



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – CAMPUS RECIFE**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**Jadial José Gonçalves**

**BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BEBERIBE-PE: CARACTERIZAÇÃO  
MORFOMÉTRICA**

**Recife – PE**

**2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – CAMPUS RECIFE**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**Jadiael José Gonçalves**

**BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BEBERIBE-PE: CARACTERIZAÇÃO  
MORFOMÉTRICA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal.

**ORIENTADORA:**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simone Mirtes Araújo Duarte

Recife – PE

2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – CAMPUS RECIFE**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

JADIAEL JOSÉ GONÇALVES

**BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BEBERIBE-PE: CARACTERIZAÇÃO  
MORFOMÉTRICA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial do para obtenção do Título de Engenheiro Florestal.

DATA: 17 / 03 / 2017

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simone Mirtes Araújo Duarte  
(Orientadora – Departamento de Ciência Florestal/ UFRPE)

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Janaina Barbosa da Silva - 1º Examinador  
(UAG/UFCG)

---

Prof. Dr. Rafael Leite Braz – 2º Examinador  
(Departamento de Ciência Florestal/ UFRPE)

Recife – PE

2017

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, Criador e Redentor, que sempre esteve presente em todos os momentos da minha vida (que é uma dádiva); a Ele, para Ele e por Ele são todas as coisas, glória pois a Ele eternamente.

Aos meus queridos Pais, Geraldo Joaquim e Maria José, pelo amor, paciência, motivação, apoio e aprendizagem dados em toda a minha vida e na minha graduação. E aos meus irmãos Misael e Jesiel, e demais familiares, que sempre me ajudaram e continuam me apoiando.

Aos meus amigos de modo geral pelos aconselhamentos, apoio e companheirismo prestados. Além de todos os colegas de turma do curso de Engenharia Florestal que estiveram comigo compartilhando diretamente todas as alegrias e angústias que um curso de graduação oferece.

A minha orientadora, Professora Doutora Simone Mirtes Araújo Duarte, pela sua atenção, paciência, acompanhamento, compreensão e orientação prestadas em cada fase da pesquisa, e durante a graduação também.

Ao Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco e aos seus professores e funcionários que, de alguma forma, contribuíram para minha formação acadêmica.

A cada pessoa que, que de alguma forma, contribuiu para a realização desta pesquisa.

*São poucos os sentimentos que são reais.  
São poucas as pessoas que são sinceras.  
Mas lá de cima, Deus quer ajudar.  
Somos, todos, partes do nada,  
Até nos encontrarmos com o Tudo.*

*(Élida de Almeida, poeta)*

GONÇALVES, JADIAEL JOSÉ. **BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BEBERIBE-PE: CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA**. 2017. 59 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Florestal. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE, 2017

## RESUMO

A bacia hidrográfica é reconhecida como unidade basilar no planejamento da utilização e conservação de recursos múltiplos, visando a manutenção da água, alimentos, vegetação, animais e serviços ambientais que preencham as carências da sociedade como um todo. As geotecnologias, a exemplo dos Sistemas de Informações Geográficas – SIGs, são instrumentos essenciais no manejo dos recursos naturais, representando, também, um otimizador e facilitador nas análises das bacias hidrográficas e permitindo um diagnóstico efetivo para o bom uso desses recursos hídricos. Diante disso, este estudo teve a finalidade de realizar a delimitação e caracterização de uma importante bacia hidrográfica na Região Metropolitana de Recife: a bacia do Rio Beberibe, abrangendo, de modo geral, os municípios de Camaragibe, Olinda e Recife. Os SIGs usados neste trabalho foram o *SPRING* e o *ArcGIS*. A partir da delimitação e obtenção das medidas geométricas da bacia, procedeu-se com a análise da hipsometria e declividade, e a aplicação dos cálculos morfométricos: Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ), o Fator de Forma ( $K_f$ ), o Índice de Circularidade ( $I_c$ ), a Razão de Elongação ( $R_e$ ), a Densidade da Drenagem ( $D_d$ ), o Coeficiente de Manutenção ( $C_m$ ), a Sinuosidade do curso d'água ( $S_{in}$ ) e o Índice de sinuosidade ( $I_s$ ). Ao final, a caracterização morfométrica classificou a bacia do Rio Beberibe como alongada e o seu canal principal bem retilíneo, o que colabora para um rápido escoamento da água da nascente até a foz, inferindo em uma menor concentração de deflúvio e menor risco de enchentes. Apresentando, ainda, uma altimetria de 0 a 135 m e declividade média de 54 metros, conferindo-lhe um relevo predominantemente ondulado.

**Palavras-chave:** recursos hídricos; geotecnologias; parâmetros morfométricos.

GONÇALVES, JADIAEL JOSÉ. **HYDROGRAPHIC BOWL OF THE BEBERIBE-PE RIVER: MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION**. 2017. 59 p. Concluding Work of the Forest Engineering Course. Federal Rural University of Pernambuco, Recife - PE, 2017

#### ABSTRACT

The basin is recognized as a basic unit in planning the use and conservation of multiple resources, aiming at maintaining water, food, vegetation, animals and environmental services that meet the needs of society as a whole. Geotechnologies, such as Geographic Information Systems (GIS), are essential instruments in the management of natural resources. They also represent an optimizer and facilitator in the analysis of hydrographic basins and allow an effective diagnosis for the good use of these water resources. Therefore, this study had the purpose of delimiting and characterizing an important hydrographic basin in the Metropolitan Region of Recife: the Beberibe River basin, generally covering the municipalities of Camaragibe, Olinda and Recife. The GIS used in this work were SPRING and ArcGIS. From the delimitation and geometric measurements of the basin, we performed the analysis of hypsometry and slope, and the application of morphometric calculations: Coefficient of Compaction (Kc), Form Factor (Kf), Circularity Index (Ic), the Elongation Ratio (Re), the Drainage Density (Dd), the Maintenance Coefficient (Cm), the Sinuosity of the watercourse (Sin) and the Sinuosity Index (Is). In the end, the morphometric characterization classified the Beberibe River basin as elongated and its main channel well rectilinear, which contributes to a rapid flow of water from the source to the mouth, inferring in a lower concentration of deflúvio and lower risk of floods. It also has an altimetry ranging from 0 to 135 m and an average slope of 54 meters, giving it a predominantly undulating relief.

**Keywords:** water resources; Geotechnologies; Morphometric parameters.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Componentes característicos de uma bacia hidrográfica. Fonte: IEIJ, 2016.....	14
<b>Figura 2</b> – Localização da área de estudo.....	22
<b>Figura 3</b> – Média mensal da precipitação no Posto Olinda 199 (2003 – 2013). Fonte: Freitas 2014.....	24
<b>Figura 4</b> – Rio Morno, afluente do Rio Beberibe – próximo a Mata de Dois Unidos.....	25
<b>Figura 5</b> – Vegetação ripária (mata ciliar) no baixo curso do rio Beberibe, em Olinda.....	26
<b>Figura 6</b> – Exemplo da urbanização e poluição no Rio Beberibe, em Dois Unidos.....	27
<b>Figura 7</b> – Exemplo de aplicação da função <i>Flow Direction</i> . Fonte: Alves Sobrinho et al (2010), adaptado de ESRI (2008).....	34
<b>Figura 8</b> – Exemplo de aplicação da função <i>Flow Accumulation</i> . Fonte: Adaptado de Olivera (2012).....	34
<b>Figura 9</b> – Delimitação da bacia do Rio Beberibe-PE a partir do MDE, de dados SRTM. A: alto Beberibe; B: médio Beberibe e C: baixo Beberibe.....	41
<b>Figura 10</b> – Estatística descritiva da hipsometria da bacia a partir do MDE, no SPRING.....	42
<b>Figura 11</b> – Mapa hipsométrico (Altimétrico) da área de estudo. A: alto Beberibe; B: médio Beberibe e C: baixo Beberibe.....	44
<b>Figura 12</b> – Estatística descritiva da declividade da bacia a partir do MDE, no SPRING.....	45
<b>Figura 13</b> – Mapa de declividade (clinográfico) da área de estudo. A: alto Beberibe; B: médio Beberibe e C: baixo Beberibe.....	47
<b>Figura 14</b> – Características e potenciais de ocupação do território da bacia do Rio Beberibe. A: alto Beberibe; B: médio Beberibe e C: baixo Beberibe.....	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Estações de amostragem da rede de monitoramento do Rio Beberibe. Fonte: CPRH (2011).....	29
<b>Tabela 2</b> – Dados geométricos da bacia do Rio Beberibe-PE.....	40
<b>Tabela 3</b> – Classificação hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio Beberibe com suas respectivas áreas (em km <sup>2</sup> e em %)......	43
<b>Tabela 4</b> – Classificação clinográfica da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.....	46
<b>Tabela 5</b> – Descrição morfométrica da bacia do Rio Beberibe-PE.....	50

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> – Cálculo do coeficiente de compacidade (Kc).....	37
<b>Equação 2</b> – Cálculo do fator de forma (Kf).....	37
<b>Equação 3</b> – Cálculo do índice de circularidade (IC).....	37
<b>Equação 4</b> – Cálculo da razão de alongação (Re).....	37
<b>Equação 5</b> – Cálculo da densidade da Drenagem (Dd).....	38
<b>Equação 6</b> – Cálculo do coeficiente de manutenção (Cm).....	38
<b>Equação 7</b> – Cálculo da sinuosidade do curso d'água (Sin).....	39
<b>Equação 8</b> – Cálculo do índice de sinuosidade (Is).....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1 Objetivo geral.....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
2.1 Bacias hidrográficas.....	14
2.1.1 Análise morfométrica.....	16
2.2 Geotecnologias.....	17
2.2.1 Sistema de Informações Geográficas – SIG.....	19
2.2.2 SRTM ( <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i> ).....	20
2.2.3 Modelo Digital de Elevação (MDE).....	21
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
3.1 Localização e caracterização da área de estudo.....	22
3.1.1 Características climáticas.....	23
3.1.2 Aspectos geológicos.....	24
3.1.3 Vegetação.....	25
3.1.4 Uso e ocupação da superfície terrestre.....	26
3.1.5 Hidrologia.....	28
3.2 MATERIAL.....	29
3.2.1 Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).....	30
3.3 MÉTODOS.....	31
3.3.1 Aquisição dos dados.....	31
3.3.2 Preparação do MDE Topodata.....	32
3.3.3 Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.....	32
3.3.4 Análise das variáveis geométricas da bacia.....	35
3.3.5 Hipsometria e Declividade.....	36
3.3.6 Cálculos para a Caracterização Morfométrica.....	36
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	40
4.1 Delimitação e variáveis geométricas da bacia hidrográfica do rio Beberibe.....	40
4.2 Caracterização Morfométrica.....	42
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	52
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos têm fundamental importância para a manutenção da vida na Terra. Dentro da dinâmica água estão as bacias hidrográficas como elemento imprescindível na distribuição da mesma e suprimento de demais recursos naturais para os seres vivos, portanto a sua preservação é extremamente necessária.

Segundo Rodrigues e Adami (2005), a bacia hidrográfica é um parâmetro admitido que representa uma unidade para estudos ambientais e do meio físico, normalmente, por causa da sua delimitação acurada e dos seus elementos e processos internos.

Para a análise hidrológica, em meio aos seus desafios básicos, está o delineamento e a caracterização morfométrica das bacias hidrográficas e da rede de drenagem associada. Esta informação é essencial em diversas aplicações, tais como na modelagem dos fluxos hidráulicos, no transporte e deposição de poluentes e na previsão de inundações (SANTOS, 2001). Percebe-se que o delineamento de uma bacia é de extrema importância para a realização de uma análise de sua estrutura hidrológica e dinâmica.

Atualmente, há um aumento das ações de planejamento para práticas e ocupação antrópica, especialmente as que usam dados de representação espacial e que consideram as singularidades dos recursos hídricos, relevo, solos e cobertura vegetal. A ausência de planejamento pode resultar tanto no comprometimento dos recursos naturais, quanto em consequências negativas para sociedade, como inundações em áreas habitadas (SAIS; BELI, 2012).

As geotecnologias aparecem como ferramenta indispensável para um planejamento eficiente e eficaz na gestão dos recursos hídricos, por permitir redução de custo e tempo no processo de análise dos fatores necessários para um diagnóstico correto e preventivo na preservação e proteção desses recursos naturais. Fitz (2008) retrata que as geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG), como geotecnologia, é usado para o processo de delimitação de bacias hidrográficas, considerando informações de relevo, que podem ser demonstradas através de uma estrutura numérica de dados relacionada à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno, denominada Modelo Numérico

de Terreno – MNT (ALVES SOBRINHO et al, 2010). O Modelo Digital de Elevação está associado diretamente ao MNT, e também é utilizado para caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica.

As características físicas de uma bacia são componentes de alta relevância para análise da sua dinâmica hidrológica, pois, ao se determinarem as ligações e comparações entre tais características e os dados hidrológicos conhecidos, podem-se definir de forma indireta os valores hidrológicos em locais nos quais haja ausência de informações (VILLELA; MATTOS, 1975).

Isso posto, faz-se necessário a realização da caracterização morfométrica em uma bacia hidrográfica, sabendo de sua importância para todo o sistema ecológico local, além disso, por sua complexidade mediante a interação com fatores ambientais que não podem ser controlados. Desta forma, a caracterização morfométrica busca facilitar o entendimento do comportamento hidrológico de uma bacia, por meio de índices quantitativos, em condições normais e de precipitação, relacionando-as com a ocorrência de enchentes, escoamento superficial, erosão, capacidade de drenagem e assoreamento.

A quantificação da disponibilidade hídrica, expressa Tonello et al (2006), é usada fundamentalmente para o projeto e planejamento dos recursos hídricos. Então, é necessário explicitar, quantitativamente, todas as características de forma, de processos e de suas inter-relações. É importante destacar que quaisquer desses índices, isoladamente, não deve ser entendido como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia, a qual inclusive tem magnitude temporal.

Neste contexto, esta pesquisa representa uma alternativa adicional e relevante para o estudo do caráter morfométrico da bacia do Rio Beberibe, em Pernambuco, bem como uma abertura para pesquisas mais aprofundadas sobre o sistema hídrico natural na região e, também, de outros existentes por todo território Pernambucano e Nordeste, valorizando a sua preservação contínua, levando em conta os aspectos fisiográficos e morfométricos de uma bacia hidrográfica.

## **1.1 Objetivo geral**

Realizar a delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Beberibe-PE, com auxílio de SIGs.

## **1.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Delimitar a bacia do Rio Beberibe;
- Calcular as variáveis geométricas da bacia;
- Realizar a caracterização morfométrica da bacia.

## 2 REVISÃO BIBLIGRÁFICA

### 2.1 Bacias hidrográficas

Bacia hidrográfica é compreendida como um complexo de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, que envolve necessariamente a existência de divisores de águas, nascentes, cursos principais e seus afluentes. Seus limites equivalem a um somatório de vertentes de captação natural da água da precipitação que concentram os escoamentos efetivos para um único ponto de saída, chamada foz ou exutório (SILVEIRA, 2001).

A bacia hidrográfica pode ser reconhecida como um sistema físico em que a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, apresentando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e ainda os infiltrados profundamente (TUCCI, 2000).

Os elementos da bacia hidrográfica são apresentados na Figura 1 indicando sua posição e finalidade para a funcionalidade natural desta.

**Figura 1** – Componentes característicos de uma bacia hidrográfica.



Fonte: IEIJ, 2016.

Para Lima (1986) a bacia hidrográfica é conceituada como sistema aberto, sendo assim, ela se apresenta, mesmo quando sem interferência, em constante flutuação, num estado de equilíbrio transacional ou dinâmico. Isto é, a adição de energia e a saída de energia do próprio ecossistema estão sempre em sensível balanço. Portanto, a área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio.

A várias etapas integradas ao ciclo hidrológico regem a dinâmica da água neste Planeta. O conhecimento dessa dinâmica é gatilho para a o esclarecimento da atuação, interação e determinação de cada umas de suas etapas em espaços geográficos estabelecidos em uma bacia hidrográfica, conceito que já é marcante. Para tanto, é por causa do tamanho e complexidade dos processos hidrológicos, relacionados com a qualificação e quantificação de suas variáveis, o qual prefere-se a sua análise, em princípio, utilizando de demonstrações simples dos reais processos (ZANETTI et al, 2012).

A estruturação da bacia hidrográfica depende da natureza dos processos de escoamento e infiltração da água das chuvas, devido influência da relação infiltração/deflúvio de maneira concisa sobre a ação de escavamento do vale. Essa formação é muito complexa e a avaliação das características geomórficas quantitativas é de altíssima importância para elucidar a relação entre a rede de drenagem e a bacia por ela drenada, além disso, para analisar as possibilidades e limitações quanto ao uso e manejo do solo (HORTON, 1945).

Dentro do estudo de uma bacia hidrográfica, o relevo tem papel essencial, pois possui alta ligação sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, sendo o responsável pela regulação da distribuição do fluxo de água e energia nela inserida (MARTZ; GARBRECHT, 2000). Então, a representação adequada e usual em ambiente digital é realizada através dos Modelos Digitais de Elevação (MDE).

### 2.1.1 Análise morfométrica

A análise morfométrica tem por finalidade a obtenção de índices quantitativos, os quais dão suporte aos estudos hidrológicos de uma bacia hidrográfica. Mediante a uma análise das características morfométricas busca-se compreender a correlação solo-superfície, em virtude dos processos erosivos sobre estruturas e litologias diversas (PISSARRA; POLITANO; FERRAUDO, 2004).

As características físicas e bióticas de uma bacia hidrográfica têm um papel de fundamental importância nos processos do ciclo hidrológico, exercendo influência na infiltração, no deflúvio, na evapotranspiração e nos escoamentos superficial e subsuperficial. O padrão de drenagem da bacia, ou seja, o caráter e extensão de seus canais vão exercer influência sobre a disponibilidade de sedimentos e a taxa de formação do deflúvio. A estrutura geológica também exerce influência e controle sobre as características físicas da bacia hidrográfica (STIPP; CAMPOS; CAVIGLIONE, 2010).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser determinado como a análise quantitativa das interações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica. O estudo de parâmetros morfométricos tem elevada importância nesses estudos, pois por meio da abordagem quantitativa, pode-se ter uma melhor noção do comportamento hidrológico, uma vez que, os parâmetros morfométricos são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (NUNES; RIBEIRO; FIORI, 2006).

Monteiro (2010) infere que o estudo sobre o entendimento da morfogênese de determinadas áreas vem sendo desenvolvido ao longo dos últimos séculos. A geomorfologia, na busca do entendimento das formas de relevo, sua gênese e evolução, incorpora a aplicação de diversos índices morfométricos, em bases automatizadas, à análise de padrões espaciais que permitem a inferência de controles estruturais, litológicos e climáticos sobre a morfogênese. A elaboração de trabalhos voltados para a compreensão de como os vários controles morfológicos ocorrentes dentro da área de uma bacia se expressa sobre a distribuição dos índices vem crescendo com o passar dos anos.

A caracterização dos territórios objetiva assimilar e interpretar os componentes homogêneos que constituem a paisagem, fixando sobre essas bases a aptidão natural, restrições de uso e suas pautas indispensáveis de manejo, tanto para promover desenvolvimento socioeconômico, quanto para a permanência no tempo e no espaço (CONIF, 2003)

Os parâmetros morfométricos constituem, então, de um conjunto que servem para caracterizar a bacia e devem ser usados como pressupostos essenciais na elaboração de projetos de prevenção e proteção contra eventos hidrológicos, consoante as estiagens e enchentes que ocorrem na bacia hidrográfica (LINDNER; GOMIG; KOBAYAMA, 2007)

## **2.2 Geotecnologias**

Na época mais recente, as tendências no cenário global em geotecnologias, abrangendo especificamente as diversas aplicações nas geociências para a solvência de problemas de engenharia e o aproveitamento de recursos naturais, especialmente os recursos hídricos, mineiras e energéticos, estão firmemente motivados pelo debate difundido mundialmente em volta da ascendente degradação ambiental e do enfrentamento para atingir um desenvolvimento verdadeiramente sustentável em benefício a todos. (BITAR; IYOMASA; CABRAL JUNIOR, 2000).

Abuquerque (2009) destaca que, em períodos recentes, há uma inclinação de abrangência internacional na utilização de geotecnologias para a administração de informações geoambientais, especificamente os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Estes sistemas têm atribuições de armazenamento, organização e manipulação de dados espaciais fazendo uso de técnicas de Geoprocessamento, que de certa forma tende a influir ascendentemente as esferas de Análise de Recursos Naturais, Comunicações, Cartografia, Energia, Gestão ambiental e Planejamento Urbano e Regional.

Tem-se o conjunto de tecnologias (SIG, Geoprocessamento, Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global) como definição do termo 'Geotecnologias', estas se baseiam especialmente na coleta, processamento, análise e observações de informações com referência geográfica, tendo em sua estrutura técnica-metodológica as proposições de processamento digital de imagens de satélites, formulação de banco de dados georreferenciados, quantificação de fenômenos da natureza, além de outras análises, gerando um perspectiva mais ampla do cenário dentro da visão geossistêmica (GUERRA et al, 2006).

As Geotecnologias são tidas como a totalidade das tecnologias envolvidas com a Geoinformação – informações espaciais. Esta conceituação infunde na aquisição, processamento, interpretação ou análise de dados (ou informações) espacialmente referenciadas, apoiadas pelos Sistemas de Informações Geográficas, Sensoriamento Remoto, Geoestatística, Cartografia, Geodésia e demais. Isto beneficia, dentre os vários

setores, o florestal e de bacias hidrográficas, que são interdependentes (SANTOS et al, 2012).

A utilização dessas geotecnologias, que são evidenciadas sobretudo pelo SIG, é realizada para alcançar objetivos diferentes, isto na comunidade científica em geral, que representa a fase do ápice do modelo técnico-científico-informacional (MELO; OLIVEIRA 2008). O uso das geotecnologias por parte de equipes interdisciplinares é uma realidade inquestionável. Possivelmente, os avanços tecnológicos que proporcionaram facilidade de uso, rapidez e consistência de resultados tenham sido os responsáveis pela difusão e evolução desses sistemas (FITZ, 2008).

A degradação ambiental cada vez mais vem sendo combatida, aliado a isso apresentam-se as ferramentas de geotecnologia que permitem facilitar o desenvolvimento de análise, manipulação de informações em regiões amplas e refletem como meio para extrair, tratar, analisar e modelar dados e informações espaciais, no qual se enfatiza o relevo (SAITO et al, 2012).

Podem ser efetuadas, a partir da utilização de geotecnologias, análises mais plenas e dinâmicas que são reproduzidas como parte de um planejamento gerenciamento com objetivo de trazer um foco mais amplo de administração do município e da dinâmica urbana e rural por meio do entrelaçamento de vários planos de informações. Existe também, na utilização de SIG, outro aspecto relevante que é a possibilidade de diversos especialistas fazerem uso deste meio – cada um no seu campo ou no trabalho em equipe multidisciplinar, combatendo um problema específico. Com esse tipo de integração expressa a utilização multidisciplinar ou interdisciplinar de importante ferramenta – SIG (FLORENZANO et al., 2005).

Atividades que outrora consideravam-se bem demoradas e efetuadas com extrema dificuldade, com a geotecnologias elas passam a ser completadas com celeridade e obtendo resultados melhores. Destacando: manejo de bacias hidrográficas, risco de inundação, delimitação de corredores ecológicos, estudo de ecologia da paisagem, risco de incêndios florestais, monitoramentos e adequações ambientais, projetos de implementação e condução de maciços florestais, planos de manejo de unidades de conservação e zoneamentos ambientais. (SANTOS et al, 2012).

### **2.2.1 Sistema de Informações Geográficas – SIG**

O Sistema de Informações Geográficas, comumente intitulado pela sigla SIG, é retratado como um sistema composto por um conjunto de programas computacionais, que integra dados equipamentos e pessoas com a finalidade de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido (FITZ, 2008).

O SIG permite a realização das seguintes operações: Leitura, edição, armazenamento e, em geral, gerenciamento de dados espaciais. Além da análise desses dados, pode-se incluir consultas simples para a elaboração de modelos complexos e pode ser realizado tanto na componente espacial de dados (a localização de cada elemento ou valor), como o componente temático (o valor, ou o próprio elemento). Geração de resultados, tais como mapas, gráficos, relatórios, etc (OLAYA, 2014).

As diversas regiões ou áreas que são (e devem ser) protegidas por lei exigem, para sua preservação, planejamento e, por conseguinte, uma análise e integração de diversas variáveis bióticas e abióticas no qual o processo, inserido num grupo de dados, pode ser efetuado através de técnicas de Geotecnologias, por um programa computacional – SIG – que, por sua vez, colaboram de maneira acentuada na celeridade, eficiência e seguridade das análises que tem relação nas etapas de degradação da vegetação natural (LOUZADA, 2010).

Desta forma, é relevante destacar que cada vez mais os SIGs são reconhecidos como instrumentos multidisciplinares fundamentais para adquirir resultados com precisão e detalhamento, e fazer viabilizar o trabalho, disponibilizando informações importantes para fazer um planejamento urbano e definir, assim, as intervenções prioritárias. Alguns motivos para a inserção dos SIGs em certos projetos foram à redução de custos, aperfeiçoamento de decisões e promoção de serviços à comunidade (FERRARI JUNIOR, 1997).

Com esta tecnologia, tem-se a capacidade de automatizar atividades anteriormente realizadas de forma manual, tornando possível a execução de estudos complexos e, por conseguinte, as devidas tomadas de decisão. Estes processos são efetuados se baseando em modelagens matemáticas e o SIG compõem o banco de dados de acordo com seus devidos atributos georreferenciados possibilitando, então, uma antecipação ordenada, sendo demonstrada através de mapas, em que é possível prever a resposta de um fator em certo espaço geográfico (DOMINGOS, 2006).

Ressalta-se, ainda, as várias vantagens demonstradas mediante a utilização dos SIGs nas áreas urbanas e regiões coberta por vegetação, permitindo que os diversos setores das prefeituras planejem, monitorem e façam a gestão das distintas características da administração municipal, tal qual a criação de banco de dados focado na vegetação urbana e sua distribuição espacial através de mapas temáticos e plantas cadastrais associadas (MOURA; FREITAS, 2005).

A monitoração da perda de solo dentro da bacia hidrográfica era considerada uma tarefa bastante onerosa e impraticável, porém, com o advindo das geotecnologias e sua difusão nas últimas décadas, o planejamento do ambiente natural recebeu um imponente colaborador; os denominados SIGs (DOMINGOS, 2006).

Sobretudo, o SIG gera produtos que estão vinculados ao espaço físico, podendo trabalhar nos fenômenos climáticos, humanos, sociais e econômicos, entre outros. A partir desses espaços devidamente “mapeados” e trabalhados pelo SIG, pode-se conhecer melhor uma região, possibilitando, assim, o fornecimento de subsídios para uma futura tomada de decisões. Cabe salientar, entretanto, que o próprio desenrolar das atividades desenvolvidas no decorrer do uso de um SIG pode fazer parte de um processo decisório mais consistente. As aplicações desses sistemas demonstram ser, conforme as características apresentadas até aqui, incontáveis (FITZ, 2008).

### **2.2.2 Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM**

O *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), sucedeu do esforço conjunto feito pela *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) do Estados Unidos da America, com a finalidade de construir um modelo topográfico digital de alta resolução para a Terra (NASA, 2004).

Conforme Valeriano (2004), o sobrevôo da SRTM sucedeu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, neste interim percorreu-se 16 órbitas por dia, totalizando 176 órbitas. Este processo terminou com a coleta de 12 TeraBytes de dados desenvolvidos para a estruturação de Modelos Digitais de Elevação (MDE).

A geração de um MDE mundial foi objetivo do processamento dos dados adquiridos, formulado para cada continente, a partir da América do Norte. O produto final para todos os continentes prosseguiu do envio dos dados ao NIMA, no qual foram editados, verificados e ajustados aos padrões norte-americanos de precisão de mapas (*National Map Accuracy*

*Standards*). Posteriormente, estes dados foram devolvidos para NASA com o propósito de disseminação pública por meio da USGS (*United States Geological Survey*).

Foram instaladas no compartimento de carga da nave e na ponta do mastro as antenas do radar banda C e banda X, que se estendia na parte externa da espaçonave. Foi a partir da América do Norte que se deu processamento dos dados, em que houve a distribuição dos dados em sua resolução máxima (30 metros). Os dados disponíveis para a América do Sul e outras regiões da Terra está na forma de uma resolução espacial de 90 metros (LEMOS; SOUZA; ROCHA, 2004).

### **2.2.3 Modelo Digital de Elevação (MDE)**

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é a representação de valores de elevação contínua sobre uma superfície topográfica por um conjunto regular de valores  $z$ , referenciado a um dado vertical comum (ESRI, 2017).

O MDE representa o relevo de uma superfície entre pontos de elevação conhecida. Através da interpolação de dados de elevação conhecidos a partir de fontes tais como levantamentos de solo e captura de dados fotogramétricos, pode ser criada uma grade retangular de modelo de elevação digital (CALIPER, 2017).

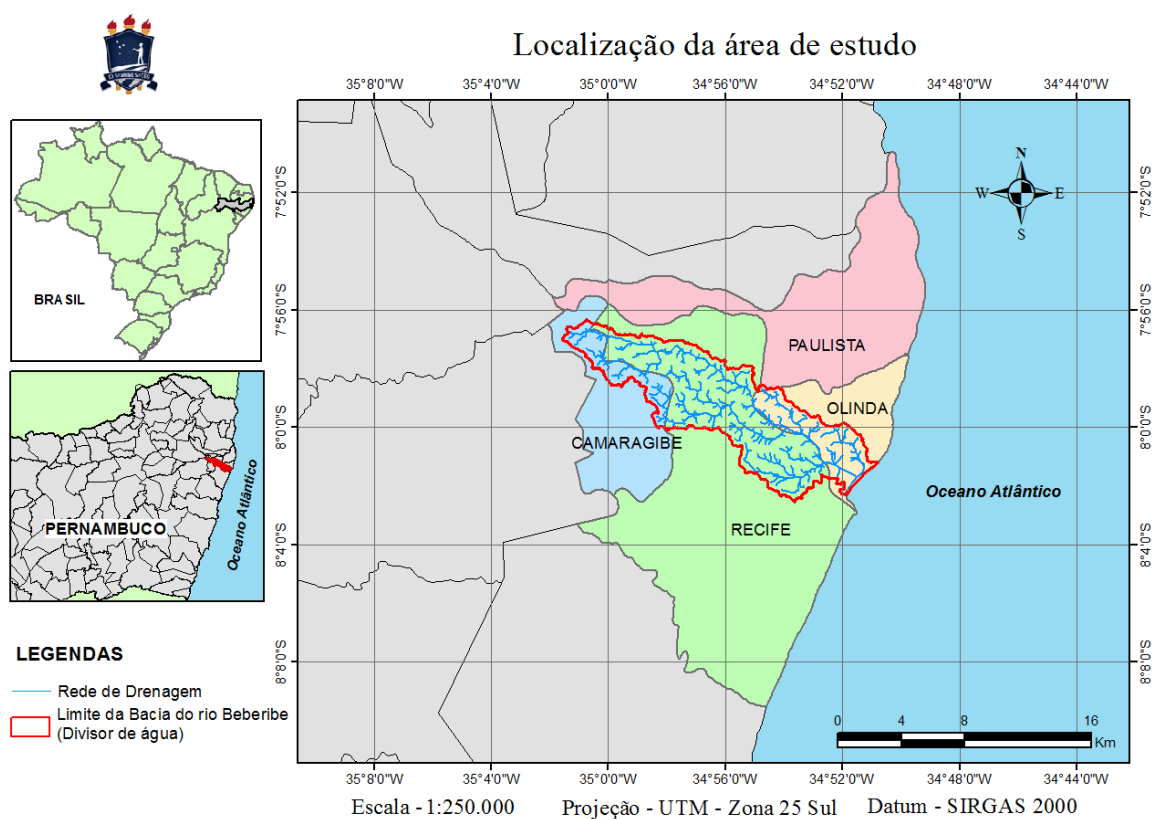
O uso de Modelos Digitais de Elevação incide, geralmente, na obtenção de variáveis provenientes da altimetria, sendo a declividade o exemplo mais presente. A consecução destas variáveis é efetuada, essencialmente, através das operações de vizinhança (por exemplo, a declividade, orientação e curvatura) e em outras situações, funções de conectividade (a exemplo da área de captação e comprimento de rampa), a qual necessitam nitidez das feições, extremamente influenciada pela precisão dos dados e pela resolução (VALERIANO, 2003).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área de estudo

Abrange, basicamente, os municípios de Recife, Camaragibe e Olinda; havendo uma pequena intersecção no município de Paulista, apresentado na Figura 2. As coordenadas geográficas que demarcam a bacia hidrográfica do Rio Beberibe são: latitudes  $7^{\circ}56'0''$  e  $8^{\circ}3'30''$  sul; longitudes  $34^{\circ}50'0''$  e  $35^{\circ}2'0''$  oeste.

**Figura 2** – Bacia hidrográfica do Rio Beberibe-PE.



A nascente do rio Beberibe está localizada no município de Camaragibe por meio da confluência com o rio Pacas e o rio Araçá formando a bacia que tem cerca de 19 km de extensão, da sua cabeceira até a sua foz no mar. O afluente principal dessa bacia é o rio Morno na sua margem direita, porém, na margem esquerda os seus afluentes principais são o Córrego do Abacaxi e o Canal da Malária. Com base na classificação das bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco, a bacia do rio Beberibe se encontra entreposta no Grupo de Pequenos Rios Litorâneos – GL 1 (APAC, 2014).

O dimensionamento da largura do rio Beberibe, geralmente, possui na maioria do seu trajeto evidencia cerca de 6 metros. Entretanto, essa largura vai aumentando no seu percurso final, além de haver modificações nas épocas de enchentes (SEPLAN – PERNAMBUCO, 2008).

A bacia do rio Beberibe exibia, na sua área, uma população total de aproximadamente 590 mil moradores espalhados por toda extensão do território em que ocupa, demonstrando que possui, ainda, uma região de predominância urbana e de elevada densidade demográfica, entorno de 7.300 hab/km<sup>2</sup> (SRHE/PE, 2012).

Esta bacia abrange uma área total de 81 km<sup>2</sup>, em que 64,5 % encontra-se em Recife, 21,29 % no município de Olinda e 14,19 na cidade de Camaragibe (GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2009).

### **3.1.1 Características climáticas**

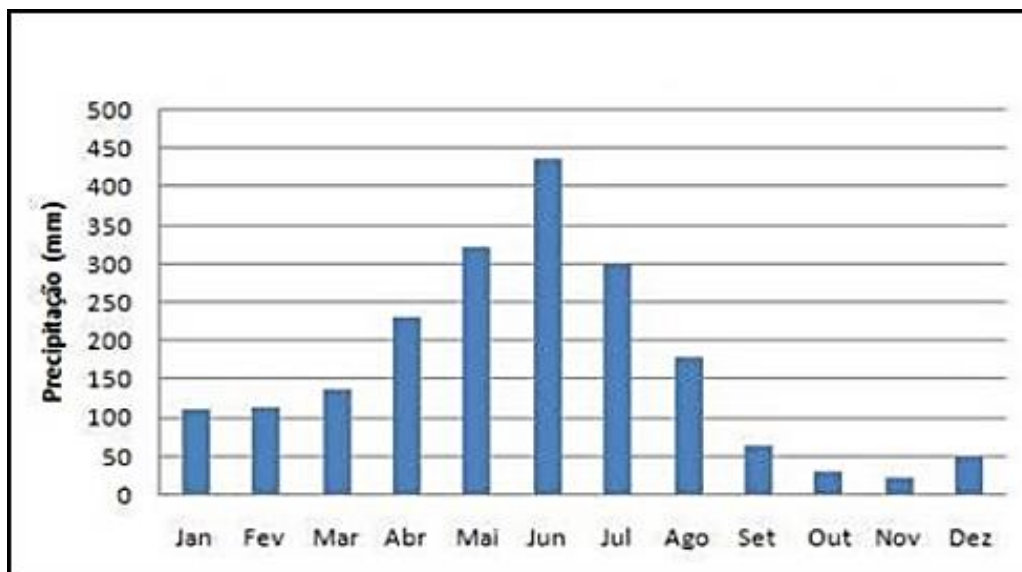
A bacia do Rio Beberibe tem, segundo a classificação climática de *Köppen* (1948), clima do tipo As', quente e úmido, com chuvas de outono-inverno (CAMPOS, 2003).

Os parâmetros climáticos mais significativos, tal qual temperatura, isolamento, umidade relativa e evaporação, no que concerne ao clima da região da bacia do rio Beberibe, não denotam uma oscilação em sua amplitude (SRHE/PE, 2012).

Além disso, ocorre também determinada regularidade nas estações do ano, em relação do período seco (primavera/verão) e período chuvoso (outono/inverno). Mas, pode haver variações nas precipitações mais considerável e constante durante as estações de outono e inverno, gerando a elevação da umidade relativa do ar e decréscimo da temperatura do ambiente (SRHE/PE, 2012).

A precipitação pluviométrica (Figura 3) na área do rio Beberibe é expressamente considerável comparado com demais locais do Nordeste do Brasil, possuindo 2.002,6 mm/ano em média, durante 2003 a 2013 (FREITAS, 2014).

**Figura 3.** Média mensal da precipitação no Posto Olinda 199 (2003 – 2013).



Fonte: Freitas 2014.

A evaporação nesta região por chegar a 1.323,4 mm em um ano, e pode ultrapassar a precipitação pluviométrica durante os meses de outubro até fevereiro. Referente à temperatura, os meses de janeiro e fevereiro expressam medidas máximas mensais com cerca de 26,6 °C, entretanto a temperatura mínima mensal ocorre, geralmente, durante o mês de julho com medida aproximada de 23,9 °C. O clima desta área de estudo demonstra ser aprazível ao longo do ano todo, pois a amplitude da temperatura média anual apresenta somente 2,7 °C (INMET/3°DISME, 2003).

### 3.1.2 Aspectos geológicos

A localização da bacia do rio Beberibe na região litorânea do Estado de Pernambuco, que a designa como bacia hidrográfica ‘litorânea’, compondo assim um dos grupos de pequenas bacias litorâneas, GL 1, como já foi previamente elucidado. Por causa desta localização, o grupo (e a bacia em estudo) estão sobre uma região de majoritária presença de rochas sedimentares da bacia Pernambuco-Paraíba, no qual encontram-se amplas exposições terciárias. Ademais, estão presentes também certas estruturas quaternárias (SECTMA, 1998).

Existem três unidades geomorfológicas integradas na bacia do rio Beberibe, que são os tabuleiros ou topo (baixos platôs costeiros), as encostas (domínios dos morros) e planície baixa (CAMPOS, 2003). Esta bacia é essencialmente composta por 15,70 km<sup>2</sup> (19,4%) de

área de planície, 36,30 km<sup>2</sup> (44,8%) de área de morros e 29,00 km<sup>2</sup> (35,8%) de área de tabuleiros. Os tabuleiros encontram-se mais perceptíveis na parte superior da bacia do rio Beberibe que é ascendente da BR-101, já a presença dos morros é mais clara na parte jusante, região com abrangente população (GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2009).

### 3.1.3 Vegetação

O rio Beberibe e seus tributários, ainda no começo do século anterior, tinham florestas imponentes em suas margens. Hodiernamente as densas florestas constituem os remanescentes de mata atlântica inseridos nas regiões de Passarinho, Dois Unidos e Dois Irmãos. Estas parcelas significam uma diminuta parte da vegetação originária da bacia do rio Beberibe (SECTMA, 2009).

O motivo que mantém a integridade desta discreta parte da vegetação presente foi a transformação do pouco percentual das florestas de Dois Unidos (Figura 4) e Dois Irmãos em reservas ecológicas, respaldadas por lei. Esta região, mesmo com o desmatamento, levando em consideração a cobertura vegetal que faz parte dos domínios da Mata Atlântica, representa o maior bloco de floresta Atlântica persistente da RMR (Região Metropolitana do Recife) e, possivelmente, do estado inteiro. Possui também diversos fragmentos espalhados e com capacidade para interação (SECTMA, 2009).

**Figura 4.** Rio Morno, afluente do Rio Beberibe – Próximo a Mata de dois unidos.



A vegetação da bacia do rio Beberibe (Figura 5) é representada por duas partes bem diferentes. Na parte a montante da BR-101 há o domínio de culturas em chácaras, sítios e granjas, encontram-se ainda resquícios da mata exuberante que constituía a vegetação original desta região, além de capoeiras densas que substituíram a vegetação nativa. Porém, na parte a jusante da respectiva rodovia, o processo de ocupação urbana modificou de forma marcante a cobertura vegetal, tornando-a rarefeita (CAMPOS, 2003).

**Figura 5.** Vegetação ripária (mata ciliar) no baixo curso do rio Beberibe, em Olinda.



Há uma área, no alto Beberibe, recoberta por matas secundárias que unem 20 fragmentos de mata primitiva; duas Unidades de Conservação de Proteção Integral, a Estação Ecológica de Caetés e o Parque Estadual de Dois Irmãos, em Recife, regulamentadas pelo Decreto Estadual nº 11.622/98, atualmente sob a responsabilidade da SECTMA e CPRH, respectivamente; e as Reservas Ecológicas Mata de Miritiba, inserida na área do Campo de Instrução Marechal Newton Cavalcante, do Exército Brasileiro – CIMNC (SECTMA, 2009).

### **3.1.4 Uso e ocupação da superfície terrestre**

A bacia do rio Beberibe exhibe um conjunto de diferentes formas de degradação, em decorrência, sobretudo, do porte destrutivo e sem planejamento do crescente processo de urbanização. As suas especificidades e, em especial, por se localizar no miolo da Região Metropolitana do Recife fazem-na mais frágil e aumentam mais ainda este processo de degradação, percebido durante toda história no desenvolvimento de ocupação do desse solo (CONDEPE/FIDEM, 2009).

Está área possui o agrupamento considerável de assentamentos de baixa renda na RMR, dispersas em locais de riscos, como morros e ambientes alagados. Além de exibir os mais baixos índices de suporte em infraestrutura urbana, transmitindo um aspecto de excêntrica pobreza arraigada no coração da Região Metropolitana do Recife (SRHE/PE, 2012).

O processo de urbanização (Figura 6) preencheu boa parte dos espaços que serviam para acúmulo natural da água. A contaminação das águas da bacia do rio Beberibe e o aumento de doenças de transmissão hídrica são provenientes da ausência de saneamento básico e influenciados de forma marcante pela frágil e deficiente situação dos assentamentos alocados nas encostas e em suas margens (CAMPOS, 2003).

**Figura 6.** Exemplo da urbanização e poluição no Rio Beberibe, em Dois Unidos.



O rio Beberibe tem manifestado um elevado nível de degradação, apresentando um ajuntamento de resíduos colocados por moradores próximos e pequenas indústrias, na qual prejudica a vazão. A construção de parques, praças, shoppings, complexo viários (e demais) exigiu a realização da remoção da vegetação e o aterro de determinadas áreas da bacia. Por conseguinte, ocorreu o estreitamento da seção do rio provocando conflitos com enchentes no período de chuvas fortes e contínuas. Então, fica perceptível que na maior parte da história da bacia do rio Beberibe, houve descaso e deficiente gestão, tendo-a como desprezada pelas autoridades municipais, e de baixo potencial (CAMPOS, 2003).

### 3.1.5 Hidrologia

A bacia do rio Beberibe constitui uma rede hidrográfica moderadamente densa, onde a qualidade das águas superficiais, estão intimamente ligadas com as ações antrópicas perto do rio Beberibe, gerando uma ascendência pontual no grau de poluição (CAMPOS, 2003).

Há três repartições que classificam esta bacia em alto do Beberibe, a partir das cabeceiras até a BR-101; médio Beberibe, a começar da BR-101 e terminando na confluência com o rio Morno; e por fim o baixo Beberibe, que vai da convergência com o rio Morno e se encerra na foz agregada com o Capibaribe. Para a divisão desses compartimentos foi utilizado como parâmetro a variação inserida no relevo da área em resposta do decréscimo das cotas altimétricas. Ocorre no baixo curso a junção com o rio Morno, seu maior tributário, depois o rio Beberibe infiltra-se na grande várzea, região alagada, e estende-se para alcançar o litoral, local em que suas águas superabundam (CAMPOS, 2003).

Essas águas sobejam ainda mais a confluência do canal Vasco da Gama. O grau de poluição é nítido no decurso inferior do Beberibe, devido a este trecho percorrer locais povoados, recebendo águas do riacho Lava tripas, do canal da Malária, do canal Vasco da Gama, além do derramamento de resíduos industriais lançados de forma direta no rio Beberibe (FREITAS, 2010).

A Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos/PE (CPRH) tem a incumbência de monitorar e fiscalizar a qualidade das águas superficiais, essa monitoração da bacia do rio Beberibe é realizada a contar do ano de 1986. A classificação da qualidade das Bacias Hidrográficas é realizada por meio das utilizações prevalentes, para satisfazer a utilização mais limitada determinada no conjunto. Por causa da deficiência no saneamento básico de Olinda e Recife, o rio Beberibe é considerado como um dos mais poluídos do estado de Pernambuco, além de ter seu percurso prejudicado pelas habitações informais nas encostas.

A Tabela 1 traz as estações de monitoramento da CPRH. A zona homogênea habitacional rarefeita tem duas estações de amostragem, a BE-01 rio Araçá e a BE-09 rio Beberibe; e a zona homogênea habitacional densa possui três estações de amostragem, a BE-30 rio Morno, a BE-45 riacho Lava Tripa e a BE-50 rio Beberibe. A COMPESA tem atrelada com a sua atual área de captação a estação BE-09. Segundo a CPRH, os resultados do monitoramento da qualidade da água no rio Beberibe relacionado a estação BE-09 retrataram um aspecto de comprometimento moderado na qualidade das águas. Já a estação BE-01 foi

considerada poluída e as estações BE-30, BE-45 e BE-50 são reconhecidas como muito poluída (ALBUQUERQUE, 2015).

**Tabela 1** – Estações de amostragem da rede de monitoramento do Rio Beberibe.

Zona	Estação	Corpo d'água	Local	Coordenadas
Habitacional rarefeita	BE – 01	Rio Araçá	Na nascente do rio Beberibe, no açude no Clube Sete Casuarinas, em Aldeia, Camaragibe.	S 07°53'42,8" W34°54'27,8"
Habitacional rarefeita	BE – 09	Rio Beberibe	Na captação da COMPESA, em Guabiraba, Recife.	S 08°00'13,5" W34°54'27,8"
Habitacional densa	BE – 30	Rio Morno	Na ponte na estrada do Cumbe, acesso à Linha do Tiro, Recife.	S 08°00'14,9" W34°53'20,2"
Habitacional densa	BE - 45	Riacho Lava Tripa	Na ponte da Av. Presidente Kennedy, Olinda.	S 08°00'17,2" W34°53'08,7"
Habitacional densa	BE - 50	Rio Beberibe	Após receber o canal Vasco da Gama, na ponte de acesso a Peixinhos, divisa das cidades de Olinda e Recife.	S 08° 01'08,4" W34°53'08,72"

Fonte: CPRH, (2011).

O manancial hídrico subterrâneo na bacia do Rio Beberibe mais relevante para toda faixa costeira do Estado de Pernambuco é o aquífero Beberibe, pois a água interceptada é utilizada comumente para objetivos domésticos, industriais e comerciais. A Companhia de Saneamento de Pernambuco (COMPESA), localizada na porção norte da RMR, na qual é atribuída a administração dos serviços de abastecimento público, faz uso crescente de poços tubulares ao invés de mananciais de superfície, perfurados para adquirir água do interior desse (BORBA; COSTA FILHO; COSTA, 2010).

### 3.2 MATERIAL

No presente estudo, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação com resolução espacial de 30 metros, proveniente dos dados SRTM, que foram obtidos do banco de dados geomorfométricos do Brasil – TOPODATA, gerido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Fez-se necessário usar duas imagens SRTM concernentes a folha na escala 1:250.000. As folhas foram identificadas como 07S36 e 08S36, para compor toda área de estudo da bacia do rio Beberibe.

Utilizou-se o programa de Sistema de Informações Geográficas *ArcGIS* 10.3 de licença temporária com validade de 60 dias, aplicativo *ArcMap*, considerado o módulo central e fundamental no *ArgGIS*, visto que nele foram confeccionados e manipulados os

mapas. Além disso, neste SIG foram feitos: a delimitação da bacia; consecução da medida do perímetro, da área, do comprimento axial da bacia, do canal principal, do talvegue e do total dos cursos d'água da bacia.

Preferiu-se efetuar no SIG SPRING 5.4.3 a obtenção da altimetria e declividade (hipsometria e clinografia), além do mais foi executado o cálculo da área e do perímetro da bacia, para comparação e confirmação dos dados obtidos no *ArcGIS*. A confecção do mapa 3D foi realizada nesse programa.

Utilizou-se planos de informações (ou *layers* - camadas) contendo os *shapefiles* (.shp) temáticos do mapa do Brasil e concernentes ao Estado de Pernambuco, advindos do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os *shapes* adquiridos para o Estado de Pernambuco foram relacionados com hidrografia ou drenagem, limite do Estado de Pernambuco e dos municípios.

O programa *Excel*, integrado ao pacote *Microsoft Office*, serviu de auxílio para realização dos cálculos para a efetiva análise e caracterização morfométrica da bacia do rio Beberibe, além da elaboração de tabelas.

### **3.2.3 Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000)**

Segundo o IBGE (2016), desde 25 de fevereiro de 2015, o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) é o único sistema geodésico de referência oficialmente empregado no Brasil. Entre 25 de fevereiro de 2005 e 25 de fevereiro de 2015, admitia-se o uso, além do SIRGAS 2000, dos referenciais SAD 69 (*South American Datum* 1969) e Córrego Alegre. A adoção de outros sistemas que não tenha respaldo em lei, pode causar inconsistências e imprecisões na combinação de diversas bases de dados georreferenciadas.

Enquanto a definição/orientação do Corrego Alegre/SAD69 é topocêntrica, ou seja, o ponto de origem e orientação está na superfície terrestre, a definição/orientação do SIRGAS2000 é geocêntrica. Isto declara que esse sistema adota um referencial que tem a origem dos seus três eixos cartesianos localizada no centro de massa da Terra. Outrossim, as redes de referência que materializam esses sistemas foram estabelecidas com técnicas de posicionamento distintos. À medida que no caso do Corrego Alegre e SAD 69 foram usadas fundamentalmente técnicas clássicas (triangulação e poligonação), no SIRGAS2000 foram aplicadas os sistemas globais de navegação (posicionamento) por satélites – GNSS (IBGE, 2017).

### 3.3 MÉTODOS

Para que estudo fosse realizado, a metodologia utilizada foi separada com as seguintes etapas:

- Aquisição dos dados;
- Preparação o MDE Topodata;
- Delimitação da Bacia Hidrográfica do rio Beberibe;
- Análise das variáveis geométricas da bacia;
- Hipsometria e Declividade;
- Realização dos cálculos para a Caracterização Morfométrica.

#### 3.3.1 Aquisição dos dados

Inicialmente, buscou-se as informações concernentes a fundamentação teórica, com uma pesquisa bibliográfica. Segundo Gil (2006), a pesquisa bibliográfica usa material já publicado, formado sobretudo de livros, artigos de periódicos e, na época atual, de informações acessíveis na internet. Praticamente a maior parte dos estudos realizam um levantamento bibliográfico, e outras pesquisas são desdobradas somente por fontes bibliográficas. Seu benefício fundamental é tornar possível ao pesquisador o alcance a uma diversidade de eventos, mais extenso que em uma pesquisa direta.

Os dados ou informações espaciais para a estruturação do banco de dados, manipulação e processamento, e para análise, foram obtidos a partir de fontes consideravelmente seguras. Os arquivos relacionados com a hidrografia ou rede drenagem, solos, limites dos municípios e limites do estado de Pernambuco foram baixados do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esses arquivos estavam em formato *shapefiles* e são compatíveis e aceitos nas plataformas dos SIGs *ArcGIS* 10.3 e *SPRING* 5.4.3.

Os arquivos em MDE baseados em dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) no formato Geotiff (.tiff) procederam do banco de dados geomorfométricos do Brasil, resultantes do projeto TOPODATA, administrados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Selecionou-se as folhas com a identificação de 07S36 e 08S36,

que abrangem a área de estudo, concernente a bacia do rio Beberibe, e envolvem os municípios de Camaragibe, Recife, Olinda e Paulista.

### 3.3.2 Preparação do MDE Topodata

A partir da aquisição do Modelo de Digital de Elevação (MDE) do projeto Topodata, baseados nos dados SRTM, foi necessário realizar a sua preparação para posterior uso na delimitação da bacia. A preparação compreende o mosaico, definição da projeção, reprojeção e o recorte do MDE.

As duas imagens (07S36 e 08S36), no formato geotiff (.tiff), foram adicionadas no *dataframe* (quadro ou área de trabalho que visualiza e manipula os dados adicionados) do *ArGIS*. Devido ao MDE Topodata, neste caso, não possuir uma definição Datum (modelo matemático teórico da representação da superfície da Terra ao nível do mar), é imprescindível efetuar a definição da projeção espacial das imagens a serem tratadas.

A projeção definida foi SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Depois foi efetuado o processo de formação do mosaico (também chamado de moiscagem) das imagens, que consiste na formação de uma imagem a partir da junção das imagens originárias. Atualmente, de acordo com o IBGE (2016), o SIRGAS 2000 deve ser considerado como o único sistema geodésico de referência oficialmente adotado no Brasil.

Em seguida, foi executada a reprojeção espacial do mosaico do MDE para UTM (coordenadas planas) SIRGAS 2000 25 S (zona 25 sul), que engloba a área de estudo). Posteriormente, recortou-se o mosaico obtido considerando os limites dos municípios de Camaragibe, Recife, Olinda e Paulista, visto que a bacia do Beberibe abrange um percentual maior dos três primeiros municípios e uma pequena porção de interseção do município de Paulista.

### 3.3.3 Delimitação da bacia hidrográfica do rio Beberibe

O processo de delimitação da bacia hidrográfica foi desenvolvido no SIG *ArcGIS* 10.3, fazendo uso da ferramenta integrada *Hydrology*, existente na função *Spatial Analyst Tool* (Ferramenta de Análise Espacial). Esta delimitação da bacia e a extração das características físicas da bacia foram determinadas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) já preparado, com resolução espacial de 30 m.

As etapas para a delimitação da bacia do rio Beberibe no ArGis foram: *Fill* (Preenchimento das depressões ou imperfeições); *Flow Direction* (Análise das direções de fluxo); *Flow Accumulation* (Acumulação de fluxo); *Basin* (Extração das bacias existentes); *Raster to Features* (transformação do *raster* referente a bacia para polígono). Estas etapas resultaram de uma adaptação das metodologias propostas por Dias et al (2004) e Alves Sobrinho et al (2010).

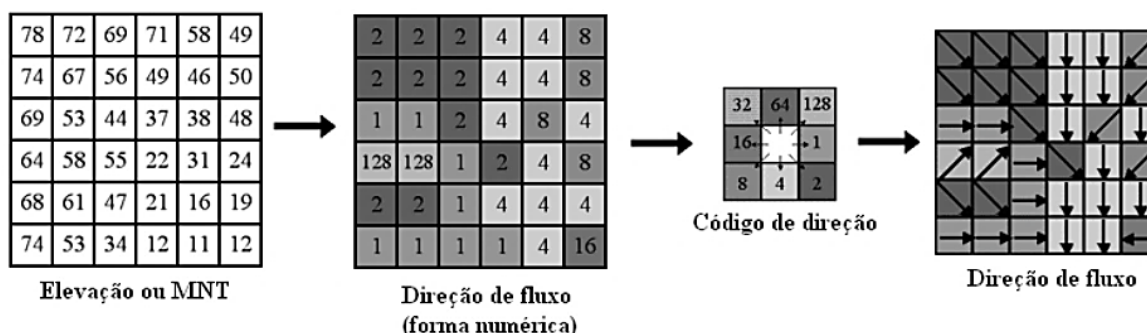
Os Modelos Digitais de Elevação provenientes dos dados do SRTM possuem falhas ou depressões chamadas de *sinks* o qual são representadas por áreas envolvidas de elevações com valores de cotas superiores, semelhantes a um desnível do terreno. O primeiro tratamento efetuado na matriz de altitudes foi o preenchimento dessas imperfeições. Essas depressões ou *sinks* são reconhecidas como impedimentos ao escoamento no decorrer na execução de modelos hidrológicos, sedimentológicos e de poluentes de origem difusa (MENDES; CIRILO, 2001).

Uma depressão é um agrupamento de uma ou mais células que não contém qualquer célula com altitude menor em sua volta. Logo, efetuou-se a remoção das imperfeições presentes no MDE fazendo uso o comando *Fill* da ferramenta de Análise Espacial (*Spatial Analyst Tools*), disponível na interface *ArcToolbox* do *ArcGIS desktop*. Esse método teve objetivo de eliminar qualquer depressão ocasional que, do contrário, impossibilitaria o escoamento superficial, acrescentando erros na delimitação das bacias de colaboração situadas à jusante das células relacionadas a essas depressões e nos trajetos de escoamento à montante delas.

Completado o processo de execução do comando *Fill*, procedeu-se com análise da Direções do Fluxo por meio do *Flow Direction*. De acordo com RENNÓ et al. (2008), a direção de fluxo determina as interações hidrológicas entre pontos distintos no interior de uma bacia hidrográfica. A continuidade topológica para as direções de fluxo é, portanto, requerida para a existência de uma drenagem operante.

Esta etapa gera um *raster* integrando a direção do fluxo de cada célula. Cada pixel, no *Flow Direction* (Figura 7), é potencialmente contornado por oito pixels vizinhos. É possível calcular a inclinação de cada uma destas oito direções atentando para a diferença de elevação sinalizada pelo valor de MDE para cada um destes oito locais adjacentes e do valor no pixel a ser sondado (SANTOS, 2013).

**Figura 7** – Exemplo de aplicação da função *Flow Direction*.



Fonte: Alves Sobrinho et al (2010), adaptado de ESRI (2008).

Após a obtenção dos fluxos de direção, procedeu-se com a execução da função *Flow Accumulation* (Figura 8). O fluxo acumulado, conforme Mendes e Cirilo (2001), corresponde a rede hidrográfica da bacia, em uma grade é formado compondo as quantidades de acúmulo de água em cada *pixel*. Haja vista que cada *pixel* comporta um valor inerente ao valor de *pixels* que favorecem para que a água o alcance. A acumulação do fluxo provém da direção do fluxo, logrado através da soma da quantidade de células (área das células) na direção do escoamento ou fluxo.

**Figura 8** – Exemplo de aplicação da função *Flow Accumulation*.



Fonte: Adaptado de Olivera (2012).

Por fim, gerou-se um *raster* que delinea todas as bacias de drenagem por meio da função *Basin*, transformou-se a subdivisão do *raster* que reflete a bacia do Rio Beberibe em polígono para facilitar na extração variáveis necessárias.

A ESRI (2015) explica que as bacias de hidrográficas são delineadas dentro da janela de análise, identificando as linhas de cume entre as bacias. O *raster* da direção do fluxo de entrada é analisado para encontrar todos os conjuntos de células conectadas que pertencem à mesma bacia de drenagem. As bacias de hidrográficas são criadas localizando os pontos de vazamento nas bordas da janela de análise (onde a água derrama para fora do *raster*), bem como sumidouros, identificando a área contribuinte acima de cada ponto de vazamento. Isto resulta em um *raster* de bacias de drenagem.

### 3.3.4 Análise das variáveis geométricas da bacia

Para a realização dos cálculos da análise morfométrica, ou cálculos morfométricos, é indispensável conhecer determinadas variáveis. Estas variáveis referem-se a área de drenagem ou da bacia (A), perímetro (P) – medida da distância que perpassar o contorno da bacia, chamado de divisor d'água; comprimento axial da bacia ( $L_{AX}$ ), comprimento do curso principal (L), comprimento do talvegue ( $L_{TV}$ ) e comprimento do total dos cursos da bacia ( $L_t$ ).

A medição do perímetro, da área da bacia e do comprimento total dos cursos foram calculados no *ArcGIS 10.3* com a ferramenta *Calculate Geometry*, após adicionar um *field* (campo) para cada atributo, justamente na tabela de atributos do *layer* (camada). Os atributos do perímetro, da área da bacia do rio Beberibe e do total dos cursos foram adicionados e os cálculos foram efetuados com sucesso, ressaltando que a projeção aconselhada para a implementação desse processo é a projeção UTM (projeção de coordenadas planas) SIRGAS 2000.

A ferramenta *Calculate Geometry* dar acesso a geometria dos recursos em uma camada. Calcula valores de coordenadas, comprimentos e áreas, dependendo da geometria da camada de entrada. Pode-se apenas calcular a área, o comprimento ou o perímetro de recursos se o sistema de coordenadas usado estiver projetado. As projeções diferentes têm propriedades espaciais e distorções distintas. Caso o sistema de coordenadas da fonte de dados e da estrutura de dados não for o mesmo, pode-se obter um resultado diferente se calcular a geometria usando o sistema de coordenadas do quadro de dados do que quando calcula usando o sistema de coordenadas da fonte de dados (ESRI, 2015).

As variáveis restantes foram calculadas a partir da ferramenta *Measure* existente também no *ArcGIS*, além disso, as medidas de todas as variáveis, com exceção do comprimento total dos cursos d'água, foram verificadas com auxílio do SIG SPRING 5.4.3

por intermédio da sua ferramenta Operações Métricas, com a finalidade de acurar as medidas.

### **3.3.5 Hipsometria e Declividade**

Foi gerado no SPRING 5.4.3 a informações em relação a hipsometria fazendo uso da imagem do MDE da área de estudo já com a delimitação da bacia, com resolução espacial de 30 metros, produzindo-se as classes hipsométricas. Precisou-se conhecer os intervalos de classes que seriam usados no fatiamento e nas classes temáticas, para produzir um mapa hipsométrico.

Os valores máximos e mínimos de altimetria foram obtidos por intermédio de uma análise exploratória de estatística descritiva da imagem, que tornou possível o estabelecimento dos intervalos de maneira mais adequada.

Utilizando o mesmo MDE da imagem SRTM, efetuou-se a análise da declividade que exigiu a criação de uma nova categoria de dados MNT e depois gerou-se um classe de declividade, escolhendo a opção do menu “MNT” e selecionando a outra opção “Declividade”. A grade de declividade foi gerada em porcentagem.

Do mesmo modo exigido para atingir as informações da hipsometria, efetuou-se a análise exploratória da estatística descritiva da grade de declividade, com a finalidade de adquirir os valores máximos e mínimos da declividade, para determinar os intervalos de declividade de maneira adequada.

### **3.3.6 Cálculos para a Caracterização Morfométrica**

A caracterização morfométrica da bacia do rio Beberibe foi feita a partir dos parâmetros que são baseados em algumas variáveis de uma bacia hidrográfica, como a área, o perímetro, o comprimento total dos cursos d’água; axial da bacia; do rio principal e vetorial do rio principal. Os parâmetros adotados para a caracterização morfométrica da bacia do rio Beberibe foram os seguintes: o Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ), o Fator de Forma ( $K_f$ ), o Índice de Circularidade ( $I_c$ ), a Razão de Elongação ( $R_e$ ), a Densidade da Drenagem ( $D_d$ ), o Coeficiente de Manutenção ( $C_m$ ), a Sinuosidade do curso d’água ( $S_{in}$ ) e o índice de sinuosidade ( $I_s$ ).

O Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ) é a relação entre a forma da bacia com um círculo. Segundo Villela e Mattos (1975), esse coeficiente é um número adimensional que diverge com a forma da bacia, independente do seu tamanho. Um coeficiente inferior ou igual à unidade 1 (um) equivaleria a uma bacia circular, mas considerando uma bacia alongada, seu valor seria acima de 1 (um). Para a determinação do  $K_c$  utilizou-se a equação:

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

Em que:

$K_c$  = Coeficiente de Compacidade, adimensional;

$P$  = Perímetro da bacia (km);

$A$  = Área da bacia (km<sup>2</sup>).

O Fator de Forma ( $K_f$ ) associa a forma da bacia com um retângulo, correlacionando a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia da foz até o ponto mais distante do espigão. Uma bacia com fator de forma baixo tem menos suscetibilidade a ter enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975). Para determinar o fator de forma foi utilizada a Equação:

$$K_f = \frac{A}{L_{AX}^2} \quad (2)$$

No qual:

$K_f$  = Fator de Forma, adimensional;

$A$  = Área da bacia (km<sup>2</sup>);

$L_{AX}$  = comprimento axial da bacia (km).

O Índice de Circularidade ( $I_c$ ) compara a área da bacia com a área de um círculo de perímetro semelhante ao da área da bacia. Este valor inclina-se para unidade enquanto a bacia se assemelha da forma circular e reduz à proporção que a mesma se torna mais alongada (CARDOSO et al., 2006). Para estabelecer o índice de circularidade fez-se uso da seguinte equação:

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

No qual:

Ic = Índice de Circularidade, adimensional;

A = Área da bacia (km<sup>2</sup>);

P = Perímetro da bacia (km).

Razão de Elongação (Re) é conceituada como a relação entre o diâmetro do círculo de área igual à área da bacia e o comprimento do eixo da bacia hidrográfica. Esse índice apresenta a susceptibilidade da bacia às enchentes considerando fundamentalmente a sua forma, portanto, quanto maior o valor da razão, maior será a probabilidade de ocorrência de cheias. Porém, com valores menores, indicam para uma bacia mais alongada e com menor risco de cheias (CARDOSO et al, 2006). Segue a equação:

$$Re = 1,128 \cdot \left( \frac{A^{0,5}}{L_{AX}} \right) \quad (4)$$

Em que:

Re = Razão de Elongação, adimensional;

A = área da bacia (Km<sup>2</sup>);

L<sub>AX</sub> = comprimento do eixo da bacia (Km)

A Densidade da Drenagem (Dd) é na razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica. Conforme Christofletti (1980), o cálculo da densidade é essencial para o estudo das bacias hidrográficas, pois demonstra a relação inversa com o comprimento dos rios. À medida em que ascende o valor numérico da densidade, ocorre o decréscimo quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem. A equação para encontrar a densidade da drenagem é:

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

Em que:

Dd = Densidade da drenagem (km/km<sup>2</sup>)

Lt = comprimento total dos canais (km);

A = Área da bacia (km<sup>2</sup>).

O Coeficiente de Manutenção dos canais ( $C_m$ ) foi apresentado por Schumm (1956), como o inverso da Densidade de Drenagem, assinalando que enquanto a dissecação do relevo vai aumentando, ocorre o decréscimo da área disponível para o modelamento de novos canais, ou seja, o coeficiente de manutenção indica a área média que permanece isenta para formação de novos canais.

$$C_m = \left( \frac{1}{D_d} \right) \cdot 1000 \quad (6)$$

Em que:

$D_d$  = Densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ );

$C_m$  = é o coeficiente de manutenção ( $\text{m}^2/\text{m}$ ).

A Sinuosidade do curso d'água ( $S_{in}$ ) é calculada dividindo o valor da extensão do curso d'água principal da bacia ( $L$ ) pelo comprimento do talvegue (medida em linha reta da foz a desembocadura do rio) (STRAHLER, 1957). A sinuosidade de um curso d'água é um elemento regulador da velocidade do escoamento, estabelecido pela equação 6 (STUDART, 2006):

$$S_{in} = \frac{L}{L_{TV}} \quad (7)$$

Em que:

$S_{in}$  = sinuosidade do curso d'água (adimensional);

$L$  = comprimento do canal principal (km);

$L_{TV}$  = comprimento do talvegue (km).

O Índice de sinuosidade ( $I_s$ ) é representação percentual entre rio e talvegue, propondo que em uma maior declividade, ocorre a maior velocidade de escoamento (COUTINHO et al, 2013). Demonstrado com a seguinte equação:

$$I_s = \frac{100 \cdot (L - L_{TV})}{L} \quad (8)$$

Em que:

$I_s$  = Índice de sinuosidade (porcentagem);

$L$  = comprimento do canal principal (km);

$L_{TV}$  = comprimento do talvegue (km).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Delimitação e variáveis geométricas da bacia hidrográfica do rio Beberibe

O processo de delimitação da bacia hidrográfica do rio Beberibe, por meio da ferramenta *Hydrology* – proveniente do SIG *ArcGIS* na versão 10.3 – resultou no limite da área de drenagem apresentada na Figura 11, juntamente com a rede de drenagem obtida durante o mesmo processo a partir do MDE topodata tratado, com resolução espacial de 30 m, advindos dos dados SRTM.

A bacia hidrográfica do rio Beberibe (Figura 9) apresentou uma área de 81,13 km<sup>2</sup> e perímetro de 62,50 km. Comparando-se com os resultados apresentados pelo Governo do Estado de Pernambuco (2009): área 81 km<sup>2</sup> e perímetro 62,5 km; observou-se um aumento de 0,13 km<sup>2</sup> para a área e 10,5 km em relação ao perímetro da bacia.

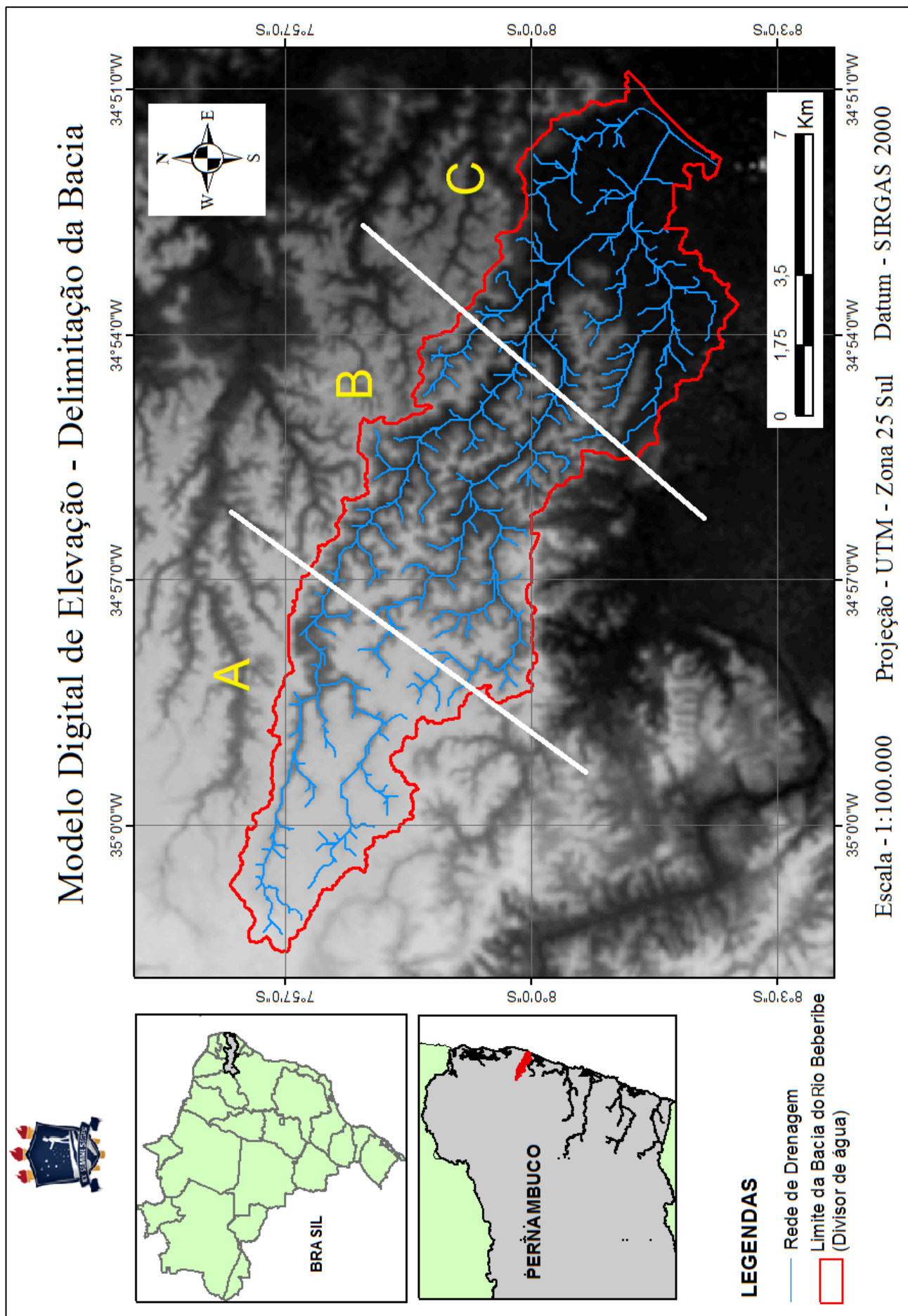
A Tabela 2 exhibe os valores das variáveis geométricas encontradas essa bacia, necessárias para a caracterização morfométrica.

**Tabela 2** – Dados geométricos da bacia do Rio Beberibe-PE.

Variáveis geométricas	Medidas
Área total (A)	81,13 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	62,5 km
Comprimento do canal principal (L)	23,22 km
Comprimento axial da bacia (L <sub>AX</sub> )	20,74 km
Comprimento do talvegue (L <sub>TV</sub> )	19,16 km
Comprimento total dos cursos d'água (L <sub>t</sub> )	177,4 km

Essa delimitação confirma os métodos utilizados nos estudos apresentados por Souza, Formiga e Veiga (2013); Dias et al (2004) e Alves Sobrinho et al (2010).

**Figura 9** – Delimitação da bacia do Rio Beberibe-PE a partir do MDE, de dados SRTM. A: alto Beberibe; B: médio Beberibe e C: baixo Beberibe

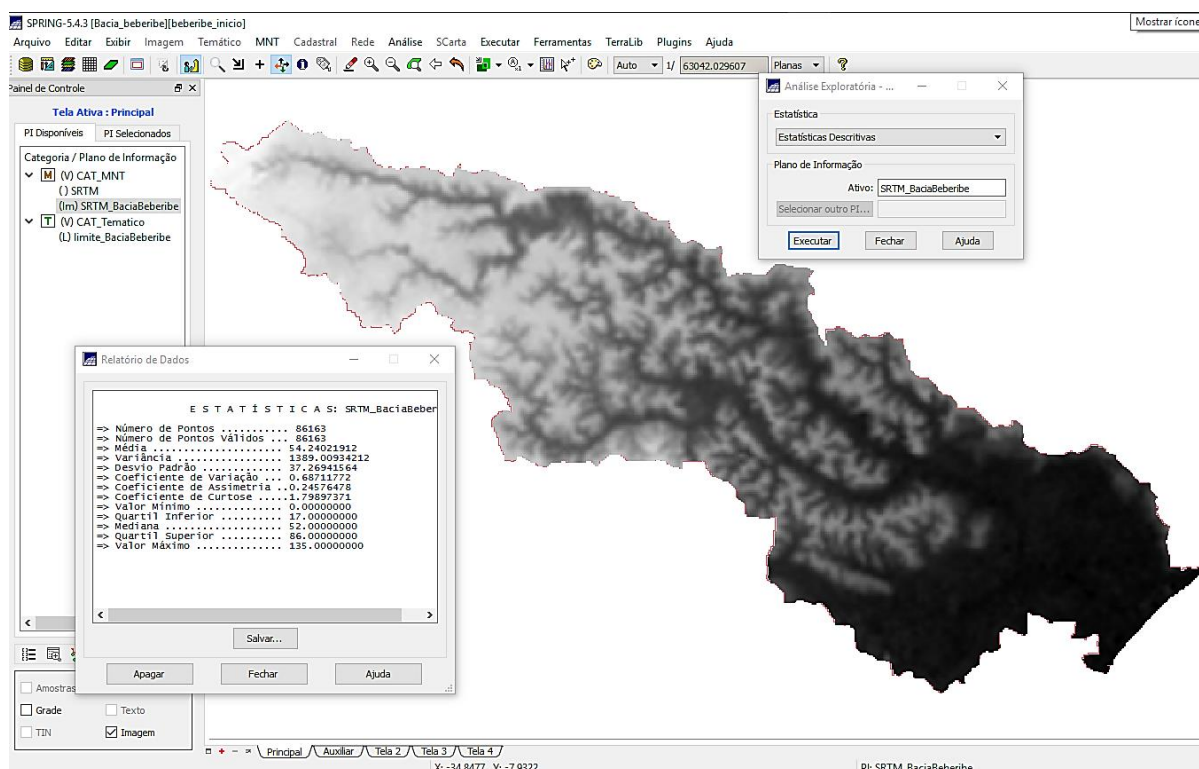


## 4.2 Caracterização Morfométrica

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Beberibe baseou-se na altimetria e declividade, além da contemplação dos seguintes descritores morfométricos: o coeficiente de compacidade ( $K_c$ ), o fator de forma ( $K_f$ ), o índice de circularidade ( $IC$ ), a razão de alongação ( $Re$ ), a densidade da Drenagem ( $D_d$ ), o coeficiente de manutenção ( $C_m$ ), a sinuosidade do curso d'água ( $Sin$ ) e o índice de sinuosidade ( $Is$ ); conforme explícitos na tabela 4.

O intervalo das classes de altitude foi de 9 metros, considerando a cota mínima de 0 m e a máxima de 135 metros, a partir da estatística descritiva (Figura 10). Adotou-se esse intervalo para permitir um detalhamento da altimetria da área de estudo. Assim, ocasionaram-se em um total de 15 classes.

**Figura 10** – Estatística descritiva da hipsometria da imagem SRTM da bacia no SPRING.



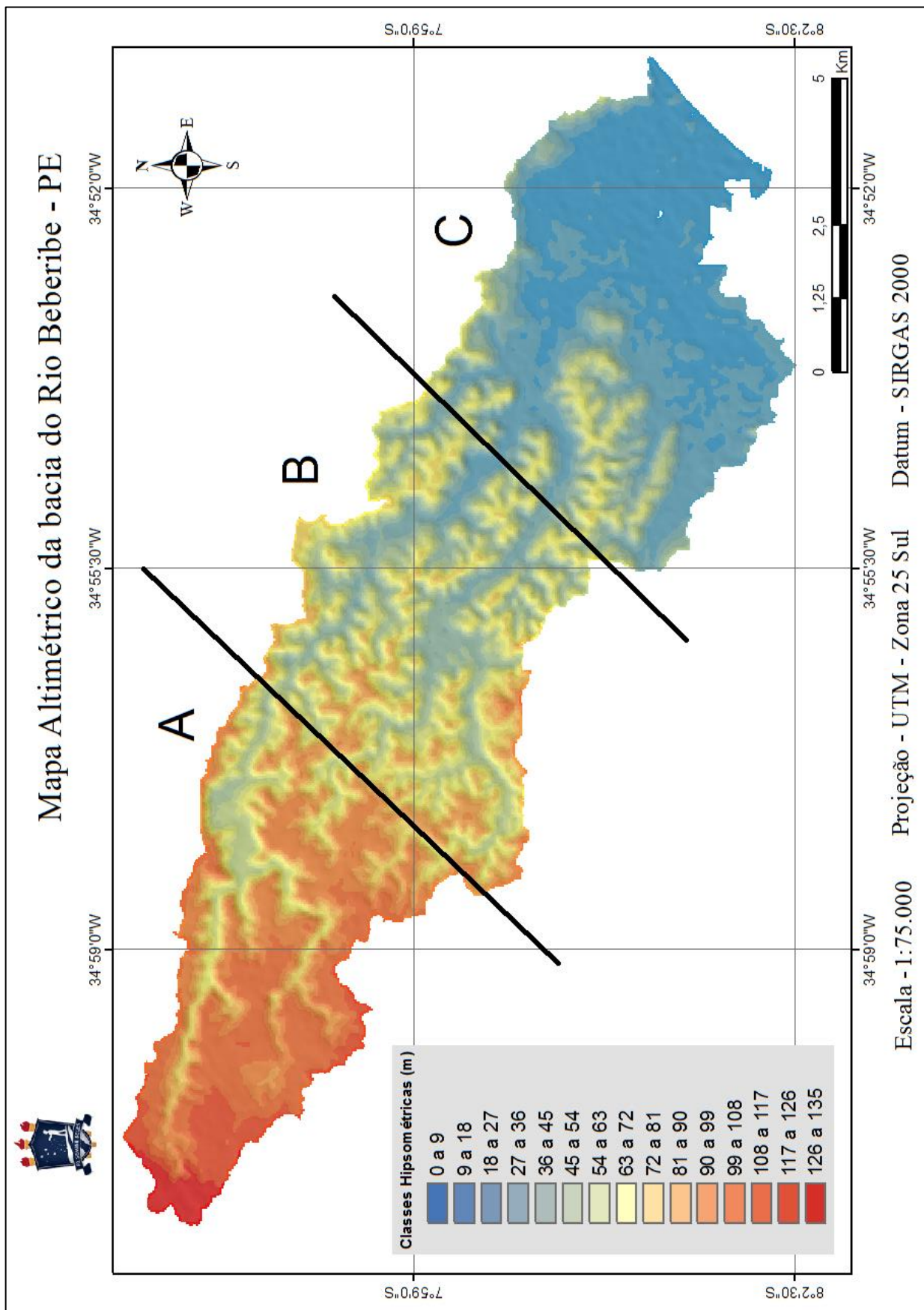
Os valores de altitude verificados são: máxima (135 m), média (54 m) e mínima (0 m). A altimetria resultante proporcionou a classificação hipsométrica com intervalo de 9 em 9 metros, considerando a cota mínima 0 m e a cota máxima de 135 m, com suas respectivas áreas, tanto em km<sup>2</sup> como em porcentagem (%) referentes a totalidade da área da bacia, demonstrados na Tabela 3. A maior ocorrência por classe de altitude é entre 0 a 9 m (13,32km<sup>2</sup>) e a menor são as áreas superiores a 117 m (2,69km<sup>2</sup> - soma da área das duas últimas classes) das classes de altitude.

**Tabela 3** – Classificação hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio Beberibe-PE com suas respectivas áreas (em km<sup>2</sup> e em %).

<b>Classe Hipsométrica (m)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
0 a 9	13,32	16,42
9 a 18	7,67	9,46
18 a 27	4,41	5,44
27 a 36	5,34	6,58
36 a 45	5,56	6,85
45 a 54	6,16	7,59
54 a 63	6,39	7,88
63 a 72	5,56	6,86
72 a 81	4,52	5,57
81 a 90	3,81	4,70
90 a 99	4,33	5,33
99 a 108	5,92	7,29
108 a 117	5,45	6,72
117 a 126	1,90	2,34
126 a 135	0,79	0,98
<b>0 a 135 (Total)</b>	<b>81,13</b>	<b>100</b>

Foi gerado um mapa hipsométrico (Figura 11) com as suas respectivas classes altimétricas demonstrando as variações de altitudes. Nota-se que no baixo curso da bacia do Rio Beberibe há a predominância de baixas altitudes, enquanto no alto Beberibe apresenta altitudes maiores. No médio Beberibe ocorre uma mescla de altitudes, variando com baixas à maiores altitudes.

**Figura 11.** Mapa hipsométrico (Altimétrico) da área de estudo. A: alto Beberibe; B: médio Beberibe e C: baixo Beberibe.

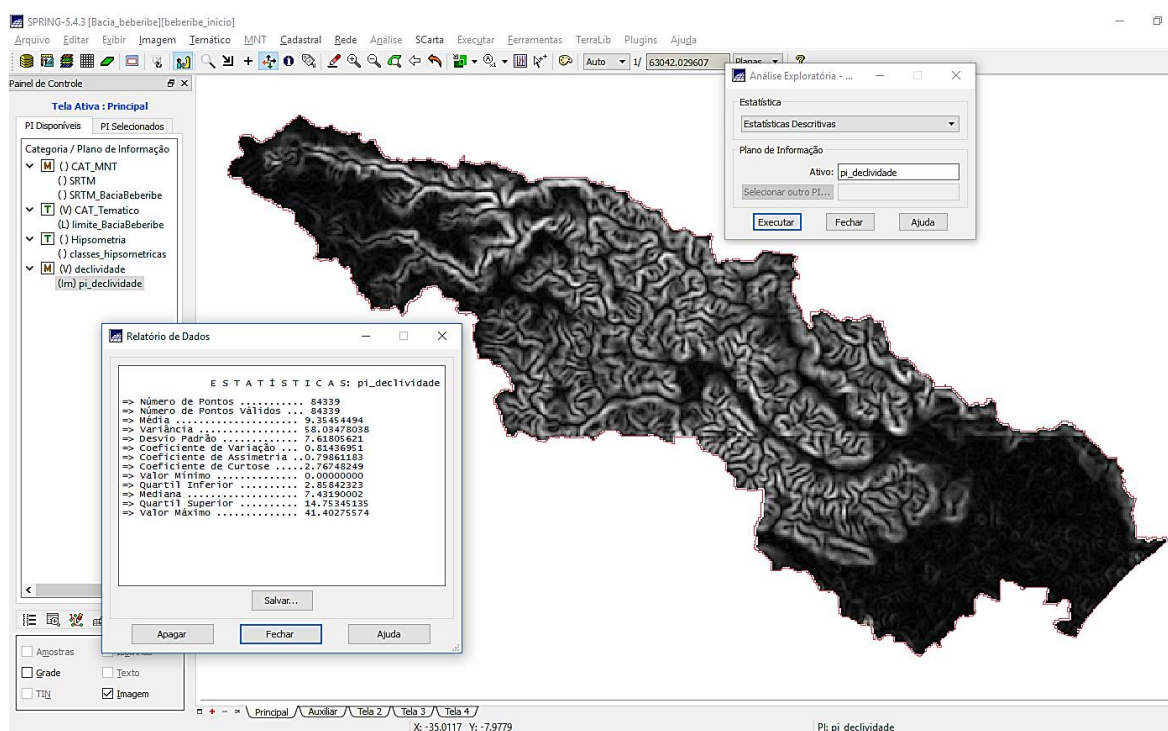


Castro e Lopes (2001) destacam que a altitude média impulsiona a quantidade de radiação que bacia recebe e, por conseguinte, induz a evapotranspiração, temperatura e precipitação. Então, quanto maior a altitude da bacia, menor a quantidade de energia solar que o ambiente recebe e, assim, menos energia estará disponível para esse fenômeno. Além do balanço de energia, a temperatura também varia em função da altitude; grandes variações na altitude ocasionam diferenças significativas na temperatura, que, por sua vez, também causa variações na evapotranspiração.

A altitude de uma bacia tem correlação direta com as variáveis de temperatura, precipitação e evapotranspiração (VILLELA; MATOS, 1975). Portanto, pode-se inferir pela altitude média encontrada (54 metros), relativamente baixa, que a bacia do Rio Beberibe recebe uma quantidade de energia solar bem relevante, permitindo, assim, um aumento na evapotranspiração e temperatura que influenciam, de certa forma, para a precipitações desta área.

Os valores da declividade foram obtidos a partir da estatística descritiva (Figura 12) efetuada no SPRING.

**Figura 12** – Estatística descritiva da declividade da bacia a partir do MDE, no SPRING.



A declividade de uma área é determinada como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, referente à distância que os separa (TONELLO et al, 2006). As classes de declividade geradas neste tema foram reclassificadas em 4 intervalos distintos (4 classes) atentando para a classificação em porcentagem sugerida pela Embrapa (1979), expressados na Tabela 4.

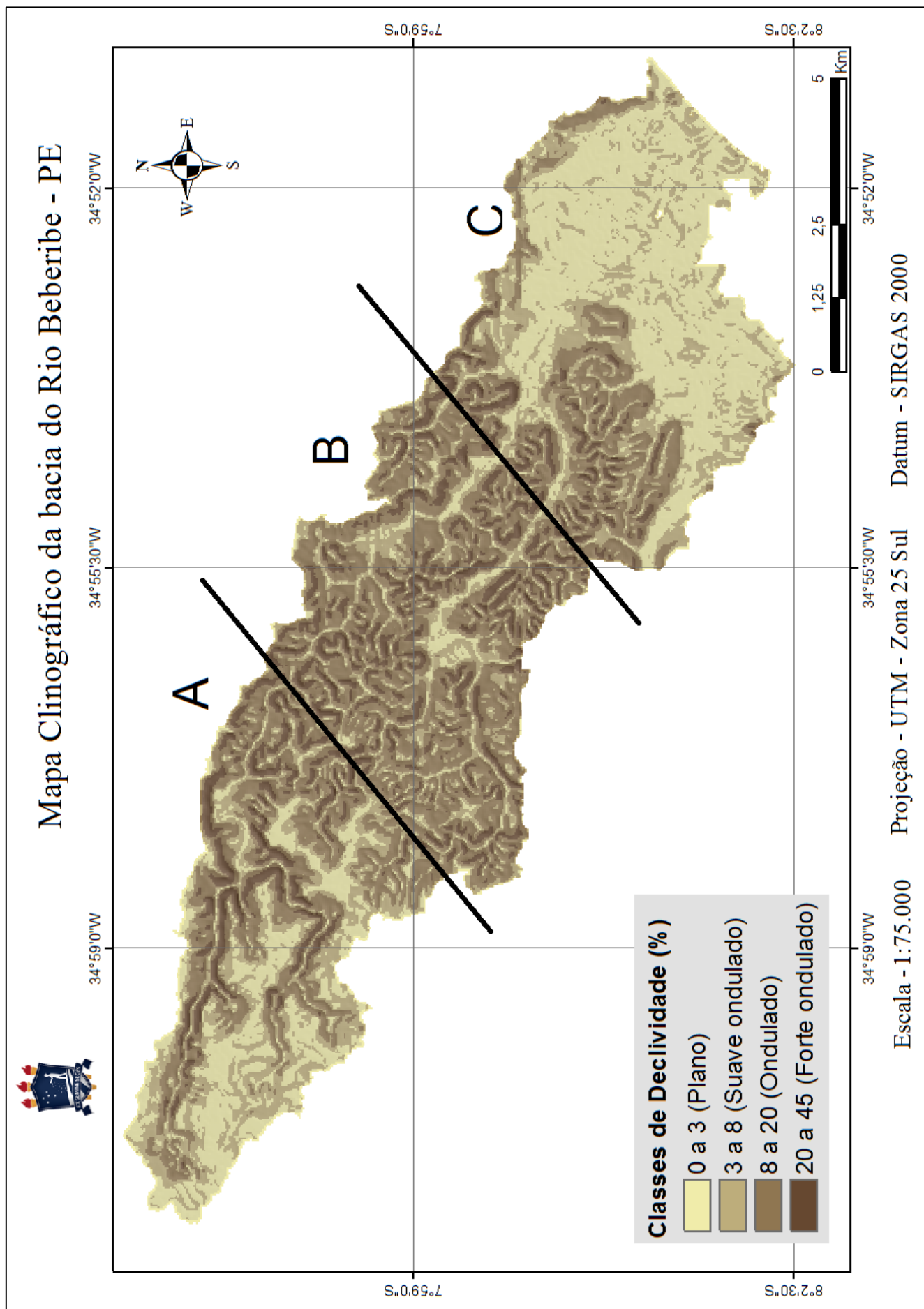
**Tabela 4.** Classificação clinográfica da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

<b>Classes de Declividade (%)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Classificação conforme Embrapa (1979)</b>
0 a 3	22,88	28,20	Relevo plano
3 a 8	19,46	23,98	Relevo suave ondulado
8 a 20	29,49	36,35	Relevo ondulado
20 a 45	9,30	11,46	Relevo forte ondulado
<b>Total</b>	<b>81,13</b>	<b>100,00</b>	–

A declividade máxima encontrada foi de 41,4% e a mínima 0%. As classes clinográficas foram distribuídas conforme Embrapa (1979), com valor declividade mínimo de 0% e o máximo de 45%. O relevo plano (0% a 3%) representa 28,2% (22,88km<sup>2</sup>) da bacia e o relevo forte ondulado (20% a 45%) somam 11,46% (9,3km<sup>2</sup>) da área da bacia, enquanto as intermediárias de 3 a 8 e de 8 a 20 (%) que são representadas como um relevo suave ondulado e ondulado, respectivamente, significam 60,33% do total da bacia do rio Beberibe (Tabela 3).

Os aspectos do relevo induzem as relações de precipitação, escoamento superficial, infiltração, intemperismo e deflúvio em uma bacia hidrográfica (COUTINHO et al, 2013). A bacia do rio Beberibe possui, de forma predominante, um relevo (Figura 13) de caráter ondulado, considerando a sua declividade média 9,4 % na classificação da Embrapa (1979). Villela e Matos (1975) destacam da grande importância na determinação das curvas características do relevo de uma bacia hidrográfica, pois o relevo tem forte influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos devido a velocidade do escoamento superficial ser determinada pela declividade da bacia.

**Figura 13** – Mapa de declividade (clinográfico) da área de estudo. A: alto Beberibe; B: médio Beberibe e C: baixo Beberibe.



O relevo no alto Beberibe (Figura 13) exhibe mistura das 4 classes de declividade, sem haja uma predominância de certa classe, mas no médio Beberibe é notável a maior presença do relevo ondulado. Já no baixo curso da bacia do Rio Beberibe, observa-se que a classes mais presente é o relevo de característica plana.

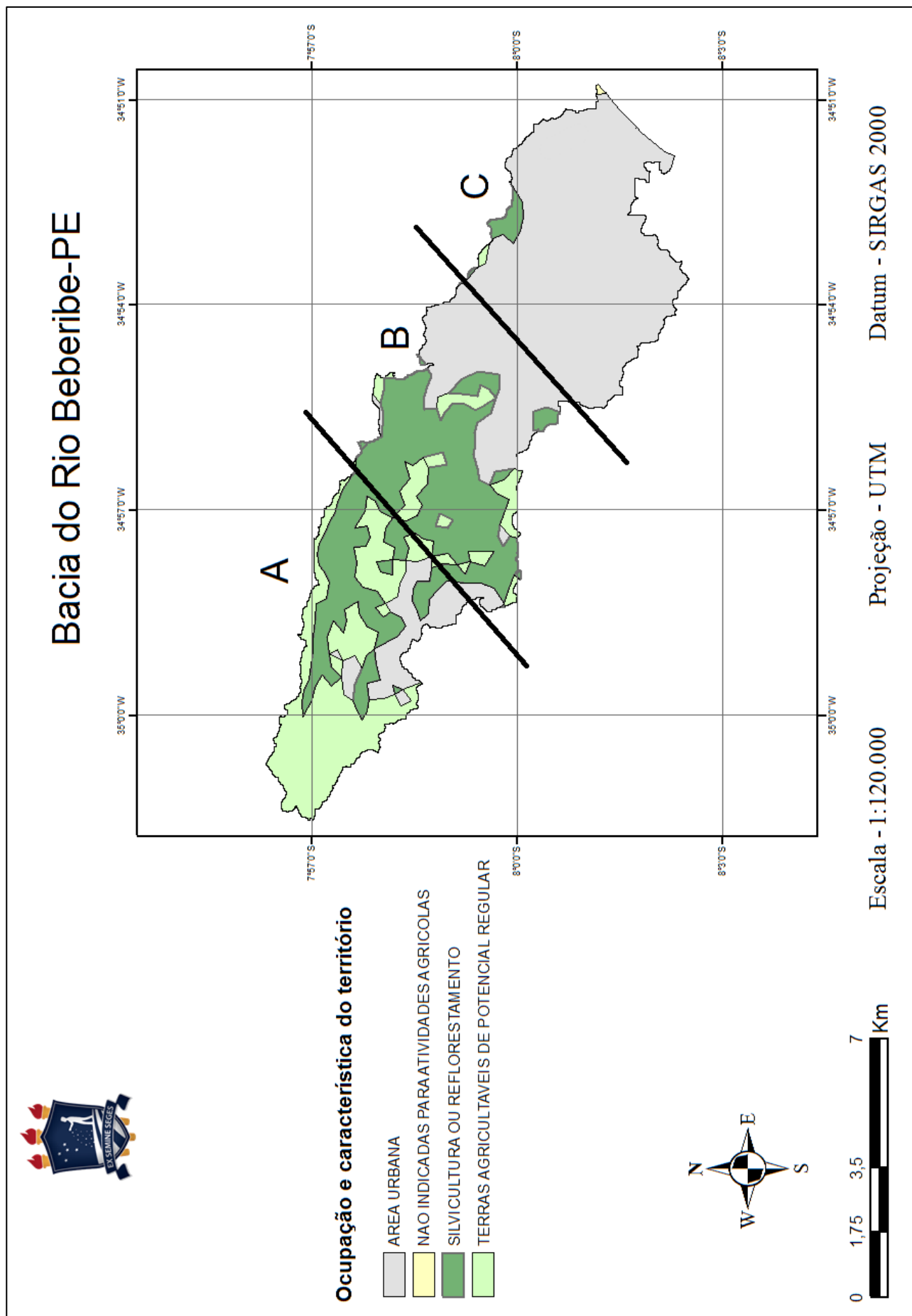
A declividade média da bacia do rio Beberibe apresentou um valor de 9,4%. Segundo Tonello et al (2006), a declividade média de uma bacia hidrográfica é importante no planejamento, fazendo-se cumprir a legislação e, também, para preservar a eficiência de ações antrópicas no meio. Possui, ainda, relevante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, dentre outros processos. Feitosa et al (2012) encontrou uma declividade média de 3,41% para a bacia do Rio Pajeú usando imagem SRTM, valor considerado baixo, indicando que esta bacia possui, de modo geral, uma área de relevo suavizado (plano).

A falta de vegetação associada à maior declividade, conduzirá ao aumento da velocidade de escoamento, diminuição quantidade de água armazenada no solo e resultará em enchentes mais pronunciadas e erosões, sujeitando a bacia à degradação. Portanto, a magnitude dos picos de enchentes ou a menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade à erosão dos solos derivam da velocidade com que ocorre o escoamento superficial, que está fortemente ligado com o relevo (TONELLO et al, 2006).

A Figura 14 expõe a ocupação e as característica potenciais para o território da bacia hidrográfica do Rio Beberibe. As áreas urbanas são visíveis na maior parte do baixo Beberibe, não facilitando a infiltração e drenagem da água no solo, que devido a isso, claramente não está exposto. As áreas com presença vegetação ou com potencial para cultivo de culturas (arbóreas e agrícolas) são notadas na maior parte do alto Beberibe e a montante do médio curso da bacia do Rio Beberibe, apresentando ainda áreas urbanizadas a jusante.

O alto e médio Beberibe, por apresentarem mais ocupação e potencial de vegetação, seja arbórea ou agrícola, permite que a drenagem e infiltração da água seja eficiente, colaborando para a dinâmica regular da bacia.

**Figura 14** – Características e potencias de ocupação do território da bacia do Rio Beberibe. A: alto Beberibe; B: médio Beberibe e C: baixo Beberibe.



Os parâmetros ou descritores morfométricos são apresentados na Tabela 4, com os resultados valores encontrados e suas respectivas classificações e referências, caracterizando, assim, a morfometria da bacia do Rio Beberibe.

**Tabela 5.** Descrição morfométrica da bacia do Rio Beberibe-PE.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Referência</b>
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,94	Baixa tendência a inundações	Silva e Mello (2008)
Fator de forma (Kf)	0,20	Baixa tendência a inundações	Silva e Mello (2008)
Índice de circularidade (Ic)	0,26	Baixa tendência a inundações	Borsato (2005)
Razão de alongação (Re)	0,50	–	
Densidade da Drenagem (Dd)	2,19 km/km <sup>2</sup>	Drenagem boa	Carvalho e Silva (2006)
Coeficiente de manutenção (Cm)	457,32 m <sup>2</sup> /m	–	
Sinuosidade do curso d'água (Sin)	1,21	Transicional/Regular	Alves e Castro (2003)
Índice de sinuosidade (Is)	17,48 %	Canal muito reto	Christofolletti (1980)

Por meio da análise morfométrica da bacia hidrográfica, identificou-se o coeficiente de compacidade (1,94) de baixa tendência a inundações, e um fator de forma baixo (0,20).

Silva e Mello (2008) tipificaram as bacias hidrográficas em decorrência dos valores de Kc da seguinte forma:  $1,00 \leq Kc < 1,25$  (bacia com alta propensão a grandes enchentes);  $1,25 \leq Kc < 1,50$  (bacia com tendência mediana a grandes enchentes);  $Kc \geq 1,50$  (bacia não sujeita a grandes enchentes).

Segundo estes autores, os valores expostos pelo fator de forma levam às seguintes classificações:  $Kf \geq 0,75$  – bacia sujeita a enchentes;  $0,50 < Kf < 0,50$  – bacia com tendência mediana a enchentes e  $Kf \leq 0,50$  – bacia não sujeita a enchentes.

O índice de circularidade encontrado no presente estudo foi baixo (0,26), demonstrando uma tendência alongada para a bacia. Conforme Borsato (2005), quanto mais perto de 1,0 for o valor de Ic, mais semelhança da forma circular terá a bacia. Porém, os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia pareça ser mais alongada, contribuindo com processo de escoamento.

A razão de alongação apresentou um valor baixo (0,5), ou seja, distante de um círculo e próximo de forma alongada (CARDOSO et al, 2006).

Assim, com o alinhamento dos valores obtidos desses descritores morfométricos (fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade e razão de alongação),

indica-se que a bacia do rio Beberibe tem tendências ao formato alongado; inferem menor concentração de deflúvio e menor risco de enchentes.

Villela e Mattos (1975) confirmam isso, ao afirmar que as bacias alongadas têm baixa acumulação do deflúvio e apresentam baixo risco de enchentes nas condições normais de precipitação.

Portanto, o escoamento nos canais se apresenta bem distribuído devido a forma alongada da bacia, possibilitando que o fluxo do deflúvio seja mais direcionado e retilíneo para a foz, deste modo menos concentrado.

A densidade da drenagem apresentou a medida de 2,19 km/km<sup>2</sup>. Aplicando esse valor a classificação descrita por Carvalho e Silva (2006), a bacia denota ter boa drenagem. Porém, este valor de Densidade de Drenagem, de acordo com a tipificação de Beltrame (1994), encontra em posição de alta drenagem.

O parâmetro de densidade de drenagem é um índice da elevada ou diminuta velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, elucidando a situação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, dispõe de uma indicação da eficiência da drenagem da bacia (GUARIZ, 2008). Então, considera-se que a bacia do rio Beberibe tenha um bom fluxo da drenagem no que tange as características e valores já apresentados.

O coeficiente de manutenção da bacia neste estudo foi de 457,32m<sup>2</sup>/m, ou seja, esse valor representa qual seria a área necessária para a manutenção de um metro de curso fluvial perene. Concernente ao coeficiente de manutenção, Schumm (1956) destaca sua importância com o objetivo de fornecer a área mínima exigida para a manutenção de um metro de canal de escoamento. O autor considera-o como um dos valores numéricos mais relevantes para a caracterização do sistema de drenagem.

A respeito da sinuosidade do canal principal (Sin), Alves e Castro (2003) asseveram que valores de sinuosidade bem próximos a 1, denotam que o canal é considerado retilíneo e valores maiores que 2 indicam canais tortuosos. Resultados entre 1 e 2 apontam para formas transicionais (regulares e irregulares). Neste caso, infere-se que no presente estudo a sinuosidade se tipifica como transicional, pois o valor encontrado para esse parâmetro morfométrico foi de 1,21 que estar no intervalo transicional e próximo de 1 também, então considerou-se com regular.

Crhistofolletti (1980) estabeleceu cinco classes para o índice sinuosidade, sendo elas:  $Is < 20\%$  - canal muito reto;  $20\% \leq Is \leq 30\%$  - canal reto;  $30\% \leq Is \leq 40\%$  - canal divagante;  $40\% \leq Is \leq 50\%$  - canal sinuoso;  $Is \geq 50\%$  - canal muito sinuoso. Na bacia do rio Beberibe,

o índice de sinuosidade demonstra que o comprimento do canal principal é 17,48% maior que o talvegue. Portanto, o canal é classificado como muito reto, permitindo que o trajeto das águas da nascente até a foz seja mais rápido e retilíneo.

## 5 CONCLUSÕES

✓ A metodologia aplicada na delimitação da bacia hidrográfica do Rio Beberibe no estado de Pernambuco a partir do MDE, provenientes de dados do SRTM, com auxílio do *software SIG ArcGIS*, versão 10.3, demonstra-se adequada e vantajosa concernente ao custo e benefício proporcionado, além de permitir a realização de pesquisas e diagnósticos ambientais apoiados nesses dados. Estabelece, ainda, uma padronização do traçado e posterior minimização de conflitos quanto à fixação da unidade elementar de gestão desses recursos hídricos.

✓ As variáveis geométricas verificadas para a bacia do Rio Beberibe foram: a área total (81,13 km<sup>2</sup>), o perímetro (62,50 km), o comprimento do canal principal (23,22 km), o comprimento axial da bacia (20,74km), o comprimento do talvegue (19,16 km) e o comprimento total dos cursos d'água (177,4 km).

✓ Essa bacia possui altitudes: mínima 0 m; máxima 135 m e média de 54 m. O seu relevo é predominantemente ondulado, pois apresenta uma declividade média de 9,4%. Mediante a caracterização morfométrica, a bacia do Rio Beberibe é classificada como alongada e possuindo uma boa drenagem e o escoamento bem distribuído, além de ter o seu canal principal retilíneo, apresentando, assim menos tendências a enchentes e com alta velocidade no escoamento, tudo isso em condições naturais da bacia. Porém, diante da alta urbanização do médio ao baixo curso desta bacia, essas inferências não são factuais, logo, é necessário, além dessas dessas informações, considerar muitos outros fatores que preencham essa incongruência da teoria com a realidade em relação às enchentes.

## 6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. R. Aplicação de geotecnologia na gestão ambiental do Município de Salinas, Minas Gerais / Eduardo Roman Albuquerque. – Ilhéus, BA: UESC, 2009.

ALVES, J.M.P.; CASTRO, P.T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 33, n.2, p.117-127, 2003.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Dados climatológicos. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 20/02/2017.

BELTRAME, A. V. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p

BITAR, O. Y.; IYOMASA, W. S.; CABRAL JUNIOR M. Geotecnologia: tendências e desafios. 2000.

BORBA, A. L. S.; COSTA FILHO, W. D., COSTA, M. R. Diagnóstico do aquífero Beberibe – Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. X Simpósio de Recursos Hídricos o Nordeste, 2010.

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

CALIPER - Mapping & Transportation Software Solutions. Glossary. What is a digital elevation model or DEM? Disponível em: <<http://www.caliper.com/glossary/what-is-a-digital-elevation-model-dem.htm>> Acesso em 20/01/2017

CAMPOS, H. L. Processo Hidrológico de Gestão na Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe (PE): Uma Retrospectiva. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro – RJ. 226p., 2003.

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. *Árvore*, Viçosa, v.30, n.2, p.241-248, 2006

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Apostila Hidrologia. UFRRJ. Rio de Janeiro – RJ. 2006.

CASTRO, P.; LOPES, J.D.S. Recuperação e conservação de nascentes. Viçosa, MG: CPT, 2001. 84p

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188 p.

COLLARES, E. G. Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica de Rio Capivari – SP. 2000. 211 p. Tese (Doutorado em Geotecnologia) USP. São Carlos.

CONDEPE-FIDEM, Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Programa de Infra-Estrutura em Áreas de Baixa Renda da RMR – Prometrópole, 2009.

CONIF. Corporación Nacional de Investigación Y Fomento Forestal. Actualización plan de ordenamiento cuenca hidrográfica del Río Bobo. Bogotá, 2003.

COUTINHO, L.M.; ZANETTI, S.S.; CECÍLIO, R.A.; GARCIA, G.O.; XAVIER, A.C. Usos da Terra e Áreas de Preservação Permanente (APP) na Bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. *Floresta e Ambiente*, v.20, n.4, p.425-434, 2013.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Relatórios de Monitoramento Ambiental das Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco. Disponível em: <[www.cprh.pe.gov.br](http://www.cprh.pe.gov.br)>. Acesso em: 12/01/2017

DIAS, L.S.O.; ROCHA, G.A.; BARROS, E.U.A.; MAIA, P.H.P. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. *Bahia Análise & Dados*, Salvador, v. 4, n.2, p.265-271, 2004.

DOMINGOS, L. J. Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica. Vitória, 2006: 67 f. Monografia (Bacharel em Geografia), Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: <[www.ufes.br/~geoufes/lgu/TesesMonografias.htm](http://www.ufes.br/~geoufes/lgu/TesesMonografias.htm)> Acesso em 14/01/2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. 83 p. 1979.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. GIS Dictionary. Disponível em: <<http://support.esri.com/other-resources/gis-dictionary/term/DEM>> Acesso em: 04/02/2017

FITZ, Paulo R. Geografia tecnológica. Geoprocessamento sem complicação, Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2008.

FEITOSA, A.; SANTOS, B. O.; ARAÚJO, M. D. S. B. Caracterização Morfométrica e identificação de Áreas Susceptíveis a Erosão na Bacia do Rio Pajeú, PE: o Estudo de Caso da Bacia do Rio Pajeú/PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 4(4), 820-836. 2012.

FERRARI JÚNIOR, R. Viagem ao SIG: planejamento estratégico, viabilização, implantação e gerenciamento de sistemas de informação geográfica. Curitiba: Sagres, 178p., 1997.

FLORENZANO, T. G.; FERREIRA, H. S.; MORAES, E.C.; DIAS, N. W. Formação de professores universitários em sensoriamento remoto através de ensino a distância. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1279-1285.

FREITAS, D. A. O emprego da técnica de filtração em margem para tratamento de água no rio Beberibe, Região Metropolitana do Recife. Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Dissertação de Mestrado. Recife – PE, 2010.

FREITAS, D. A. Uso da técnica de filtração em margem para remoção de *cryptosporidium* spp. e *giardia* spp. e outros micro-organismos patogênicos no rio Beberibe – Pernambuco.

Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado, Recife – PE, 2014.

GIL, A. C. Como delinear uma pesquisa bibliográfica. Gil AC. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, p. 59-86, 2006.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Revitalização dos rios da região metropolitana do Recife. Projeto: Bacia do rio Beberibe - Caracterização da Área, Programas em Andamento e Levantamento de Dados. Recife – PE. v.1, setembro de 2009.

GUARIZ, H.R. Morfometria e atributos físicos do solo da microbacia do Córrego Jaqueira-Alegre, ES. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Alegre, Universidade Federal do Espírito Santo, 275f., 2008.

GUERRA, Antonio J. T. et al. Geomorfologia ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192p.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Am. Bull., New York, v. 56, n. 3, p. 275-70, 1945.

IEIJ – Instituto de Educação Infantil e Juvenil. Elementos da bacia hidrográfica. Disponível em: <<http://ieij.com.br/mural/292-geografia-7ano.html>> Acesso em: 08/03/2017

INPE, TOPODATA. Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/documentos.php>> Acesso em: 15/12/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Geociências - Geodesia. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm>>. Acesso em: 21/12/2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET; 3º Distrito de Meteorologia–DISME. Boletim com a Normal Climatológica no período de 1961 a 1990, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) - Manuais: tutorial de geoprocessamento, SPRING, 2008.

LIMA, W.P. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. 242p.

LINDNER, E.; GOMIG, K.; KOBAYAMA, M. Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe, SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, Brasil. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 3405-3412.

LOUZADA, F.L.R.O. Proposta de Corredores Ecológicos para interligação dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, ES, utilizando geotecnologia. Jerônimo Monteiro,

2010. 133f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo.

MARTZ, L. W.; GARBRECHT, J. Digital elevation model issues in water resources modeling: Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems, ESRI Press, 2000.

MELO, J. A. B.; OLIVEIRA, M. M. Educação geográfica e geotecnologias: da reprodução à reconstrução do conhecimento na sala de aula. Tamoios. Ano IV, n° 2, junho/dezembro, 2008. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/tamoios/article/view/508>> Acesso em: 11/01/2017.

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

MONTEIRO, K. A. Superfícies de aplainamento e morfogênese da bacia do rio Tracunhaem, Pernambuco. Recife 124 folhas: il., tab., graf., fig., fotos. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia, 2010.

MOURA, S.; FREITAS, M. I. C. O uso da videografia no planejamento urbano da cidade de Analândia (SP): resultados parciais. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais...Goiânia, GO. INPE, p.4553-4560, 2005.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. 2004. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 13/01/2017

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6., 2006, Goiânia. Artigos... Goiânia: UFG, 2006.

OLAYA, V. Sistemas de Información Geográfica. 2014. Disponível em: <[volaya.github.io/libro-sig](http://volaya.github.io/libro-sig)> Acesso em: 11/01/2017.

OLIVERA, F. DEM-Based Stream and Watershed Delineation. Texas A&M University, Department of Civil Engineering. 2012. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/lizbasile/watershed-delineation/19?smtNoRedir=1>> Acesso em 13/02/2017

LE MOS, M. C.; SOUZA, S. F.; ROCHA, R. S. Avaliação da qualidade dos dados altimétricos derivado do Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM): Resultados preliminares. Anais I Simpósio em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, p. 01-03, 2004.

PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G.; DOS SANTOS, A. R.; CECÍLIO, R. A.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M. Uso de geotecnologias para estudo da fragmentação florestal com base em princípios de ecologia da paisagem. In: DOS SANTOS, A. R. et al (Orgs). Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais. 2012.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 297-305, 2004.

RENNÓ, C.D.; NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; SOARES, J.V.; HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M.J. HAND, A new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.112, n.9, p.3469-3481, 2008.

RODRIGUES, C. ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas, in: Venturi, L.A.B. *Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental*. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

SAIS, A.C.; BELI, E. Obtenção de parâmetros morfométricos de bacia hidrográfica por meio de sistema de informação geográfica. *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 1, p. 110-118, jan. /mar. 2012.

SANTOS, J. *Processamento Digital. ArcGIS 10.1: Super Análise Hidrológica com Spatial Analyst*, 2013. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2013/05/07/arcgis-10-1-super-analise-hidrologica-com-spatial-analyst/>> Acesso em: 19/01/2017

SAITO, N. S.; SANTOS, A. R.; BAUER, M. O.; FIELDLER, N. C.; PELUZIO, J. B. E. Modelos digitais de elevação no estudo de bacias hidrográficas. In: DOS SANTOS, A. R. et al (Orgs). *Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais*. 2012.

SANTOS, A.R. Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrológica do rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa, MG. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 143f., 2001.

SANTOS, A. R.; FREIRE, A. P.; CASTRO, E. C.; CHACALTANA, J. T. A.; SOARES, V. P.; SANTOS, G. M. A. D. A. Metodologia para análise estatística multivariada utilizando geotecnologias para correlacionar variáveis ambientais. In: DOS SANTOS, A. R. et al (Orgs). *Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais*. 2012.

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.

SECTMA - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco. Proposta Técnica para a criação da Área de Proteção Ambiental – APA do Beberibe, 2009. Recife/PE. Disponível em: <[http:// www.proptcapabeberibe-090817172813-phppapp02.pdf](http://www.proptcapabeberibe-090817172813-phppapp02.pdf)> Acesso em: 16/01/2017

SEPLAN - Secretaria de Planejamento e Gestão. Urbanização da Bacia do Rio Beberibe. Apresentação Técnica, Recife - PE. 2008.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. de S. Iniciando no ArcGIS - Sistema de Informação Geográfica. Centro Universitário de Belo Horizonte UniBH – Curso de Geografia e Análise Ambiental – 2010

SILVA, A.M.; MELLO, C.R. Apostila de Hidrologia. Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <[www.deg.ufla.br/Irriga%C3%A7%C3%A3o/ Disciplinas/ENG%20170/hidrologia\\_eng\\_170.htm](http://www.deg.ufla.br/Irriga%C3%A7%C3%A3o/ Disciplinas/ENG%20170/hidrologia_eng_170.htm)> Acesso em: 27/02/2017.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: Tucci, C.E.M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, 2001. p. 35-51.

SPRING. Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: 23/02/2017

SOUZA, R. M.; FORMIGA, K. T. M.; VEIGA, A. M. Caracterização morfométrica e delimitação da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia–GO a partir de dados do SRTM. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu, 16, 5880-5887, 2013.

STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J. H. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica. Portal da Cartografia, Londrina v. 3 n. 1, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia>> Acesso em: 15/02/2017.

STUDART, T. M. C. Apostila Hidrologia. UFC. Fortaleza – CE, 2006

SRHE/PE - Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco. Projeto de dragagem do rio Beberibe no trecho entre a BR-101 e a ponte da avenida Olinda (trechos 1 a 5), volume 1, 2012.

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

TUCCI, C. E. M. 2000, Hidrologia: Ciência e Aplicação, 2ª edição, ABRH.

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

VALERIANO, M. de M. Mapeamento da declividade em microbacias com sistemas de informação geográfica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p.303- 310, 2003

VALERIANO, M. de M. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. São José dos Campos: INPE, 2004.

ZANETTI, S. S.; AGRIZZI, D. V.; SCÁRDUA, M. D.; FUKUNAGA, D.; OLIVEIRA, K. D. Estimativas do escoamento superficial em uma sub-bacia hidrográfica no município de rio novo do sul, ES. In: DOS SANTOS, A. R. et al (Orgs). Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais. 2012.