - Análise exploratória do SRTM

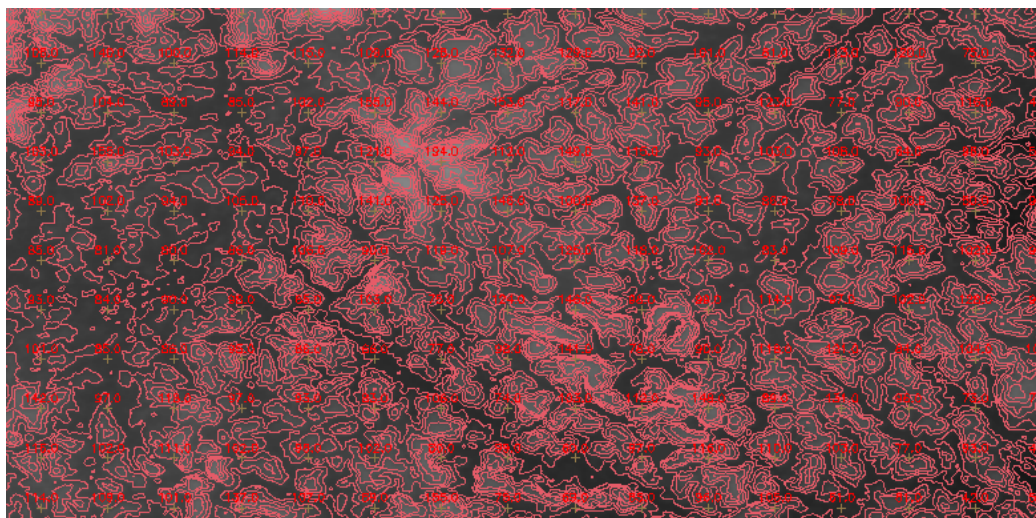


Fonte: Autora, 2018

Ao se realizar este processo, foram observados valores negativos, que indicam erros de leitura do satélite, algo comum em áreas litorâneas e próximas a corpos hídricos. A imagem foi então processada utilizando o software QGis, onde se utilizou de um algoritmo de substituição dos pixels negativos.

A imagem corrigida foi importada para o Spring, onde em seguida gerou-se as isolinhas, utilizando uma equidistância de 15m (Figura 6).

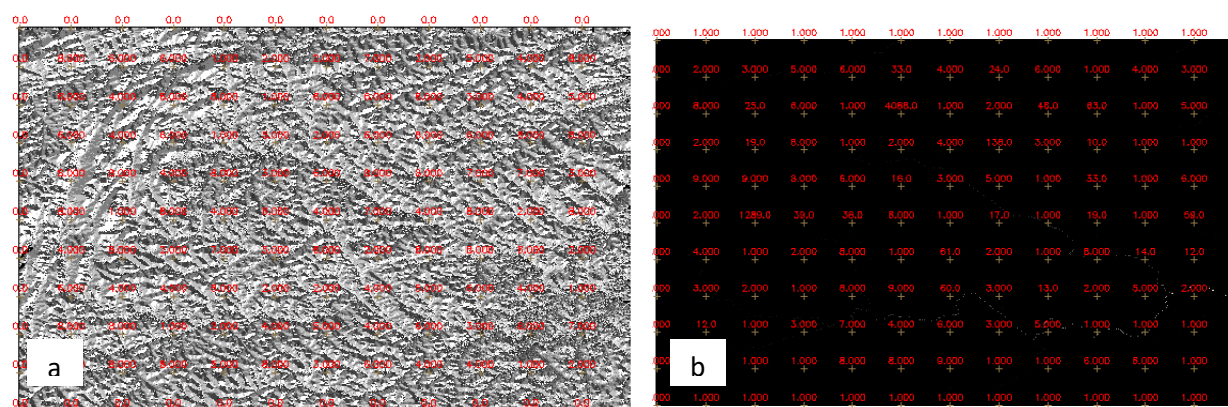
Figura 6 - Isolinhas criadas no Spring



Fonte: Autora, 2018

Por meio das ferramentas de gerenciamento hídrico, foram gerados o Local Drain Direction (LDD), que corresponde à matriz de direção do fluxo hídrico (Figura 7a) e a matriz de fluxo acumulado em cada célula (ACM) (Figura 7b).

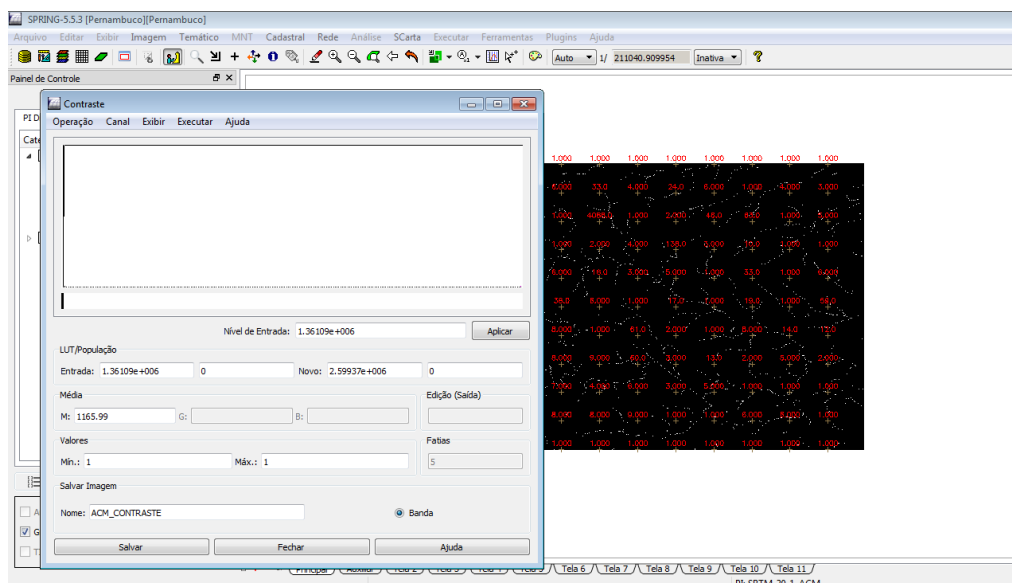
Figura 7 — Matriz de Direção do Fluxo (a) e Matriz de Fluxo Acumulado (b)



Fonte: Autora, 2018

Em seguida, foi aplicado o contraste na imagem ACM, permitindo visualização dos canais (Figura 8).

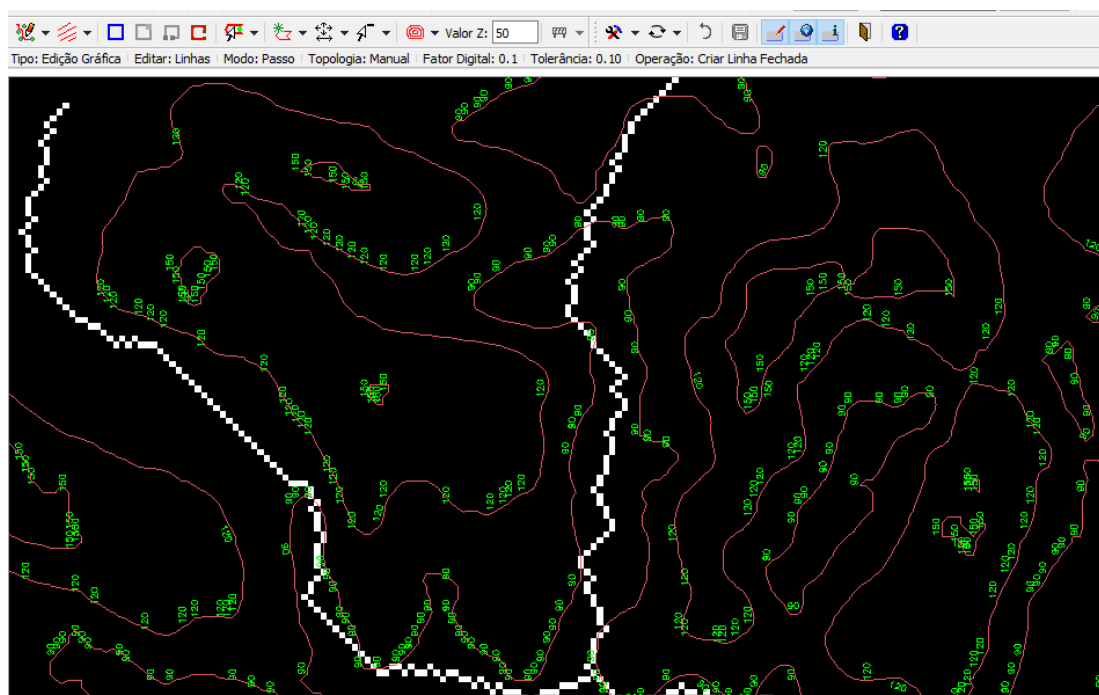
Figura 8 - Contraste aplicado na ACM



Fonte: Autora, 2018

A sub-bacia foi delimitada manualmente, na área de edição vetorial, utilizando como guia as cotas das isolinhas e a imagem contrastada da drenagem (Figura 9). Além disso, foi vetorizada também a rede de drenagem.

Figura 9 -Tela de edição vetorial utilizada para a delimitação

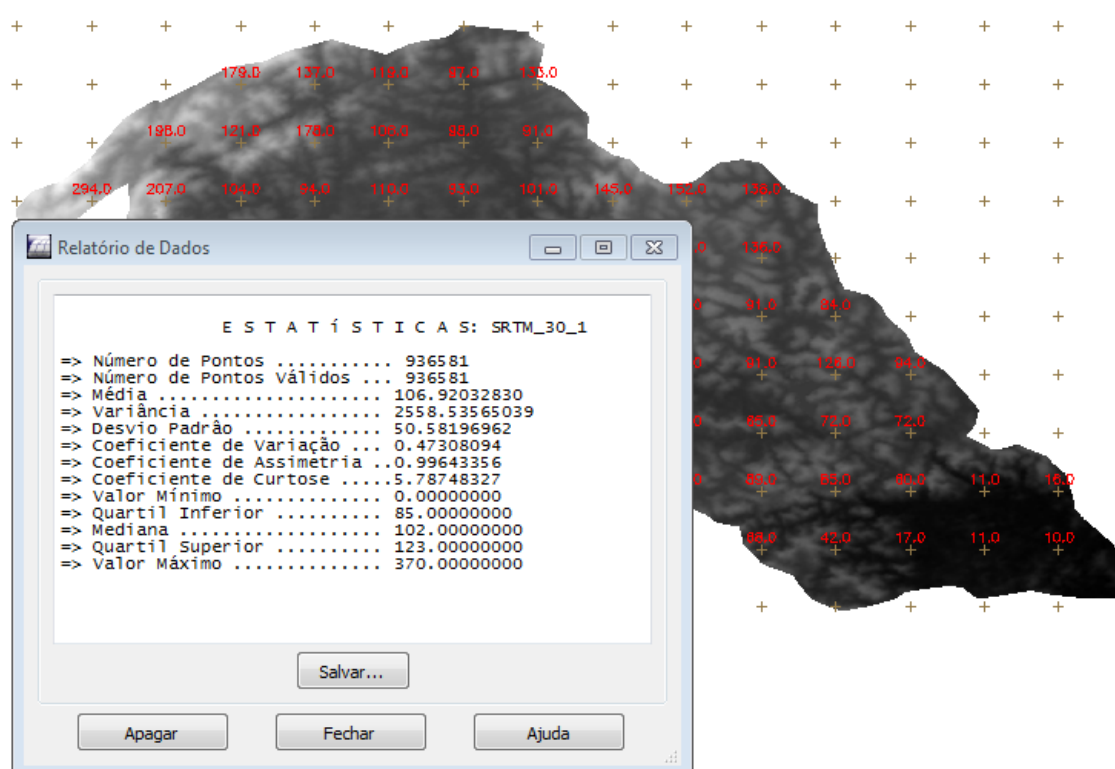


Fonte: Autora, 2018

3.3.3 Hipsometria

A imagem SRTM foi recortada com o contorno da sub-bacia e, por meio da ferramenta de estatísticas descritivas (Figura 8) do Spring, foi possível determinar a amplitude hipsométrica da imagem SRTM, valor utilizado para estabelecer os intervalos do fatiamento e das classes hipsométricas a serem criadas. Após a classificação, o mapa foi criado utilizando o módulo Scarta.

Figura 10 -Análise exploratória da altitude



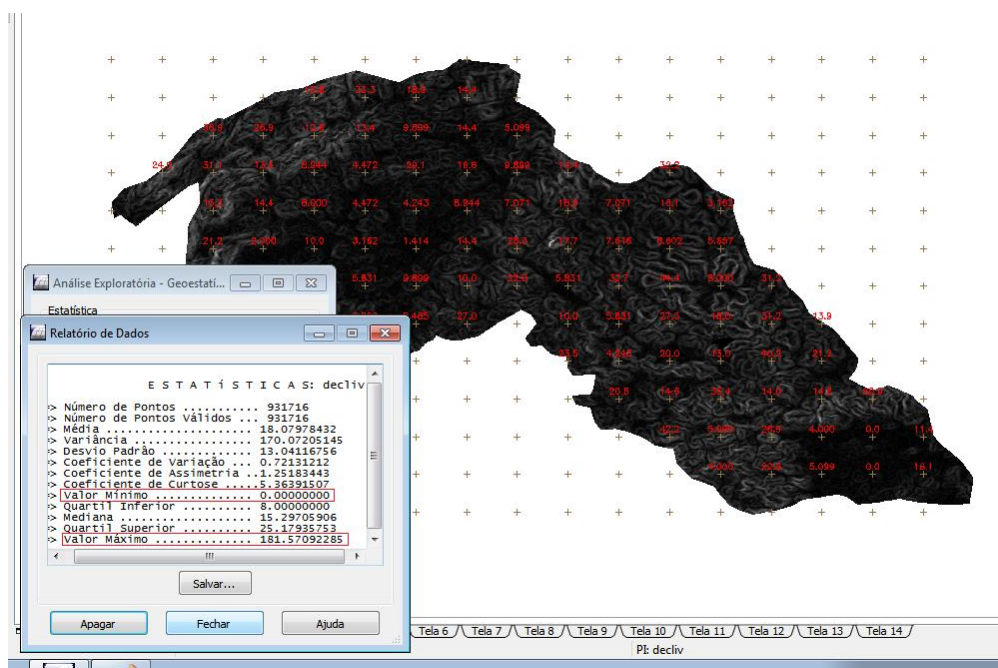
Fonte: Autora

3.3.4 Declividade

A imagem contendo a declividade foi gerada, em porcentagem, através da ferramenta de declividade do Spring, que utiliza a imagem SRTM para criar ela automaticamente.

Assim como feito anteriormente para a altitude, utilizou-se a ferramenta estatísticas descritivas, para observar a declividade mínima e a máxima (Figura 11).

Figura 11 -Análise exploratória da declividade



Fonte: Autora

As classes de declividade foram criadas seguindo o critério de classificação da EMBRAPA (2006), que pode ser observado no Quadro 1. Ao final, também se criou o mapa utilizando o módulo Scarta.

Quadro 1 - Classes de declividade

Declividade (%)	Classificação
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave ondulado
8 – 20	Ondulado
20 - 45	Forte ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (2006)

3.3.5 Morfometria

Para os cálculos dos parâmetros morfométricos, é necessário que obtenha valores como a área da bacia, seu perímetro e o comprimento dos canais, por exemplo. Tais dados foram obtidos utilizando a ferramenta de operações métricas do Spring, que permite a manipulação de valores associados aos vetores, como área e perímetro de um determinado polígono, comprimentos de linhas e distância linear entre pontos, entre outras alternativas. O Quadro 2 relaciona os parâmetros morfométricos calculados.

Quadro 2 - Parâmetros morfoméricos calculados

Parâmetro	Equação
Geométricos	
Área	-
Perímetro	-
Comprimento do eixo axial	-
Coeficiente de compactidade (Kc)	Equação 1
Índice de circularidade (Ic)	Equação 2
Fator de forma (Kf)	Equação 3
Razão de alongação (Re)	Equação 4
Rede de drenagem	
Comprimento do canal principal	-
Comprimento total dos canais	-
Hierarquia de drenagem	Classificação de Strahler
Densidade de drenagem (Dd)	Equação 5
Densidade hidrográfica (Dh)	Equação 6
Coeficiente de torrencialidade (Ct)	Equação 7
Coeficiente de manutenção (Cm)	Equação 8
Relevo	
Índice de rugosidade (HD)	Equação 9
Relação de Relevo (Rr)	Equação 10

Fonte: Autora

3.3.6 Visita à campo

Foram visitadas diferentes áreas ao longo da sub-bacia e estas foram fotografadas. As visitas foram realizadas de acordo com a possibilidade de acesso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PLUVIOSIDADE

O histórico de pluviosidade fornecido pela APAC para o período entre 2008 e 2018 pode ser observado no quadro 1.

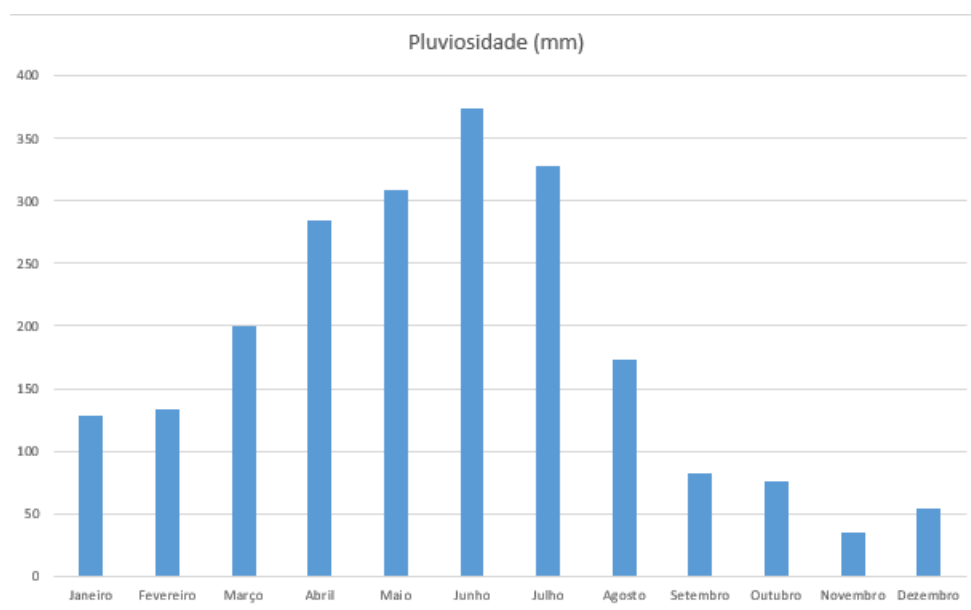
Quadro 3 - Pluviosidade mensal, em mm, de 2008 a 2018

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2008	155,3	50,8	346,3	238,8	313,7	269	351,2	287,9	61,5	76,2	21,2	76,5
2009	104,7	239	170,3	276,5	213,1	374,4	353,1	227,6	48	19,1	56	45,9
2010	267,5	277,6	230,9	433,3	316,7	1036,2	191,6	151,6	87,1	10,5	17,9	43
2011	184	230,4	108,2	438,5	585,8	271,6	518,4	186,2	33,2	65,5	68,9	35,2
2012	217,9	66,4	90	90,3	113	333,8	303,4	85,5	16	67,4	7,2	30,5
2013	45,2	7,1	133,8	295,5	248,2	343,3	413,1	281,4	159	144,7	78,1	76,7
2014	127,3	221,6	184,5	253,7	335,6	314,2	152	218,4	251,5	317,3	62,3	63,3
2015	14,6	26,6	283,8	38,5	160,9	462,4	446	165	30,9	43,6	4,7	91,8
2016	169,4	52,8	311,5	240,9	403,6	155,8	134,4	72,6	62,7	31,3	24	33,4
2017	24,2	44,9	113,8	322,3	468,3	451,1	585,2	178,4	120,7	52,2	8,1	39,2
2018	96,2	247,4	226,2	499,1	230,6	108,5	160	54,2	35,1	7,4	-	-

Fonte: Adaptado de APAC, 2018

A partir dos dados obtidos, foi possível calcular médias mensais, como apresentadas no gráfico 1.

Gráfico 1 – Médias de pluviosidade mensal em mm



Fonte: Adaptado de APAC, 2018

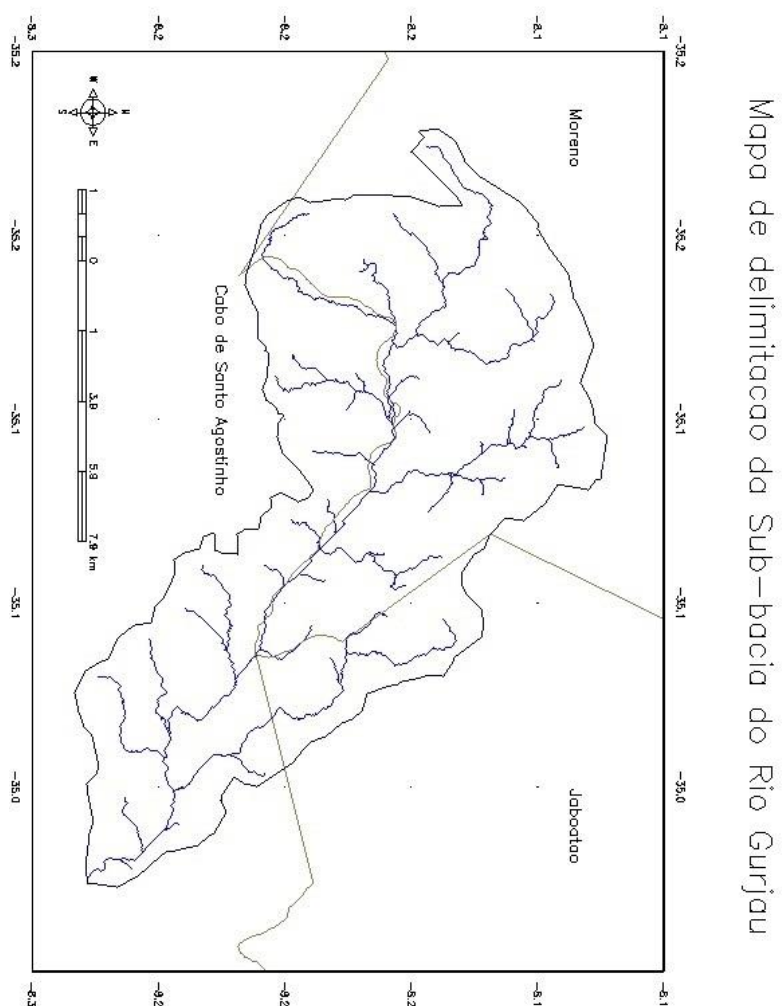
Como pode ser observado, os período de maior pluviosidade ocorre entre abril e julho, enquanto que o período de estiagem é de setembro a dezembro.

A área possui um alto índice de pluviosidade, atingindo mais de 350 mm em um mês.

4.2 DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA

A partir da delimitação manual da sub-bacia, foi possível observar que a mesma está localizada entre as coordenadas 35° 13' 5,04" O; 8° 16' 36,71" S; 34° 59' 10,82"; 8° 7' 4,22"; e abrange os municípios de Moreno, Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho (Figura 12).

Figura 12 - Mapa de localização da Sub-bacia do Rio Gurjaú



Departamento de Ciência Florestal
Engenharia Florestal

Autora: Júlia Andressa Freitas da Silva

Projecao: Latlong
Datum: SIRGAS 2000

LEGENDA

- Limite dos municípios
- Limite da sub-bacia
- Drenagem

A sub-bacia do rio Gurjaú possui uma área de 148,115 km², e um perímetro de 68,948 km. Seguindo a metodologia de Faustino (1996), a região é classificada como uma sub-bacia. O fluxo do rio principal da sub-bacia tem sentido noroeste-sudeste, e percorre cerca de 29,90 km. O comprimento axial da sub-bacia é de 22, 723 km (Tabela 1).

Tabela 1 - Características obtidas com a delimitação da sub-bacia do rio Gurjaú

Características	Medidas
Área total	148,115 km ²
Perímetro	68,948 km
Comprimento axial da sub-bacia	22,723 km

Fonte: Autora, 2018

4.3 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

Os resultados obtidos a partir dos cálculos morfométricos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados obtidos nos cálculos dos parâmetros morfométricos

Parâmetro	Resultado
Geométricos	
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,586
Índice de circularidade (Ic)	0,392
Fator de forma (Kf)	0,287
Razão de alongação (RL)	0,604
Comprimento do canal principal	29,90 km
Comprimento total dos cursos d'água	110,226 km
Rede de drenagem	
Hierarquia de drenagem	4
Densidade de drenagem (Dd)	0,744 km.km ⁻²
Densidade hidrográfica (Dh)	0,317
Coefficiente de torrencialidade (Ct)	0,235
Coefficiente de manutenção (Cm)	0,001 km ² .km ⁻¹

Fonte: Autora, 2018

Em uma bacia alongada é menos provável que chova em toda sua extensão ao mesmo tempo, bem como o caminho percorrido pela água possui diferentes extensões em cada canal, gerando tempos diferentes, por isso há menos chances de haver inundações.

O coeficiente de compacidade (Kc) encontrado foi de 1,586. Quanto mais próximo da unidade é o coeficiente de compacidade, mais circular é a área da bacia. Villela e Mattos (1975), em seu estudo de caso, encontraram para a bacia de Ribeirão um valor de 1,47 e consideraram que a sua bacia não era propensa a inundações, logo, a forma da sub-bacia do

Rio Gurjaú está ainda mais distante de ser similar a um círculo, não possuindo também tendência a grandes inundações. Isto é confirmado pela classificação de Silva e Mello (2008), que considera bacias com coeficiente de compacidade superior a 1,50, como não propensas a enchentes e inundações.

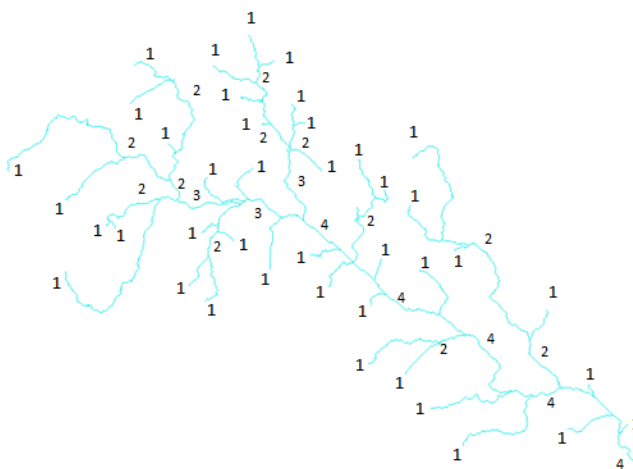
O índice de circularidade (I_c) apresentou o valor de 0,392 e, de acordo com a classificação de Schumm (1956), valores inferiores a 0,51 indicam uma tendência à forma alongada, reforçando que a bacia não é tão propensa a enchentes.

O fator de forma (K_f) encontrado foi de 0,287, inferior a 0,50, como indicado pela classificação de Silva e Mello (2008) o que ratifica os valores encontrados previamente, mostrando que sim, a bacia possui forma mais alongada e distante da forma circular, assim as precipitações de diferentes pontos da bacia chegam ao exutório em tempos diferentes, diminuindo a suscetibilidade a enchentes segundo a classificação de Silva e Mello (2008). Segundo Villela e Mattos (1975), uma bacia com fator de forma baixo está menos sujeita a enchentes que outra com a mesma área, porém com fator de forma mais alto.

O valor obtido para a razão de alongação foi de 0,604, distante da unidade, reforçando que a forma da sub-bacia é alongada.

A sub-bacia é de hierarquia 4, que indica um baixo grau de ramificações e, por consequência, uma rede de drenagem pouco desenvolvida, especialmente se comparada com bacias de ordens superiores, como pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - Ordem dos canais da sub-bacia do Rio Gurjaú



Villela e Mattos (1975) explanam que, apesar de haver poucos estudos a respeito da densidade de drenagem, os valores geralmente variam entre 0,5 km.km⁻², bacias mais pobres, até pouco mais que 3,5 km.km⁻², sendo estas mais bem drenadas. Há também a classificação de Christofletti (1974), que indica drenagens de menos de 7,5 km.km⁻², como baixa e valores superiores a 7,5 e 10,0 km.km⁻² como bem drenadas. A sub-bacia do Rio Gurjaú possui cerca de 0,74 km.km⁻² de drenagem, indicando assim uma rede de drenagem pouco desenvolvida, em ambas as classificações, o que reforça a informação obtida com a hierarquia.

Aliando a densidade de drenagem ao baixo valor obtido no coeficiente de torrencialidade (0,235), é possível pontuar que a bacia possui uma baixa tendência a inundações. Ainda que a drenagem seja pouco desenvolvida, seu o sistema de escoamento é eficiente, porém, a baixa tendência a inundações indicada pelo Ct se deve mais à forma alongada da bacia.

A densidade hidrográfica obtida foi de 0,317 cursos d'água para cada km² da área da sub-bacia, reforçando que a rede de drenagem é pouco ramificada.

De acordo com o coeficiente de manutenção (Cm) encontrado, são necessários 1343,731 m² para a manutenção cada metro de curso hídrico.

4.4. CARACTERÍSTICAS DO RELEVO

Tabela 3 - Características de relevo calculadas

Relevo	
Índice de rugosidade (HD)	0,277
Relação de relevo (Rr)	16,28
Altitude mínima	0 m
Altitude média	106,92 m
Altitude máxima	370 m
Declividade mínima	0 %
Declividade média	18,07 %
Declividade máxima	181,57%

Fonte: Autora, 2018

O índice de rugosidade encontrado foi de 0,277, indicando que a bacia não é muito íngreme, e possui menor risco de degradação em função do relevo, também tem menor risco de enchentes.

A relação de relevo calculada foi de 16,28.

4.4.1 Hipsometria

A sub-bacia do rio Gurjaú está localizada entre 0 e 370 metros de altitude. A classe com maior representatividade foi entre 90 e 120 m, chegando a representar mais de 40% da área total, como pode ser observado na Tabela 2.

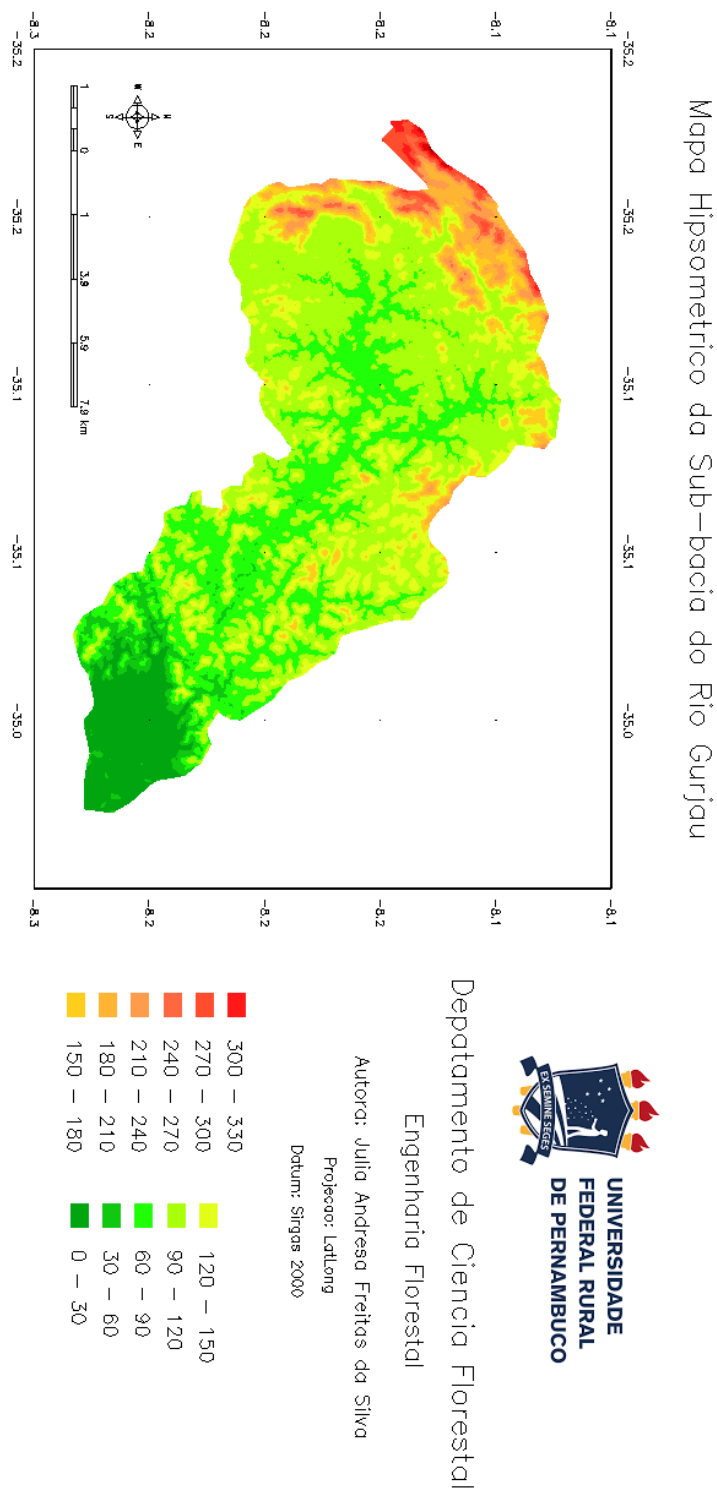
Tabela 4 - Classes hipsométricas e sua representatividade em área e porcentagem

Classe (m)	Área (km ²)	%
0 – 30	11,0623	7,549
30 - 60	5,0254	3,434
60 - 90	31,3723	21,437
90 - 120	59,3269	40,540
120 - 150	21,5001	14,691
150 – 180	5,8806	4,018
180 - 210	5,2448	3,584
210 - 240	3,2653	2,232
240 - 270	1,6263	1,111
270 - 300	1,4130	0,966
300 - 330	0,4892	0,334
330 - 360	0,1226	0,084
360 - 390	0,0117	0,008
Total	146,34	100

Fonte: Autora, 2018

Se destacam também com grande representatividade, as classes de 60 a 90m de altitude, com 21,44% da área, e de 120 a 150m de altitude, representando 14,69% da área. As classes com altitudes acima de 240 metros foram as menos representativas, sendo a classe com menos representatividade entre 360 e 390 metros de altitude, que corresponde aos topos de alguns morros. A Figura 14 ilustra esta distribuição.

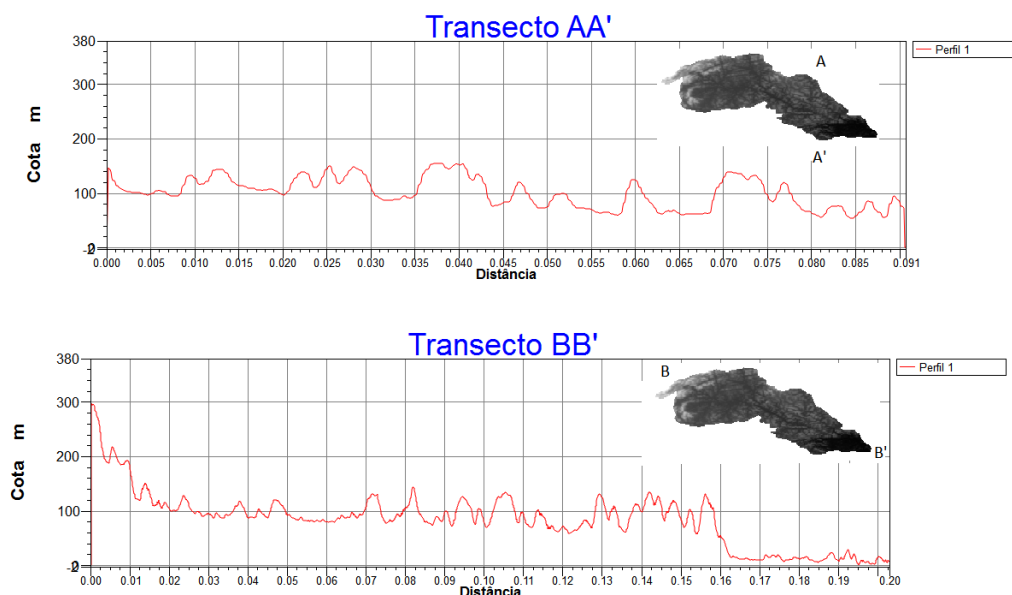
Figura 14 - Mapa das classes hipsométricas



Fonte: Autora, 2018

Para uma melhor visualização da variação de altitude ao longo da bacia, foram criados dois cortes, um transecto norte-sul (AA'), e outro leste-oeste (BB'), como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Variação do relevo representado por perfis topográficos



Fonte: Autora, 2018

É possível observar nos transectos a alta variação na altitude ao longo da bacia. No perfil leste-oeste (BB'), é possível observar maiores altitudes na parte oeste da área, em contraste com as menores altitudes bem à leste da sub-bacia.

4.4.2 Declividade

A declividade máxima encontrada foi de 181,57%, e a mínima foi de 0%. De acordo com a classificação da EMBRAPA (2006), a área da Sub-bacia do Rio Gurjaú é majoritariamente ondulado, entre 8 e 20%, abrangendo 38,36% da área (Tabela 5).

Tabela 5 - Classes de declividade e suas representatividades em área e porcentagem

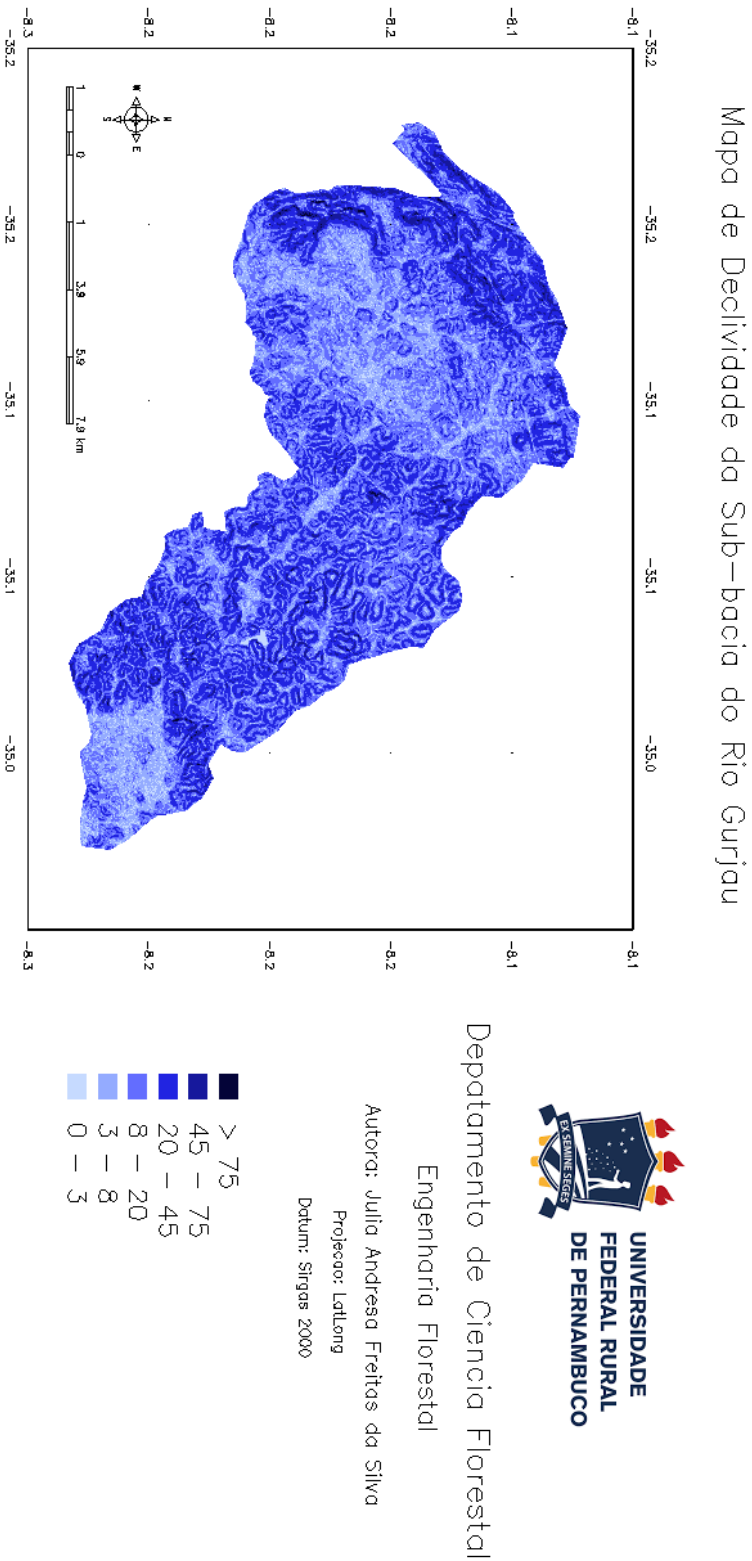
Declividade (%)	Área (km ²)	Porcentagem	Classificação
0 – 3	5,8223	4,00	Plano
3 - 8	31,3084	21,51	Suave ondulado
8 - 20	55,8434	38,36	Ondulado
20 - 45	46,6326	32,03	Forte ondulado
45 - 75	5,7322	3,94	Montanhoso
> 75	0,2416	0,17	Escarpado

Fonte: Autora, 2018

A segunda maior classe é de relevo forte ondulado (20 a 45%), abrangendo cerca de 32,03%, seguido pelo relevo suave ondulado (3 a 8%), com 21,51% da área da sub-bacia. A quarta classe mais representativa é do relevo plano (0 a 3%), representando 4% da área, em seguida está o relevo montanhoso (47 a 75%), com 3,94% da área, e a classe com menos representatividade é o escarpado (> 75%), correspondendo a apenas 0,17% da área.

A distribuição espacial das classes de declividade pode ser observada na Figura 16.

Figura 16 -Mapa das classes de declividade



Fonte: Autora, 2018

4.5. OBSERVAÇÃO DO LOCAL

A área visitada estava localizada na parte sul da sub-bacia, lá foi possível observar a ondulação da declividade, a Figura 17 mostra uma tubulação da Compesa que passa sobre um trecho do Rio Gurjaú.

Figura 17 - Tubulação da Compesa sobre o Rio Gurjaú



Fonte: Autora, 2018

As figuras 18 e 19 mostram o relevo do sul da bacia em diferentes pontos.

Figura 18 - Relevo próximo à Ponte Sobre o Rio Gurjaú



Fonte: Autora, 2018

Figura 19 - Variação do relevo nas terras da Usina Bom Jesus



Fonte: Autora, 2018

Foi possível observar que a supressão vegetal para os plantios está localizada nas áreas mais planas, enquanto que os topos de morro tendem a ter uma vegetação mais densa (Figura 20a), assim como há uma vegetação mais densa seguindo as margens do rio (Figura 20b e Figura 20c).

Figura 20 - Vegetação mais densa em topos de morros (a), contornando o rio (b) e detalhe às margens (c).



Fonte: Autora, 2018

A existência de vegetação arbórea densa especificamente em topos de morro e nas margens do rio, pode ser justificada pelas determinações da Lei Nº 12.651 (2012), que entre outras atribuições, definiu e delimitou as áreas de preservação permanente. Estas áreas cobertas desempenham importantes funções ambientais como fluxo gênico, proteção do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade, além de influenciar positivamente a qualidade de vida humana. Para os efeitos desta Lei Nº 12.651 (2012), são consideradas como áreas de preservação permanentes:

[...] I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

- a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
- b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;

III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento;

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

VII - os manguezais, em toda a sua extensão;

VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação

sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

XI - as veredas [...].

Estas áreas seguem como propriedade de seu dono, porém podem não pode ser realizada supressão vegetal, salvo em casos previstos na lei e devidamente autorizados, podendo ser realizadas apenas atividades de baixo impacto ambiental. Caso tenha ocorrido supressão dentro destas áreas, fora dos usos autorizados pela lei, o proprietário é obrigado a recompor a vegetação.

Ao se observar a paisagem local, há um certo impacto visual com discrepância entre as áreas com vegetação arbórea e as áreas destinadas a outros usos, podendo-se notar assim a importância de uma lei que assegure a preservação de determinadas áreas.

Ainda que as áreas estejam aparentemente em concordância com a lei, não há como ter certeza da dimensão do antropismo com apenas essa visita in loco, sendo necessários estudos posteriores de uso e ocupação do solo e uma observação mais extensa em campo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A maior parte da sub-bacia está localizada em baixas altitudes, entre 90 e 120 m;
- O relevo é em sua maior parte ondulado, com declividade entre 8 e 20%;
- A sub-bacia não é susceptível a grandes inundações em suas condições naturais, porém o desmatamento, a degradação do solo e a falta de práticas conservacionistas, quando aliadas a fenômenos meteorológicos fora da normalidade, podem levar a eventos catastróficos;
- O uso do Spring possibilitou a aferição de medidas como área e perímetro de uma grade área, de maneira prática e precisa;
- O trabalho de campo possibilitou a visualização do relevo local, e uma ideia geral dos impactos antrópicos que estão ocorrendo na área;
- Para uma melhor compreensão do comportamento desta sub-bacia é sugerido que seja realizado um estudo de uso e ocupação do solo.

6 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. C. Espaço e tempo na agroindústria canavieira de Pernambuco. **Estudos Avançados**, v. 15, n. 43, p. 267-280, 2001.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8a Ed. São Paulo: Ícone Editora, 2012. 360 p.
- BORSATO, F.H.; MARTONI, A.M. Estudo da Fisiografia das Bacias Hidrográficas Urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, Paraná, v.26, n. 2, p.273-285, 2004.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 10/10/2018.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1974. 149p.
- EMBRAPA. **Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica**: Subsídio à gestão territorial, estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape. 1ª ed. Campinas, 2012. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84896/1/0000010346-BPD-Analise-morfometrica.pdf>>. Acesso em: 03 nov 2018.
- EMBRAPA. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 20 out. 2018
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.
- FAUSTINO, J. Planificación y gestión de manejo de cuencas. **Turrialba: CATIE**, 1996. 90p.
- GUERRA, A. J. T. **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 339 p.
- HORTON, Robert 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. Censo Demográfico 2010. Disponível em <<https://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 nov 2018.

IBGE. **Moreno:** História. <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/moreno/historico>> Acesso em: 06 nov 2018.

MOSCA, A.A.O. **Caracterização Hidrológica de Duas Microbacias Visando a Identificação de Indicadores Hidrológicos para o Monitoramento Ambiental do Manejo de Florestas Plantadas.** 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Recursos florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, 2000

PERNAMBUCO. Lei nº. 9.889, de 13 de janeiro de 1987. Define as reservas ecológicas da Região Metropolitana do Recife. Diário Oficial [do] Estado de Pernambuco, Recife, PE 13 jan. 1987.

PERNAMBUCO. Lei nº. 14.324, de 03 de junho de 2011. Categoriza as Reservas Ecológicas da Região Metropolitana do Recife, e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado de Pernambuco, Recife, PE 03 jun. 2011.

PERNAMBUCO. CPRH. **Diagnóstico sócio-ambiental do RVS Matas do Sistema Gurjaú.** Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/unidades_conservacao/Protecao_Integral/Resec_Gurjau/Estudos/40036%3B55041%3B22370102%3B0%3B0.asp>. Acesso em: 17 out 2018.

PERNAMBUCO, Agência Pernambucana de Águas e Clima. Monitoramento pluviométrico. Disponível em: < <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>, Acesso em: 10 out 2018.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, Uberlândia, v. 16, p. 81-90. 2011.

ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento.** Universidade Federal de Uberlandia, Uberlandia, 2013. 142 p.

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

SANTOS, G.G.; GRIEBELER, N.P.; OLIVEIRA, L.F.C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.2, p.115–123, 2010.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological society of America bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.

SILVA, A.M.; MELLO, C.R. **Apostila de Hidrologia**. Universidade Federal de Lavras. 2008. Disponível em www.deg.ufla.br/Irriga%C3%A7%C3%A3o/ Disciplinas/ENG%20170/hidrologia_eng_170.htm. Acesso em: 20 ago 2018.

STRAHLER, A.N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, Ven Te (Ed.). **Handbook of applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, p. 439-476. 1964.

TEODORO, V. L. I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

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

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: Editora da UFRGS, 2012. 943p.

USA. NASA. Shuttle Radar Topography Mission. 2016. Disponível em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm>. Acesso em: 20 out. 2018.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mcgraw Hill, 1975. 245 p.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, D.C, United States Department of Agriculture, 1978. 58p.