



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO E GRADUAÇÃO – PROEG  
COORDENAÇÃO INSTITUCIONAL DE PROGRAMAS ESPECIAIS - CIPE  
CURSO DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA A DISTÂNCIA

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA  
A PARTIR DE IMAGENS SRTM**

LIDIANE CRISTINA FÉLIX GOMES

CAMPINA GRANDE

2011

LIDIANE CRISTINA FÉLIX GOMES

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMETRICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA  
A PARTIR DE IMAGENS SRTM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia na modalidade a Distância (Prolicenciatura) da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Geografia, em cumprimento às exigências legais.

**Orientador: JOÃO DAMASCENO**

CAMPINA GRANDE

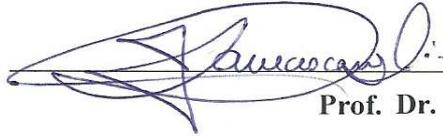
2011

LIDIANE CRISTINA FÉLIX GOMES

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA  
A PARTIR DE IMAGENS SRTM**

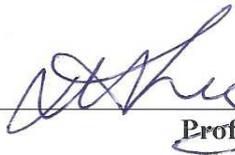
Aprovado em: 03 de outubro de 2011.

COMISSÃO EXAMINADORA



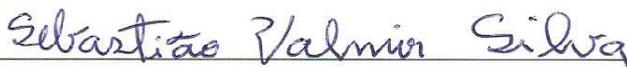
**Prof. Dr. João Damasceno**

Orientador



**Prof. Msc. Adelize Luz**

Examinador (a)



**Prof. Esp. Sebastião Valmir Silva**

Examinador (a)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL – UEPB

- G633c Gomes, Lidiane Cristina Félix.  
Caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica a partir de imagens SRTM [manuscrito] / Lidiane Cristina Félix Gomes. – 2011.  
46 f. : il. color
- Digitado.  
Trabalho Acadêmico Orientado (Graduação em Geografia) – Universidade Estadual da Paraíba, Secretária de Educação à distância - SEAD, 2011.  
“Orientação: Prof. Dr. João Damasceno, Departamento de Geografia”.
1. Geoprocessamento. 2. Bacias hidrográficas. 3. Relevo. I. Título.
21. ed. CDD 621.367 8

**Por onde ando, vejo Geografia...**

Autoria: Lidiane Félix.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus sobre todas as coisas, sem ele nada seria possível.

Ao meu amado orientador, João Damasceno, que com muito carinho e atenção me apoiou e conduziu para a conclusão de mais uma etapa em minha vida, sempre a disposição para me auxiliar nos momentos difíceis.

A minha amada professora e tutora, Adelize Luz, que sempre foi mais que uma professora durante todo o curso e hoje para mim é mais que Luz, é fonte de admiração, carinho e muito respeito.

Ao meu amado marido e companheiro, Jessé Júnior, que respeitou minhas escolhas, entendeu minhas ausências e me confortou nos momentos de desânimo.

Aos meus filhos, pelo amor incondicional e só pelo fato de suas existências me deram a força suficiente para fazer a máquina da minha mente trabalhar.

À minha família, minha mãe, minha avó e meus irmãos pelo apoio ilimitado sempre presente em minha vida.

À minhas amigas Mirna Hipólito, Joelza Melo, Juliana Lima, Raquel Dantas, Glauciene Silva, Alexandra Tavares, Lúcia Helena por que eu as amo muito e todas tem uma grande parcela de apoio em situações diversas.

Aos meus colegas de curso, em especial Elaine Almeida, Juarez Oliveira, Carlos Campos, Josemir Palmeira, Rafaella Santos, Severino Ivanoe e Filomena Eva.

A todos que contribuíram de alguma forma na conclusão dessa pesquisa.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                       | <b>1</b>  |
| 1.1 OBJETIVOS.....  | 2         |
| 1.1.1 Objetivo Geral.....                                     | 2         |
| 1.1.2 Objetivos Específicos.....                              | 2         |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                          | <b>3</b>  |
| 2.1 Bacias Hidrográficas .....                                | 3         |
| 2.1.1 Gestão de Bacias Hidrográficas .....                    | 3         |
| 2.2 Geomorfologia .....                                       | 7         |
| 2.3 Análise de Bacias Hidrográficas e Morfométricas.....      | 9         |
| 2.4 Geoprocessamento nos Recursos Hídricos.....               | 12        |
| 2.5 Sensoriamento Remoto .....                                | 13        |
| 2.6 Sistema RADAR .....                                       | 15        |
| 2.6.1 SRTM - Shuttle Radar Topography Mission .....           | 15        |
| 2.7 Sistemas de Informações Geográficas.....                  | 16        |
| 2.8 Uso de Sig na Caracterização de Bacias Hidrográficas..... | 18        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                             | <b>19</b> |
| 3.1 Área de Estudo .....                                      | 19        |
| 3.2 Métodos.....  | 20        |
| 3.3 Análise Linear .....                                      | 24        |
| 3.4 Análise Areal das Bacias Hidrográficas.....               | 26        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                        | <b>29</b> |
| <b>5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>                          | <b>34</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS .....</b>                                    | <b>35</b> |

## **RESUMO**

A análise de bacias hidrográficas leva em consideração vários aspectos de disposição espacial e de acomodação em relação ao relevo e, seus resultados se apresentam de suma importância para a gestão das bacias hidrográficas. A bacia do rio Cuiá está situada em área urbana percorrendo 21 bairros da cidade de João Pessoa – PB. A pesquisa consiste em apresentar as técnicas de geoprocessamento como ferramenta de apoio na aquisição de dados que subsidiem a análise morfométrica da bacia em estudo. Foram extraídas informações de relevo, rede de drenagem e delimitação da área da bacia das imagens de radar – SRTM. A partir destas informações adquiridas foram aplicados cálculos matemáticos para se obter a análise linear, areal e hipsométrica da área envolta da bacia. Os resultados apresentam resultados satisfatórios e dentro do limite de aceitação devido a resolução espacial das imagens de radar, e é de fundamental importância em áreas que não dispõe de dados para análise dos recursos naturais no meio ambiente.

**Palavras-Chave: Bacias hidrográficas, Geoprocessamento, Relevo.**

## **ABSTRACT**

The watershed analysis takes into various aspects of the spatial arrangement and accommodation about of shape of terrain and, the results of great importance for the management of watersheds. The river Cuiá basin is located in an urban area covering 21 districts of the city of João Pessoa - PB. This research consist in to present the techniques of GIS as a support tool in the acquisition of data for contribute to the morphometric analysis of the basin under study. Have been extracted the relevant details of topography, drainage network and delimitation of the basin area of the radar - SRTM. The information gained from these mathematical calculations were used to obtain the linear and areal hypsometric area and surrounded the basin. The results show satisfactory results within the limit of acceptance because the spatial resolution of radar images, and is of fundamental importance in areas that do not have data for analysis of natural resources in the environment.

**Keywords: Watersheds, GIS, terrain.**

## INTRODUÇÃO

A problemática da escassez de água tem preocupado não apenas a sociedade civil, mas tem sido o grande foco de muitas pesquisas da comunidade acadêmica, por ser fundamental para a manutenção da vida no planeta, acredita-se que nela, além de terem surgido às primeiras formas de vida, originaram-se as formas terrestres, as quais conseguiram sobreviver mediante o desenvolvimento de mecanismos fisiológicos que permitem retirar água não apenas do meio, mas também conseguir retê-la em seus próprios organismos, garantindo assim a sua sobrevivência. A água é a mais importante substância para a vida dos seres vivos, segundo Paulino (1996, p. 30) no homem, 70% do seu peso corporal é composto por água, além de regular a nossa temperatura interna é essencial para todas as funções orgânicas.

A água é a seiva do nosso planeta. Ela é condição essencial de vida de todo ser vegetal, animal ou humano. Sem ela não poderíamos conceber como são: a atmosfera, o clima, a vegetação, a cultura ou a agricultura (Art. 2º da Declaração Universal dos Direitos da Água, 1992).

Por ser o constituinte mais abundante dos organismos vivos, bem com da matéria formadora da Crosta Terrestre com 70% (PAULINO, 1996, p. 32) a água é também indispensável nas mais diversas atividades humanas, portanto, nenhuma espécie consegue viver sem fazer uso da água, daí a necessidade de usá-la com parcimônia e discernimento.

A água é de extrema importância para a vida na terra e de todos os seres vivos, contidos nela. Diante de sua importância e de sua escassez em algumas localidades geográficas, a água vem a cada dia ganhando destaque e muito tem se falado em conservação e formas de se administrar um bem comum para toda a população do planeta. Diante desse cenário, o planejamento dos recursos hídricos de forma correta e centrada assume o centro das atenções em termos de gestão. Assim existe a necessidade de conhecer tudo que concerne à bacia hidrográfica, para posteriormente administrá-la.

Atualmente existem diversos estudos e monitoramentos das bacias, para que se possa ter um controle constante de seu comportamento, de acordo com o clima

predominante na região, que irá influenciar na dinâmica do ciclo hidrológico. Outras condições que também são relevantes para a área estudada é o local em que está inserido e as contribuições que o relevo dá para sua forma e curso percorrido.

Diante da problemática e da escassez hídrica, de em alguns casos de uma administração ineficaz dos gestores responsáveis, existe a necessidade de se obter o máximo de informações inerentes as bacias hidrográficas, para que possa servir de apoio para a tomada de decisão dos órgãos competentes. A pesquisa também contribuirá para a área acadêmica, pois demonstrará as contribuições das técnicas de geoprocessamento para a geografia, seu ensino e áreas correlatas, que abrangem os estudos dos corpos hídricos.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Caracterizar morfometricamente uma bacia hidrográfica de acordo com parâmetros estabelecidos na literatura a partir de imagens de radar, demonstrando a utilização de técnicas de geoprocessamento como ferramenta eficaz na gestão de bacias hidrográficas.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Extrair a rede de drenagem a partir das imagens de radar;
- Gerar um modelo 3D associando as curvas de nível;
- Quantificar os parâmetros morfométricos;
- Gerar mapas de relevo para subsidiar a pesquisa;
- Demonstrar a importância das técnicas de Sensoriamento Remoto na gestão dos recursos hídricos;
- Confeccionar mapas para auxílio de análises acadêmicas e/ou gestores de órgãos competentes para auxílio na tomada de decisão.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Bacias Hidrográficas**

#### **2.1.1 Gestão de Bacias Hidrográficas**

Segundo Meyer (1988), a hidrologia é a ciência natural que trata dos fenômenos relativos à água em todos os seus estados, de sua distribuição e ocorrência na atmosfera, na superfície terrestre e no solo, e da relação desses fenômenos com a vida e com as atividades do homem.

Já VIESSMAN, HARBAUGH e KNAPP (1972), bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d' água ou um sistema conectado de cursos d' água, dispondo de uma simples saída para que toda vazão efluente seja descarregada.

Para saber como está organizado o sistema de gestão de recursos hídricos por bacias hidrográficas é necessário ter conhecimento dos seus conceitos e definições. A bacia hidrográfica é composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório, assim permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos (Tucci, 1997).

A delimitação da bacia dá-se ao fato da quantidade da água a ser utilizada e do alcance que ela precisa ter para suprir as necessidades da região de interesse. Como por exemplo, a bacia do Rio Amazonas que pode ser delimitada desde suas cabeceiras mais distantes na cordilheira andina até seu encontro com o Oceano Atlântico, assim como podem ser delimitadas suas sub-bacias, maiores ou menores, dependendo da necessidade do problema a ser suprido (Cescar, 2007). De fato, as atividades humanas se desenvolveram e ainda se desenvolvem próximas as bacias hidrográficas, buscando atender suas necessidades básicas de consumo e subsistência. Segundo Takeda (2010) todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Esse conceito sistêmico adapta-se muito bem aos sistemas de gestão de recursos hídricos.

No início dos anos 90, a gestão dos recursos hídricos baseada na delimitação geográfica das bacias hidrográficas ganhou força devido ao Princípio de Dublin, acordados na reunião preparatória à Rio-92, que diz que essa gestão deve ser

integralizada em aspectos físicos e sócio-econômicos (WMO, 1992). Mesmo com esse aceite tardio, já havia várias iniciativas de sucesso na área de gestão de recursos hídricos a partir da delimitação de bacias hidrográficas, como o tratado Brasil-Peru sobre a navegação do Rio Amazonas em 1851 e o tratado entre o Brasil e a República das Províncias Unidas do Rio da Prata em 1928, entre outros (Granziera, 2001).

Um experimento de grande impacto na gestão de bacias hidrográficas ocorreu em 1992 nos Estados Unidos, quando o Congresso americano aprovou o pacto do Rio Colorado, no qual dizia que partição da utilização da água do rio entre os Estados que compartilhavam a sua bacia hidrográfica. Esse pacto se baseou no conceito que trata de forma igual territórios com produtividade hídrica elevada (Estados *doadores*) e territórios com produtividade hídrica menor (Estados *recebedores*), e a utilização conjunta das águas de um mesmo rio (Grigg, 1991).

Em 1976 no Brasil, o Ministério das Minas e Energia e o governo do Estado de São Paulo reconheceram a gravidade e complexidade dos problemas relacionados ao uso da água e entraram em acordo para a melhoria das condições sanitárias das bacias do Alto Tietê e Cubatão, o que acarretou na constituição do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH), e a subsequente criação de comitês executivos em diversas bacias hidrográficas, como no Paraíba do Sul, no São Francisco e no Ribeira de Iguape (Porto, 2008)

Em meados de 1980, várias experiências baseadas na gestão de bacias hidrográficas surgiram. No Estado do Espírito Santo, é constituído o primeiro Consórcio Intermunicipal Santa Maria/Jucu, de maneira a facilitar a negociação entre usuários, num período seco naquele Estado, e, portanto, com dificuldades de gerir seus conflitos. Surgem, em 1988, os Comitês das Bacias Sinos e Gravataí, afluentes do Guaíba no Estado do Rio Grande do Sul, que se constituem em iniciativas pioneiras por terem surgido da própria comunidade das bacias hidrográficas, com o apoio do governo do Estado. Em 1989, algumas cidades das bacias dos rios Piracicaba e Capivari formaram o Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, uma idéia pioneira com o objetivo de promover a recuperação ambiental dos rios, a integração regional e o planejamento do desenvolvimento da bacia. (CILSJ)

Inicialmente o território brasileiro foi dividido num primeiro nível de macro divisão hidrográfico, as chamadas Regiões Hidrográficas Brasileiras. A Resolução número 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de 15 de outubro de 2003, define a divisão hidrográfica nacional em regiões hidrográficas como mostrado na

Figura 1. Hoje no Brasil, os recursos hídricos têm sua gestão organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados, baseados na Lei n. 9.433, de 8.1.1997. Um sistema de organização que apresenta dificuldades em lidar com esse recorte geográfico, uma vez que os recursos hídricos exigem a gestão compartilhada com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições ligadas à atividade agrícola, gestão ambiental, entre outros, e a cada um desses setores corresponde uma divisão administrativa certamente distinta da bacia hidrográfica (Takeda, 2010).



**Figura 1** – Regiões hidrográficas brasileiras. (Fonte: CNRH, 2003)

Essas regiões têm sua divisão justificada pelas diferenças existentes no país, tanto no que se refere aos ecossistemas como também diferenças de caráter econômico, social e cultural, como mostra a Tabela 1.

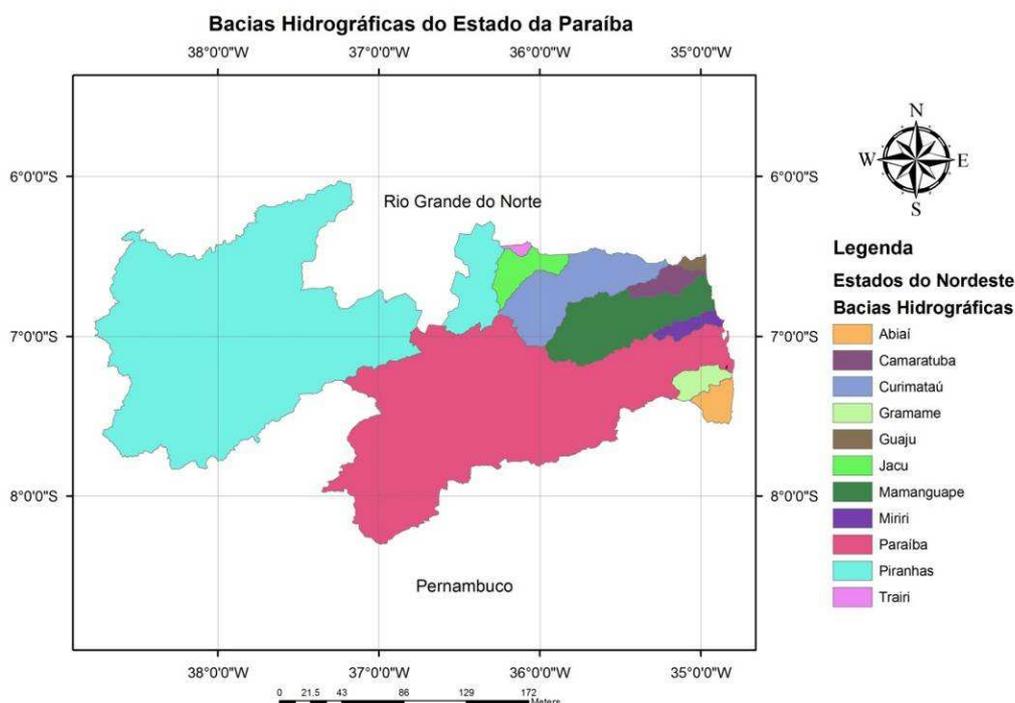
**Tabela 1 – Diferenças entre as regiões hidrográficas brasileiras**

| <b>Região Hidrográfica</b>                       | <b>Vazão média (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Densidade demográfica 1.000 hab/km<sup>2</sup></b> | <b>Taxa de urbanização (%)</b> |
|--|--------------------------------------|---|--------------------------------|
| Região Hidrográfica Amazônica                    | 131.947                              | 2   | 67%                            |
| Região Hidrográfica do Tocantins/Araguaia        | 13.624                               | 8   | 74%                            |
| Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental | 2.683                                | 19  | 57%                            |
| Região Hidrográfica do Parnaíba                  | 753                                  | 11  | 62%                            |
| Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental  | 779                                  | 75  | 76%                            |
| Região Hidrográfica do São Francisco             | 2.850                                | 20  | 74%                            |
| Região Hidrográfica Atlântico                    | 1.492                                | 36  | 70%                            |
| Região Hidrográfica Atlântico Sudeste            | 3.179                                | 118   | 90%                            |
| Região Hidrográfica Atlântico Sul                | 4.174                                | 62  | 85%                            |
| Região Hidrográfica do Uruguai                   | 4.121                                | 22  | 68%                            |
| Região Hidrográfica do Paraná                    | 11.452                               | 62  | 91%                            |
| Região Hidrográfica do Paraguai                  | 2.368                                | 5   | 85%                            |

Fonte: MMA (2007)

Os Estados brasileiros, no âmbito dos seus territórios, fizeram divisões hidrográficas para fins de gestão utilizando diferentes critérios. O Estado da Paraíba, por

exemplo, está dividido em onze bacias hidrográficas: Rio Paraíba, Rio Abiaí, Rio Gramame, Rio Miriri, Rio Mamanguape, Rio Camaratuba, Rio Guaju, Rio Piranhas, Rio Curimataú, Rio Jacu e Rio Trairi, sendo as cinco últimas de domínio federal. A Figura 2 mostra a divisão das bacias hidrográficas do Estado da Paraíba.



**Figura 2: Bacias Hidrográficas da Paraíba.**  
 Fonte de dados brutos – AESA (Adaptado por Lidiane Félix).

## 2.2 Geomorfologia

A geomorfologia é o estudo que se aplica a conhecer e caracterizar as formas de relevo de uma superfície baseado nos processos que levam até a forma final do aspecto físico, com isso, fornecendo o conhecimento sobre os aspectos e a dinâmica da topografia atual (CHRISTOFOLETTI, 2006).

Dentre suas atribuições, a geomorfologia aborda o estudo das formas de relevo e as águas superficiais, que são elementos que se integram ao clima, vegetação e solos na organização dos sistemas ambientais físicos, que compõem o embasamento paisagístico para que sejam inseridos os programas de desenvolvimento nas escalas locais, regionais e nacionais.

A vertente, que pode ser definida como uma forma tridimensional moldada pelas ações erosivas de diferentes épocas, e que possui conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo de vale pode ser considerado um dos estudos mais importantes no ramo geomorfológico, pois, através dela ocorrem os processos superficiais de carreamento de detrito, sendo a declividade um dos fatores que será responsável pela energia deste processo (DYLIK *apud* CHRISTOFOLETTI, 2006).

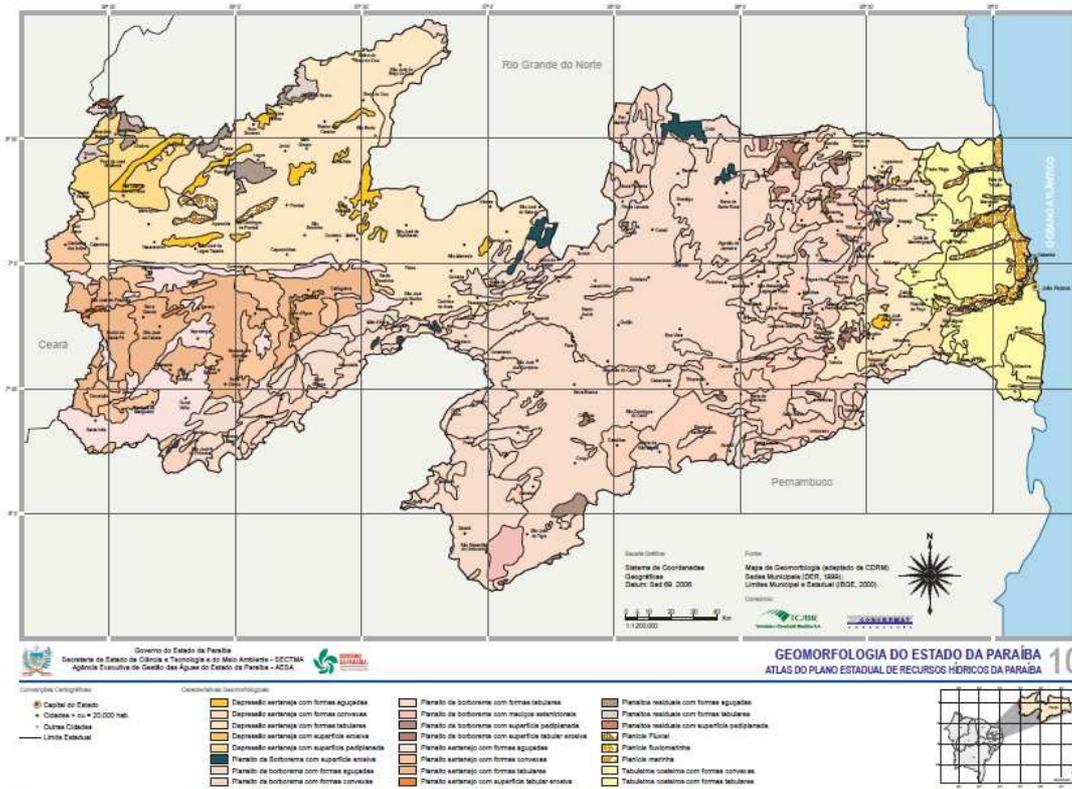
Segundo a classificação de Aroldo de Azevedo e de Aziz Ab'Saber, a história do planeta encontra-se dividida em eras geológicas, períodos, épocas e idades. No Brasil, as eras geológicas ocorreram na seguinte escala crescente: Proterozóica, Paleozóica, Mesozóica e Cenozóica, tendo a crosta terrestre como base da estrutura geológica da Terra, resultando assim em várias rochas que compõem esta estrutura e distinguem-se conforme a origem (Ross, 2001):

- Rochas Magmáticas (Rochas ígneas ou cristalinas): magma solidificado, material encontrado no interior do globo terrestre. Podem ser plutônicas (ou intrusivas, ou abissais), solidificadas no interior da crosta, e vulcânicas (ou extrusivas, ou efusivas), consolidadas na superfície.
- Rochas Sedimentares: formadas pela deposição de detritos de outras rochas, pelo acúmulo de detritos orgânicos, ou pelo acúmulo de precipitados químicos.
- Rochas Metamórficas: formadas em decorrência de transformações sofridas por outras rochas, devido às novas condições de temperatura e pressão.

A geomorfologia brasileira conheceu novos cenários a partir do final dos anos 60 e início dos anos 70, incorporando conceitos da Teoria Geral do Sistema e aplicando idéias relativas ao equilíbrio dinâmico e sendo formado predominantemente por planaltos (58,5%), seguidos das planícies ou terras baixas conhecidas como platôs (41%) (Portal São Francisco).

No Estado da Paraíba, a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado – AESA (2011)– concluiu que o relevo paraibano se apresenta de forma bastante diversificada, constituindo-se por formas de relevo diferentes que foram formadas por diferentes processos, atuando sob climas distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas. Como pode ser observada na Figura 3, a geomorfologia da Paraíba é

dividida em dois grupos compreendidos pelos tipos climáticos mais significativos do Estado: úmido, sub-úmido e semi-árido.



**Figura 3:** Mapa geomorfológico do Estado da Paraíba (Fonte: AESA – Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba).

De acordo com AESA (2011) a classificação da geomorfologia da Paraíba compreende:

- Setor Oriental Úmido e Subúmido;
- Setor Ocidental Sub-úmido e Semiárido.

### 2.3 Análise de Bacias Hidrográficas e Morfométricas

A análise de bacias hidrográficas e a geomorfologia estão sempre se complementando no que cerne as características físicas das bacias. De acordo com Christofolletti (1980) os cursos d'água constituem processo morfogenético dos mais ativos no modelamento ou seja esculturação da paisagem terrestre. São diversos fatores que influenciam na análise de bacias hidrográficas, entre eles os padrões de drenagem, hierarquia fluvial, análise linear, areal, hipsométrica e de declividade (Christofolletti, 1980).

Atualmente, profissionais da geomorfologia e da hidrologia têm tido como objetivo alvo a relação entre a hidrologia das bacias e os fatores geomorfológicos. A predição acurada do fluxo do canal para determinadas condições de precipitação é difícil de alcançar devido à complexidade de fatores (clima, vegetação, características dos solos, topografia) que determinam o escoamento superficial. Desde o início do século passado, alguns estudiosos têm feito aplicações e pesquisas relacionadas aos estudos quantitativos da influência das características morfométricas das bacias na descarga hídrica datam desde o início do século passado. Sherman (1932) mostrou que duas bacias com diferentes formas e gradientes possuíam diferentes hidrogramas unitários, embora não quantificando essa relação. Potter (1953) e posteriormente Morisawa (1962), utilizaram variáveis morfométricas numa regressão múltipla com o pico de vazão. Jarboe & Haan (1974) utilizaram elementos físico-geográficos como solos, geologia e morfometria para prever o comportamento de curvas de vazão em bacias hidrográficas não instrumentalizadas.

Variáveis como área da bacia, gradiente do canal principal e altitude média da bacia foram utilizadas por Wandle Junior (1983) na estimativa de picos de vazão em pequenas bacias rurais.

Para o desenvolvimento de uma análise morfométrica fluvial, se faz necessário o conhecimento de alguns índices e parâmetros com base em vários autores como Horton (1945), Freitas (1952), Muller (1953), Schumm (1956 e 1963) e Christofolletti (1969), que calcularam como adequados para a elucidação de natureza geológica para a rede de drenagem, principalmente a litologia e a estrutura. Desta forma, foram calculados índices e valores que forneceram características relativas à forma da bacia e aos componentes da rede hidrográfica, como pode ser visto nas Tabelas 2 e 3. Os parâmetros combinados, mostrados na Tabela 4, também são utilizados para a caracterização morfométrica fluvial, no sentido da elucidação da tendência a erosividade na bacia.

**Tabela 2** – Definições de parâmetros morfométricos para quantificação da forma da bacia. Fonte Adaptada: (Schumm, 1956; Freitas,1952; Horton, 1945)

| ITEM                        | EQUAÇÃO                   | DEFINIÇÃO  | SIGNIFICADO  |
|-----------------------------|---------------------------|--|--|
| Relação de Relevo (Rr)      | $Rr = \frac{\Delta a}{L}$ | $\Delta a$ – amplitude altimétrica<br>L – comprimento do canal principal | Estabelece a relação entre a diferença entre a altitude máxima e a mínima na bacia com o comprimento total do canal principal (Schumm 1956).   |
| Densidade hidrográfica (Dh) | $Dh = \frac{n}{AL}$       | n - número de canais<br>A - área total da bacia                          | Expressa o número de canais existentes em cada quilômetro quadrado da bacia hidrográfica, indicando o potencial hídrico da região (Freitas 1952).  |
| Densidade de drenagem (Dd)  | $Dd = \frac{C}{A}$        | C - comprimento total dos canais<br>A - área total da bacia              | Esta variável se relaciona diretamente com os processos climáticos atuantes na área estudada, os quais influenciam o fornecimento e transporte de material detrítico ou indicam o grau de manipulação antrópica (Horton 1945). |

**Tabela 3** – Definições de parâmetros morfométricos para quantificação dos componentes da rede hidrográfica. Fonte Adaptada: (Schumm, 1956; Horton 1945)

| ITEM                            | EQUAÇÃO                  | DEFINIÇÃO   | SIGNIFICADO   |
|---------------------------------|--------------------------|---|---|
| Coefficiente de manutenção (Cm) | $Cm = \frac{1}{Dd} 1000$ | Dd – densidade de drenagem  | Fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (Schumm 1956).  |
| Gradiente de canais (Gc)        | $Gc = a_{max}/L(\%)$     | $a_{max}$ – altitude máxima<br>L - comprimento do canal principal | É a relação entre a cota máxima e o comprimento do canal principal expresso em porcentagem. A sua finalidade é indicar a declividade dos cursos d'água (Horton 1945). |

**Tabela 4** – Definições de parâmetros combinados. (Fonte Adaptada: Schumm, 1956; Horton, 1945).

| ITEM                                   | EQUAÇÃO             | DEFINIÇÃO   | SIGNIFICADO  |
|--|---------------------|---|--|
| Índice de circularidade<br><b>(Ic)</b> | $Ic = \frac{A}{Ac}$ | A - área total da bacia<br><br>Ac - área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia              | Ic = 0,51- escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas.<br><br>Ic > 0,51- bacia circular favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas).<br><br>Ic < 0,51- bacia mais alongada favorecendo o escoamento (Schumm 1956)  |
| Índice de sinuosidade<br><b>(Is)</b>   | $Is = \frac{L}{dV}$ | L - comprimento do canal principal<br><br>dV - distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal | Is @ 1,0 - o canal tende a ser retilíneo.<br><br>Is > 2,0 - canais tortuosos<br><br>Valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais (Horton 1945) |

Atualmente, como o avanço da tecnologia, outras ferramentas também estão sendo utilizados para fazer a introdução ao estudo de caracterização morfométrica de bacias hidrográficas. As tecnologias que têm sido aplicadas a esse tipo de estudo são as geotecnologias, tais como: Sistemas de Informações Geográficas – SIG e técnicas de Sensoriamento Remoto.

## 2.4 Geoprocessamento nos Recursos Hídricos

O geoprocessamento pode ser entendido em um conceito mais abrangente como uma representação de qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados e que

contém pelo menos quatro categorias, envolvidas no tratamento da informação espacial, conforme ilustra a Tabela 5 abaixo.

**Tabela 5-** Técnicas do Geoprocessamento para a obtenção de informações espaciais (Fonte: Adaptada de FatorGIS, 2007).

| <b>Geoprocessamento</b>   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <b>Coleta</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Cartografia</li> <li>•Sensoriamento remoto</li> <li>•Fotografia</li> <li>•Topografia</li> <li>•GPS</li> <li>•Dados alfanuméricos</li> </ul> | <b>Armazenamento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Banco de dados</li> </ul> | <b>Tratamento e análise</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Modelagem de dados</li> <li>•Geoestatística</li> <li>•Aritmética lógica</li> <li>•Análise de redes</li> <li>•Análise topológica</li> <li>•Reclassificação</li> </ul> | <b>Uso Integrado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>•SIG</li> <li>•CADD</li> <li>•etc</li> </ul> |

## 2.5 Sensoriamento Remoto

O ramo das geotecnologias vem se ampliando e se sofisticando cada vez mais, neste âmbito em destaque, nas tecnologias associadas ao geoprocessamento, temos o Sensoriamento remoto.

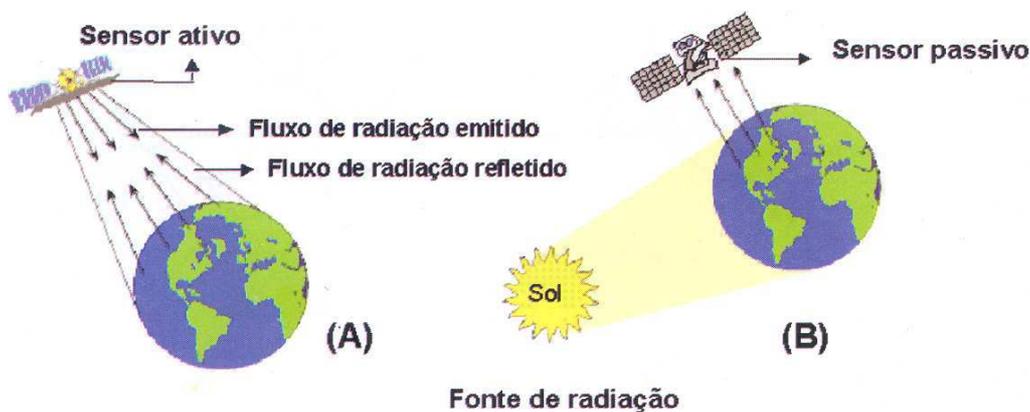
O Sensoriamento remoto pode ser definido, em uma visão geral, de acordo com Rosa (2007), como uma forma de se obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja um contato físico com o mesmo. Neste contexto, é a partir de fontes naturais como o sol e a terra ou de fontes artificiais, que as informações são adquiridas por intermédio da radiação eletromagnética.

Existem atualmente uma constelação de satélites capturando imagens de todo o planeta, cada um com seus sensores e suas especificidades.

Para melhor entendimento e análise mais completa do conceito de Sensoriamento Remoto, algumas informações iniciais são necessárias. Definições apresentadas por alguns autores nacionais e internacionais afirmam que tal técnica se refere a qualquer objeto técnico de imageamento, sem que o sensor esteja em contato direto com o próprio objeto ou cena (Barrett & Curtis, 1976) e também de forma mais completa, NOVO (1989) afirma que o SR consiste na utilização conjunta de modernos

instrumentos (sensores), equipamentos para processamento e transmissão de dados e plataformas (aéreas ou espaciais) para carregar tais instrumentos e equipamentos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações.

A obtenção de dados da superfície terrestre através de equipamentos orbitais (satélites) varia de acordo com o comportamento espectral dos alvos, ou seja, a maneira que a energia emitida pelos alvos é recebida pelos sensores dos equipamentos e vice-versa, diferenciando-os entre sensores passivos e/ou ativos, como pode ser visto na Figura 4.



**Figura 4** - Esquema de um sensor Ativo (A) e Passivo (B).  
Fonte: Moreira, (2003).

No esquema (A), a fonte de radiação é o próprio satélite, que interage direto com o alvo que irá refletir o fluxo de radiação, e no esquema (B), o Sol age como fonte de radiação sobre a superfície, fazendo com que assim, a superfície reflita o fluxo recebido do Sol. Cada sensor possui características específicas de domínio de ação, que são a resolução espacial, a resolução espectral, a resolução temporal e campo de força.

A resolução espacial define qual a área de abrangência, a nível de escala métrica, e atuam principalmente no estudo do padrão de organização (ordenado ou aleatório) e das variações no espaço dos padrões (retilíneo, curvilíneo, com forma geométrica ou não, etc.). Para níveis de intervalos de tempo entre um imageamento e outro tem-se a resolução temporal, que contribui para o acompanhamento sequencial das mudanças geográficas que caracterizam a organização espacial dos recursos terrestres e sua dinâmica, como agricultura, urbanização, estudos de processo de erosão, entre outros. O domínio espectral, dentre outras grandezas, envolve: reflexão, emissão,

luminescência. A maior parte das pesquisas e aplicações das variações na distribuição da energia eletromagnética refletida e/ou emitida pelas feições da superfície terrestre se concentra neste domínio. O campo de força envolve parâmetros de sensoriamento remoto utilizados pela Geofísica.

Além de satélites, o sensoriamento remoto conta com um sistema de RADAR (*Radio Detection And Ranging*).

## **2.6 Sistema RADAR**

O RADAR consiste em um sistema que opera na faixa de frequência de microondas e foram utilizados inicialmente para fins militares durante a Segunda Guerra Mundial e posteriormente para fins civis a partir da década de 70.

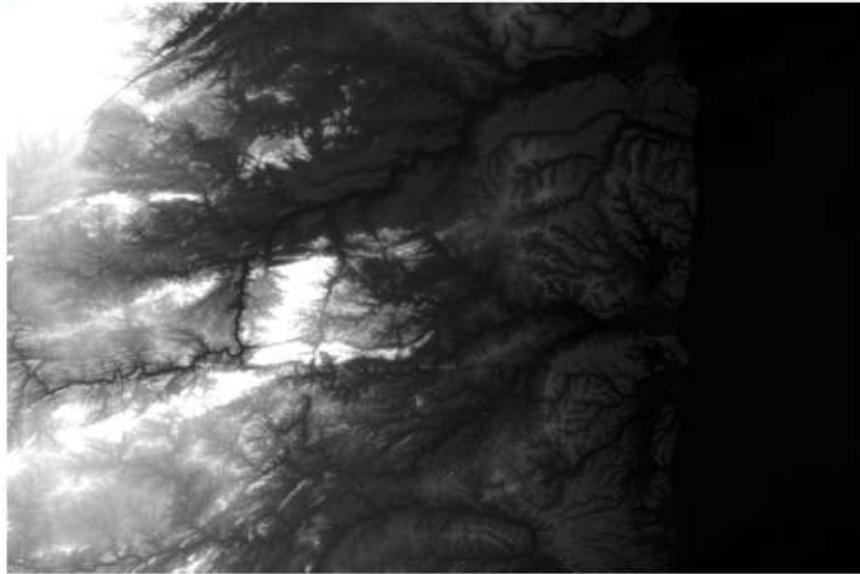
Esse tipo de sensor é bastante utilizado devido a região espectral de operação, que permite a alta transmissão das ondas eletromagnéticas na atmosfera independente da iluminação solar, mesmo quando a atmosfera se apresenta nublada ou durante precipitações, podendo assim gerar imagens sob as condições mais adversas.

O sistema de RADAR é composto basicamente por Sistema de Transmissão (oscilador, modulador, transmissor e antena) e Sistema de recepção (antena, comutador, receptor e visor), e podem ser utilizados em várias áreas, como: Forças armadas, meteorologia, trânsito, agricultura, entre outros.

### **2.6.1 SRTM - Shuttle Radar Topography Mission**

Um RADAR bastante utilizado para fins geográficos é a SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), desenvolvido pela NASA e que voou a bordo do ônibus espacial Endeavour durante 11 dias em uma missão espacial em Fevereiro do ano 2000 que consistiu em obter o modelo digital do terreno da Terra através de dados de altimetria estereoscópica, abrangendo a zona entre 56 °S e 60 °N, de modo a gerar uma base completa de cartas topográficas digitais da superfície terrestre de alta resolução.

No Brasil, os dados SRTM podem ser facilmente obtidos no *site* da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e a partir delas podem ser extraídas variadas informações da superfície terrestre, como curvas de nível, hidrografia, entre outros. A Figura 5 mostra um produto SRTM, adquirido através do *site* da Embrapa para a região do litoral paraibano.



**Figura 5:** produto SRTM do litoral paraibano (Fonte: Embrapa)

Esses produtos podem ser manipulados em *softwares* de SIG (Sistema de Informações Geográficas), podendo assim, extrair as informações necessárias.

## 2.7 Sistemas de Informações Geográficas

Um Sistema de Informação Geográfica é um sistema de informação baseado em ambiente computacional, quem em sua potencialidade permite obter, armazenar, manipular, consultar, analisar e apresentar dados geograficamente referenciados (Câmara Neto, 1995) e que traz enormes benefícios devido à sua capacidade de manipular a informação espacial de forma precisa, rápida e sofisticada (Goodchild, 1993).

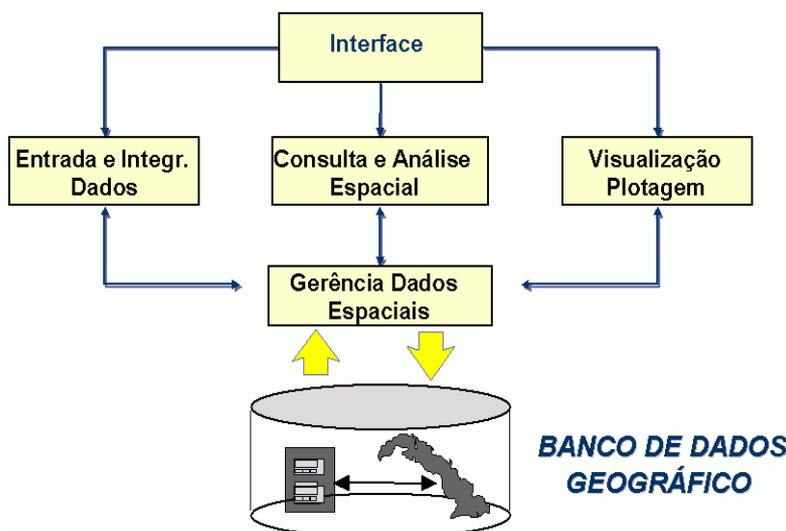
Câmara & Queiroz (2001, p.3-1) definem SIG da seguinte maneira:

*O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-*

*relacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum – a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.*

A variedade de dados que podem ser aplicados ao SIG é bastante expansiva, ou seja, o SIG abrange dados geográficos alfanuméricos, vetoriais e a integralização desses dois tipos de dados, podendo assim gerar mapas e/ou cartas topográficas com valores atribuídos aos seus objetos. Desta forma, selecionando um objeto pode-se saber o valor dos seus atributos e, inversamente, selecionando um registro da base de dados é possível saber a sua localização e apontá-la num mapa.

A Figura 6 mostra a esquematização tradicional do funcionamento integrado de um SIG.



**Figura 6** - Esquema Geral dos módulos de um SIG (Disponível em [http://www.dpi.inpe.br/~carlos/Academicos/Cursos/Pdi/pdi\\_spring.html](http://www.dpi.inpe.br/~carlos/Academicos/Cursos/Pdi/pdi_spring.html), acesso em Junho de 2011).

O SIG, por ser uma ferramenta ampla, pode ser aplicado em várias áreas além de meio ambiente, onde se destacam as áreas de: Administração Municipal, Estadual e Federal, concessionárias de águas, telefonia e energia, saúde pública, planejamento de vendas, distribuição, transportes, projeto e administração de polidutos e roteamento de veículos.

Existem dois tipos de licença de um SIG, o proprietário (Ex. ArcGis<sup>®</sup>, GeoMedia<sup>®</sup>), que são *softwares* que tem custo comercial, o usuário não tem acesso ao seu código fonte, e normalmente são protegidos por algum tipo de patente. Seu uso, redistribuição ou modificação é proibido, ou requer que o usuário peça permissão, ou é restrito de tal forma que não possa efetivamente fazê-lo livremente, e o tipo de SIG livre (Ex. gvSIG), onde o usuário tem acesso ao código fonte do *software*, podendo modificá-lo e não tem custo, ou seja, ele é gratuito.

## **2.8 Uso de Sig na Caracterização de Bacias Hidrográficas**

Nos anos 90, as aplicações de sistemas de informação geográfica (SIG) voltados para estudos hidrológicos, como a análise de bacias hidrográficas, se desenvolveram com maior proporção, tanto pela aplicação de modelos já existentes como na evolução de novos modelos, ou ainda na fundamentação metodológica do uso de SIG.

Algumas pesquisas realizadas por alguns estudiosos mostram a evidente eficácia dessa aplicação. Ferreira (1996) aplicou a técnica de SIG baseada na hierarquização de bacias hidrográficas e mostrou resultados obtidos, tendo como consequência à regionalização das bacias. Jenson (1992) usou métodos digitais para delimitar os divisores de bacias hidrográficas para um levantamento topográfico e fluxo de sedimentos geoquímicos. Comparou os resultados de declividade derivados do modelo digital de terreno (MDT) de várias resoluções. Além disso, verificou que o MDT pode ser usado para derivar diversas informações sobre a morfologia da superfície, através de análises *raster* para cálculos de declividade e proteção de relevo.

Castro (1995), de forma comparativa, analisou as informações morfométricas obtidas por procedimentos convencionais e por procedimentos digitais, dando destaque para a declividade e orientação de vertentes. Utilizou a cartografia sistemática para a aplicação convencional e o SIG para procedimentos digitais. Os resultados obtidos a partir de tais métodos mostraram que ambos apresentaram bom nível de precisão, porém o método digital mostrou-se mais rápido e com maior riqueza de detalhamento das informações nas escalas trabalhadas.

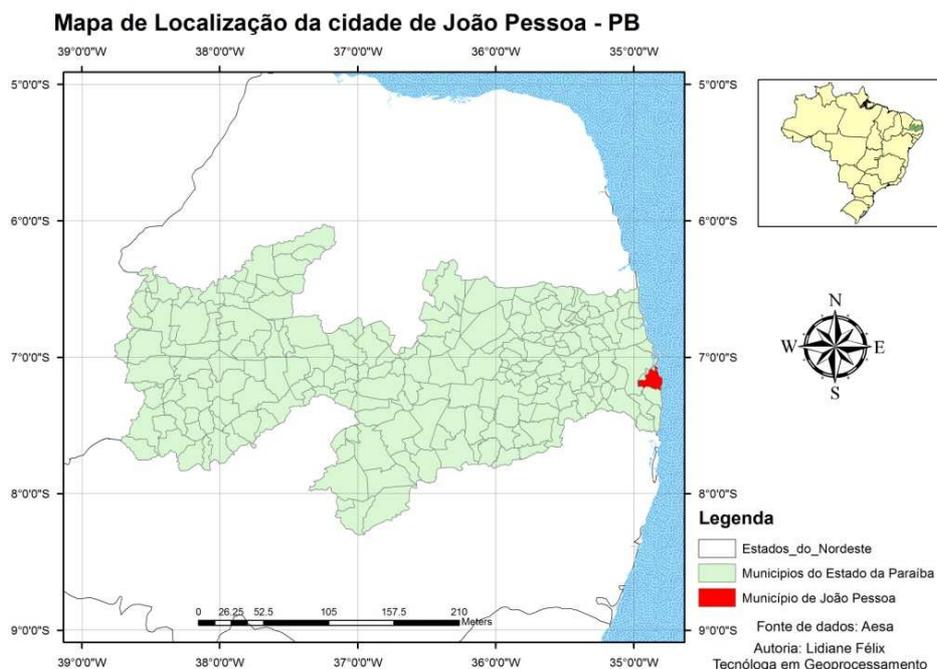
Rowbotham e Dudycha (1998) também fizeram uso do modelo SIG copiando os dados primários, tanto de mapas já existentes como fotografias aéreas, construindo um modelo regional de declividade com estabilidade.

Com base em todos esses autores e suas respectivas pesquisas, pode-se afirmar que os sistemas de informação geográfica garantem a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos através dessa técnica.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

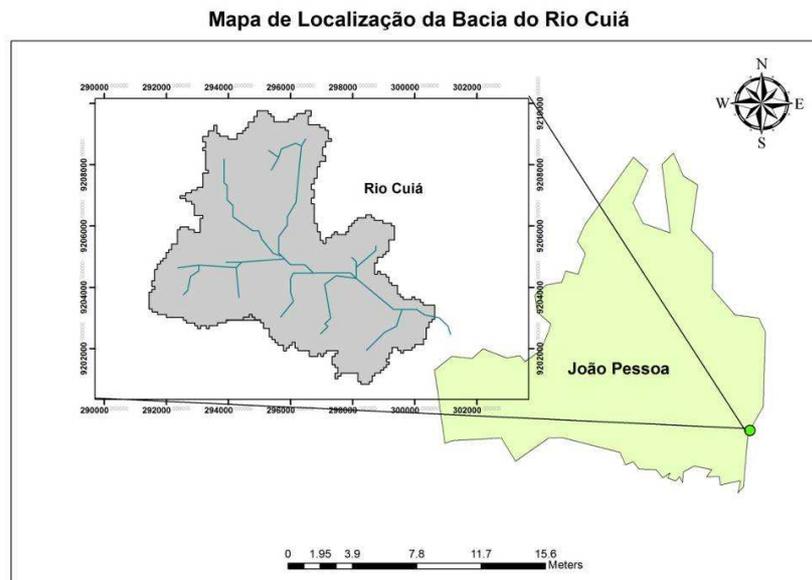
#### 3.1 Área de Estudo

O município de João Pessoa é capital do Estado da Paraíba. Terceira cidade mais antiga do Brasil, fundada em 05 de agosto de 1585, ainda no período colonial, esta inserida na área geográfica de abrangência do litoral brasileiro, podendo ser localizado no retângulo envolvente que compreende as seguintes coordenadas: 34° 58' 30"O, 7°14' 37.50"S, para o canto inferior esquerdo; e 34°47' 28,40"O, 7°3' 17,50"S, para o canto superior direito, como mostra a Figura , limitando-se ao norte com o município de Cabedelo; ao Sul com o município do Conde e pelo rio Gramame; a leste com o Oceano Atlântico; e a oeste com os municípios de Bayeux pelo rio Sanhauá e Santa Rita pelos rios Mumbaba e Paraíba, possuindo oficialmente segundo a PMJP (Prefeitura Municipal de João Pessoa/PB), 64 bairros.



**Figura 7** - Localização da cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba.

Conforme ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a bacia hidrográfica do rio Cuiá está localizada na cidade de João Pessoa, abrangendo 21 bairros, com aproximadamente 40 km<sup>2</sup> e com uma altimetria em torno de 70 m. A confecção do Mapa de localização se deu a partir de dados brutos, os *shapes*, extraídos no site da AESA – Agência Executiva de Águas na Paraíba e Manipuladas no *software* de SIG, o ArcGIS.

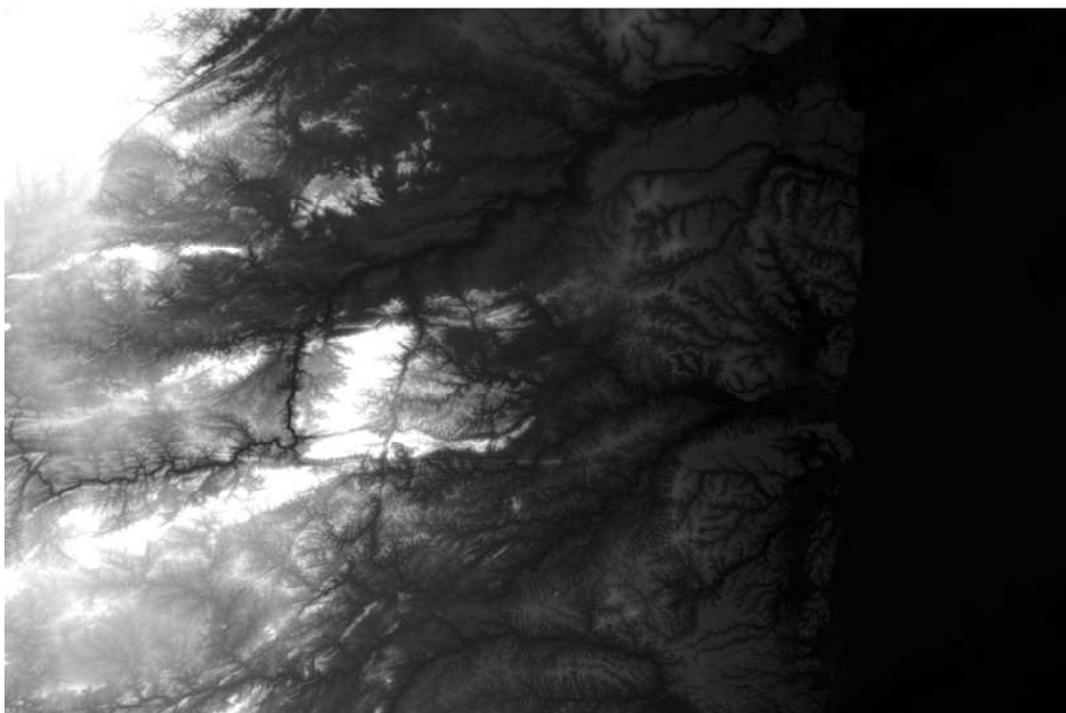


**Figura 8-** Localização da bacia do rio Cuiá em João Pessoa, no estado da Paraíba.

Autoria: Lidiane Félix

### 3.2 Métodos

A imagem de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) utilizada no decorrer da pesquisa foi extraída do site da Embrapa: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>, onde estes estão disponibilizados gratuitamente, foi determinando o estado brasileiro de interesse na obtenção das imagens, e o quadrante dentro do estado onde está inserida a área de estudo, neste caso se refere à carta SB-25-Y-C, em formato tif, que pode ser visto na Figura 9.



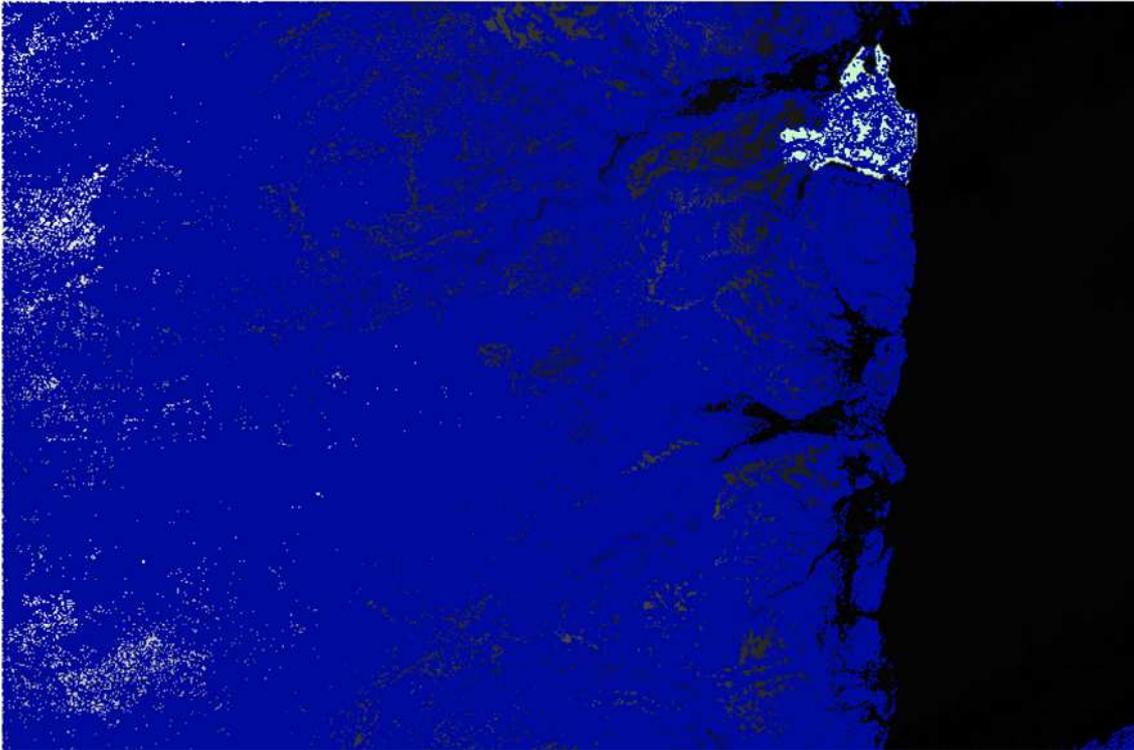
**Figura 9** – Imagem SRTM extraída do site do Embrapa relevo.

Após a escolha e o *download* do arquivo, foram realizados os procedimentos no *software* Arcgis 9.3.1, versão KitLab, que foi escolhido para a manipulação dos dados devido a sua plataforma de ferramentas que possibilita a edição e leitura de dados em vários formatos e sua capacidade de gerar produtos com maior eficiência.

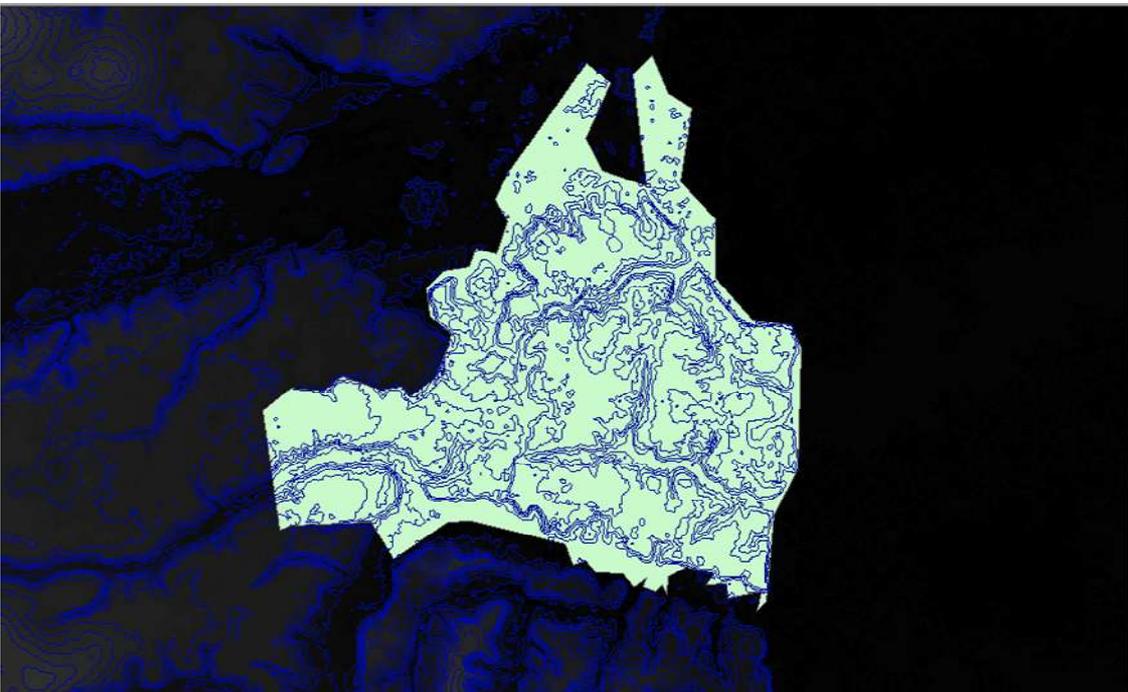
Na imagem SRTM foram extraídas as curvas de nível para o reconhecimento do relevo da região através de etapas que foram apresentadas na Figura 10 e tem como produto obtido a Figura 11.



**Figura 10** – Etapas para aquisição das curvas de nível



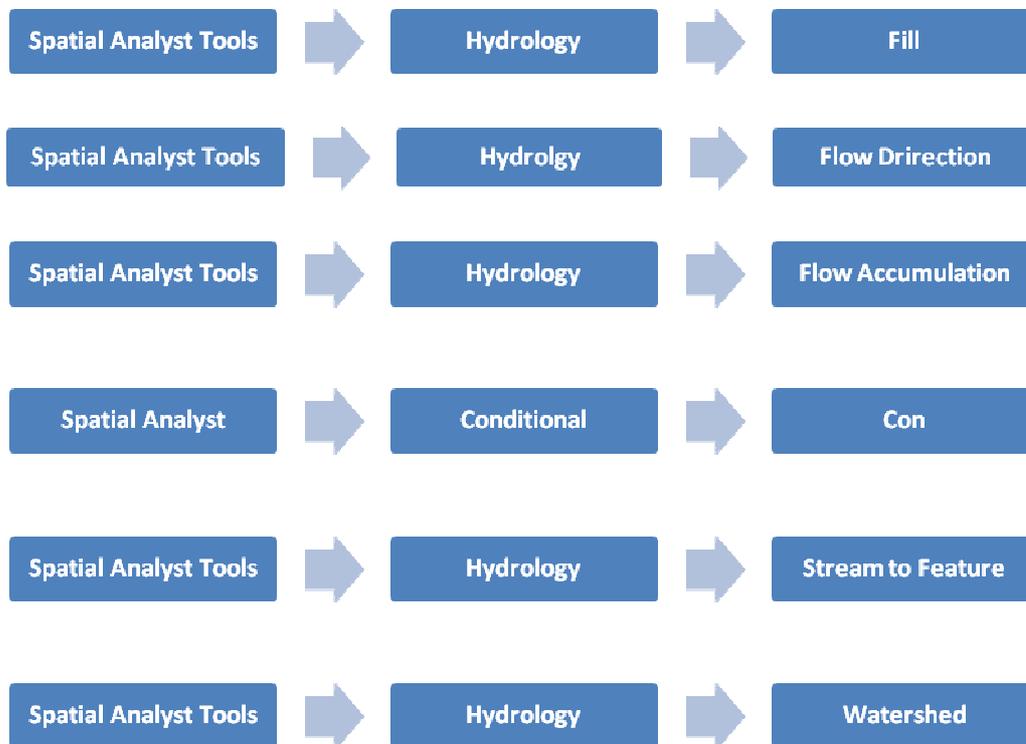
**Figura 11** – Curvas de nível com intervalos de 10 metros.



**Figura 12** – Zom da área de estudo.

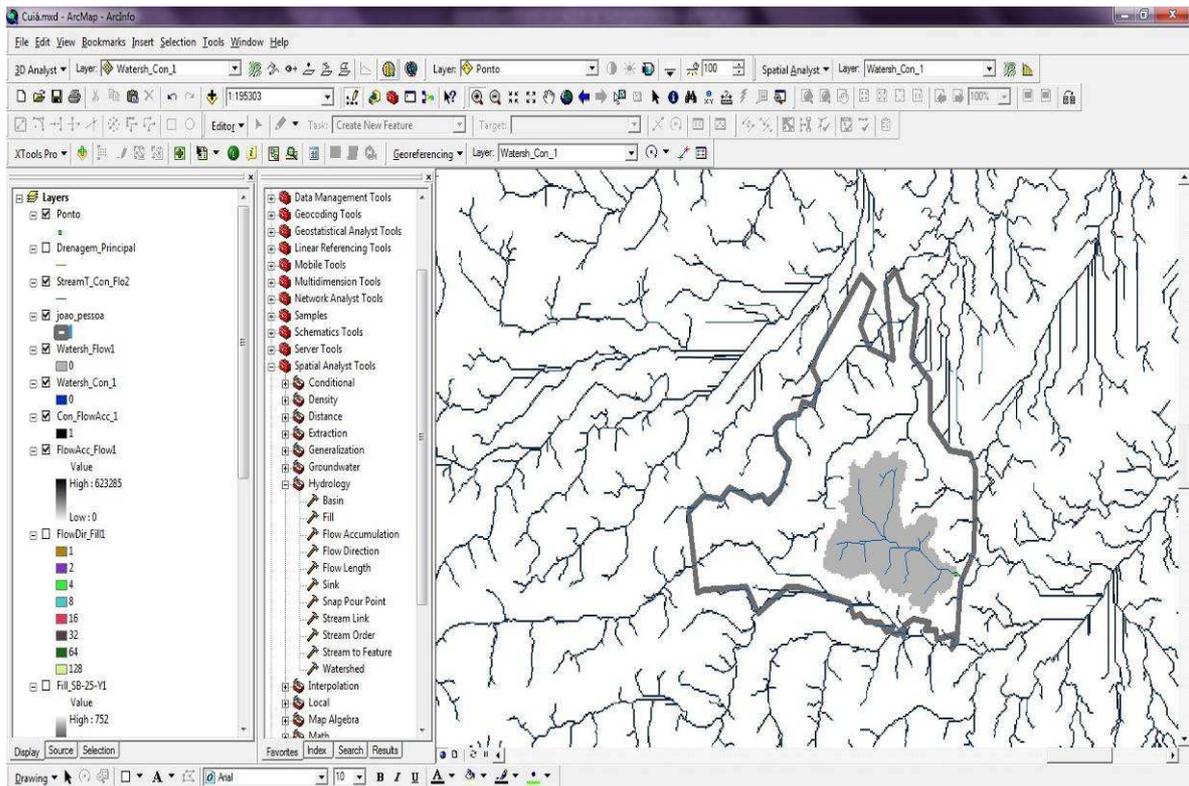
As Figuras 11 e 12 apresentam o produto obtido que subsidia as primeiras informações de relevo, onde a Figura 12 representa uma aproximação da área de estudo e seu contorno.

A rede de drenagem e a delimitação de sua área também foi extraída a partir da imagem SRTM, após passar por uma sequência de etapas, conforme fluxograma de etapas 2 e apresentado na figura 13 o resultado preliminar dos comandos executados.



**Figura 13** - Sequência de comandos executados no *software* de SIG.

No qual o comando *Stream to Feature* fornecerá a extração da rede de drenagem e o comando *Watershed* a área de entorno da bacia em questão.



**Figura 14** – Obtenção da rede de drenagem e delimitação da bacia do Rio Cuiá.

A extração da rede de drenagem e a delimitação da área de entorno é o primeiro passo para a realização da análise de uma bacia. Foram abordados questões relacionadas ao padrão de drenagem, hierarquia fluvial, segundo o método de Strahler, análise linear e areal da bacia do rio Cuiá.

### 3.3 Análise Linear

A primeira etapa inerente a realização da análise linear é o coeficiente de bifurcação, sendo esta uma relação entre todos os segmentos de uma ordem e a soma de todos os segmentos da ordem superior. Pode ser melhor compreendido através da fórmula 1.

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Onde  $N_u$  é a soma de segmentos de certa ordem e  $N_{u+1}$  é a soma dos segmentos da ordem superior.

A segunda etapa refere se à relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem. Para a obtenção do segmento médio dos canais fluviais, o  $L_m$ , utiliza se a formula 2.

$$L_m = \frac{L_u}{N_u}$$

Onde  $L_u$  é o somatório dos comprimentos dos canais de cada ordem e  $N_u$  é o número de segmentos encontrados na mesma ordem. Este resultado subsidia a obtenção da relação entre os comprimentos médios dos canais, o  $RL_m$ , e pode ser obtido segundo equação 3.

$$RL_m = \frac{Lm_u}{Lm_{u-1}}$$

A próxima etapa consiste na relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação,  $R_{ib}$ , que é de grande importância pois segundo Christofletti (1980), se a relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação apresentarem mesmo valor, o tamanho médio dos canais crescerá ou não na mesma proporção, o que não é muito comum. É mais freqüente estes índices apresentarem valores diferentes, o que levará o tamanho dos canais a um aumento ou redução de forma progressiva de acordo com a elevação da ordem dos canais. Sendo assim a relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação é obtido seguindo a equação 4.

$$R_{ib} = \frac{R_{lm}}{R_b}$$

Sendo o  $R_{lm}$  o índice do comprimento médio entre duas ordens subseqüentes e o  $R_b$  o coeficiente de bifurcação entre as mesmas ordens utilizadas, as subseqüentes.

Seguindo a sequência de etapas, a obtenção do comprimento médio do rio principal pode ser determinado seguindo alguns critérios, que entre eles foi determinado pelo critério de Horton, que estabelece o comprimento de acordo com o canal de ordem mais elevada, visto que o comprimento médio do rio principal pode ser entendido como a distância entre a desembocadura até uma determinada nascente.

A etapa 5 apresenta a extensão do percurso superficial,  $E_{ps}$  e consiste na distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente. A equação 5 descreve como sendo:

$$E_{ps} = \frac{1}{2 Dd}$$

Onde  $Dd$  é o valor de densidade de drenagem.

### 3.4 Análise Areal das Bacias Hidrográficas

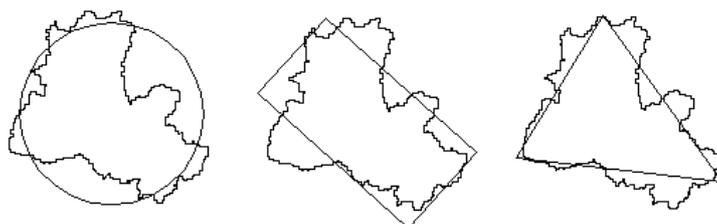
Na análise areal utiliza se critérios planimétricos e medições lineares, onde o primeiro item obtido é a área da bacia, obtido a partir de técnicas de geoprocessamento e de um *software* de SIG. Já o comprimento da bacia,  $L$ , apesar da diversidade de definições em sua obtenção foi extraído utilizando ferramentas de um SIG e o método proposto que descreve como sendo à distância em linha reta entre a foz e o ponto mais alto situado ao longo do perímetro.

Para a obtenção da Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia, se obtém o  $L$ , que consiste em ser o comprimento do rio principal e é dado pela equação 6.

$$L = 1.5 \times A^{0.6}$$

Lembrando que  $L$  é apresentado em Km e  $A$  é a área da bacia em  $Km^2$ .

A obtenção da forma da bacia pode ser calculado seguindo vários métodos, entre eles o de David R. Lee e G. Tomas que de acordo com Christofolletti (1980), estabelece que se trace figuras geométricas como círculo, triângulo e retângulo, após a delimitação da área da bacia, de modo que estas figuras se aproximem ao maximo da figura da área da bacia, como pode ser visualizado na Figura 15.



**Figura 15** – Visualização do processo de obtenção da forma da bacia hidrográfica.

A fórmula empregada neste processo envolve  $I_c$ , que é o índice de circularidade, a área da bacia e o  $A_c$ , que é a área do círculo do perímetro igual ao da bacia estudada e pode ser melhor compreendido através da equação 7.

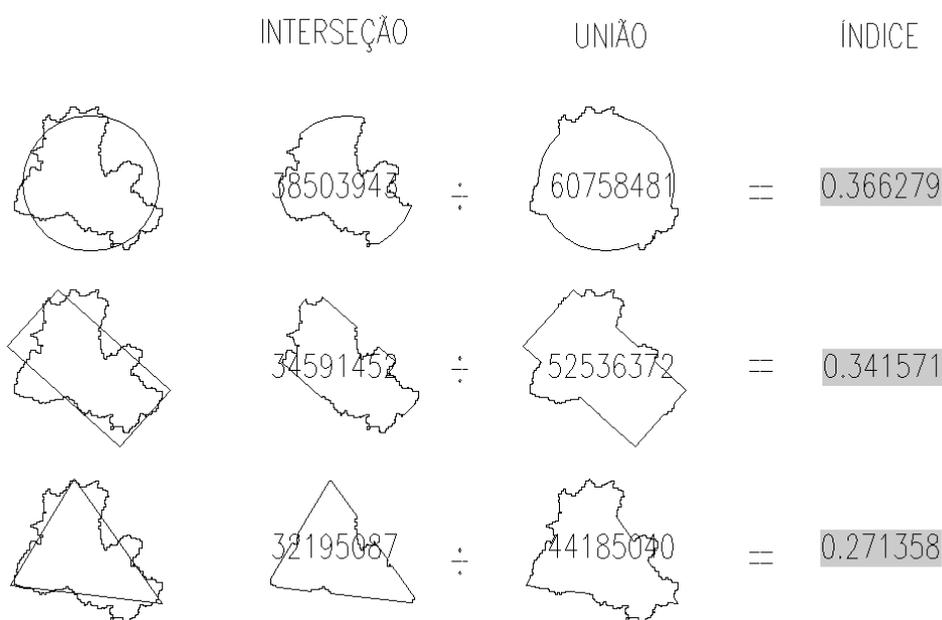
$$I_c = \frac{A}{A_c}$$

Após se traçar as formas geométricas é necessário realizar o cálculo do índice de forma, que é dada pela equação 8 e que seu resultado apresentará a forma da bacia, pois quanto menos o índice, mais próximo será da figura geométrica.

$$I_f = 1 - \frac{(\text{área } K \cap L)}{(\text{área } K \cup L)}$$

Onde  $I_f$  é o índice de forma,  $K$  é a área da bacia e  $L$  é a área da figura geométrica.

Seguindo a metodologia apresentada no índice de forma, temos a análise das figuras geométricas e suas respectivas interseções e uniões apresentada na Figura 16.



**Figura 16** – Visualização do processo de obtenção da forma da bacia hidrográfica e seus respectivos índices.

Outros autores como Cardoso AT all (2006) apresentam outros índices para melhor detalhar as formas de uma bacia e extrair informações de grande relevância

como a capacidade de enchentes em determinado local, seguindo métodos que utilizam variáveis com outros aspectos, entre eles estão o índice de compacidade, o  $K_c$ , que é o  $K_c$  que relaciona a área da bacia com um círculo e é apresentado na equação 9 e o fator de forma F que pode ser visualizado na equação 10 .

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Sendo P o perímetro em metros e A a área de drenagem em metros quadrados.

Já o fator de forma F é apresentado por:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Onde A é a área de drenagem (m<sup>2</sup>) e L o comprimento do eixo da bacia (m).

A etapa seguinte tem finalidade de comparar a quantidade de cursos de água em uma área, cuja variável recebe o nome de Densidade de rios,  $D_r$ , e pode ser obtido de acordo com a equação 8.

$$D_r = \frac{N}{A}$$

No qual N é o número total dos cursos de água e A é a área da bacia hidrográfica. Para a obtenção da densidade de drenagem, se correlaciona a soma dos comprimentos dos canais de escoamento com a área da bacia em questão, e que pode ser visto conforme equação 9.

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

Sendo  $D_d$  a densidade de drenagem,  $L_t$  o comprimento total dos canais e A é a área da bacia.

Um coeficiente que também apresenta uma grande importância para a caracterização de um sistema de drenagem é o coeficiente de manutenção, o  $C_m$ , que segundo Christofletti apud Schumm (1980) tem finalidade de apresentar área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento e é dada por:

$$Cm = \frac{1}{Dd} \times 1000$$

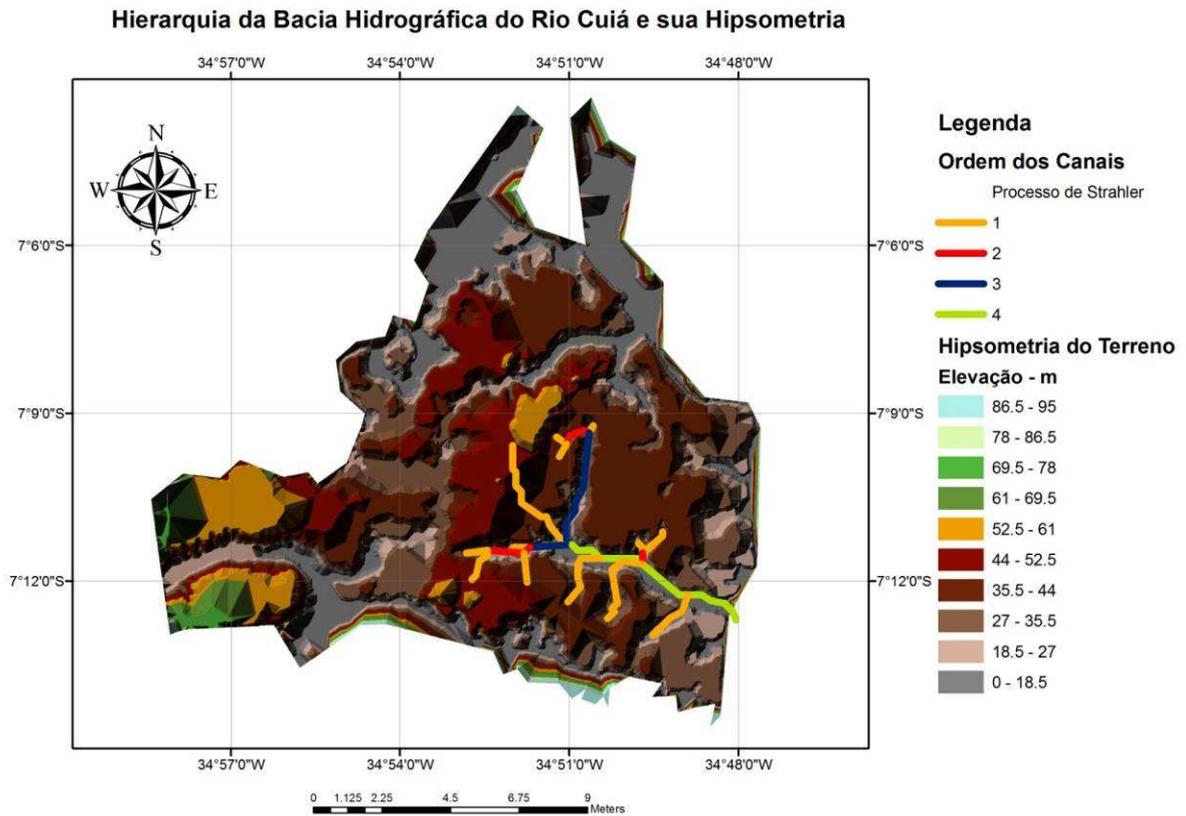
Sendo Dd a densidade de drenagem.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de bacias hidrográficas leva em consideração vários aspectos métricos, de disposição espacial e de acomodação em relação ao relevo. De posse da Figura 8 podemos extrair vários aspectos iniciais de análise da bacia do rio Cuiá.

Levando em consideração os aspectos de classificação de escoamento global a bacia em questão se enquadra como exorreicas, pois de acordo com Christofolletti (1980) quando o escoamento das águas se faz de modo contínuo até o mar ou oceano se enquadra como exorreicas. Avaliando de acordo com a disposição espacial a bacia do rio Cuiá se apresenta como dentrítica, pois seu formato se assemelha as formas de uma árvore.

A Figura 17 apresenta a confecção do mapa hipsométrico a partir dos dados de relevo obtidos de acordo com a figura 11 e anexado a ele em forma de cores a ordem de canais pelo método de Strahler.



**Figura 17** - .Mapa hipsométrico com ordenamento de canais segundo Strahler.

A Tabela 6 apresenta de acordo com Straller o ordenamento de canais, esmiuçando a quantidade de canais de cada ordem, ou seja, a hierarquia fluvial.

**Tabela 6-** Hierarquia fluvial de acordo com Straller

| <b>Ordem</b> | <b>N ° de segmentos</b> |
|--------------|-------------------------|
| <b>1</b>     | 13                      |
| <b>2</b>     | 4                       |
| <b>3</b>     | 2                       |
| <b>4</b>     | 1                       |
| <b>Total</b> | 20                      |

De posse da Figura 17 e a Tabela 6 contendo os segmentos, tem se uma bacia de ordem 4, que é considerada uma microbacia, possuindo em sua totalidade apenas 20 canais.

A hierarquização é de grande valia, pois é a partir da contagem do número de canais em cada ordem e seus respectivos comprimentos que se dá os demais cálculos morfométricos na análise linear e areal. Vale salientar que usualmente os resultados obtidos servem como subsídio para uma nova etapa no estudo.

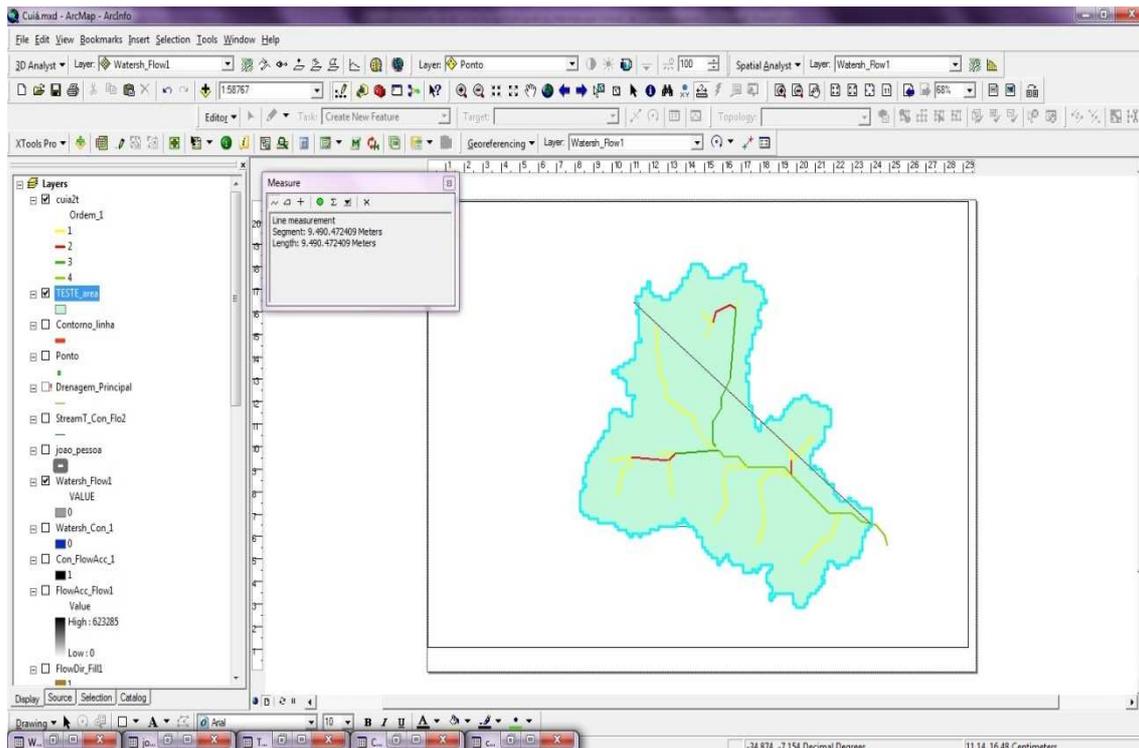
A Tabela 7 apresenta os demais resultados referentes à análise linear da bacia do rio Cuiá, onde as medições foram realizadas de acordo com as linhas de escoamento.

**Tabela 7** – Resultados de alguns parâmetros da análise linear.

| <b>Ordem</b> | <b>N ° de segmentos</b> | <b>Lu (m)</b> | <b>Rb</b> | <b>Comp. médio – Lm (Km)</b> | <b>RLm</b> | <b>Rlb</b> |
|--------------|-------------------------|---------------|-----------|------------------------------|------------|------------|
| <b>1</b>     | 13                      | 17040         |           | 1.34                         |            |            |
| <b>2</b>     | 4                       | 2820          | 4.33      | 0.71                         | 0.53       | 0.12       |
| <b>3</b>     | 2                       | 5190          | 2         | 2.60                         | 3.66       | 1.83       |
| <b>4</b>     | 1                       | 7590          | 2         | 7.59                         | 2.92       | 1.46       |
| <b>Total</b> | 20                      | 32640         |           |                              |            |            |

O Lu representa o comprimento do número total de segmentos de cada ordem, sendo estas informações extraídas diretamente do Sig. A relação de bifurcação, o Rb, segue a sequência de resultados obtidos entre os canais de 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> ordem, de 2<sup>o</sup> para 3<sup>o</sup> e de 3<sup>o</sup> para 4<sup>o</sup> ordem, e seus valores determinam segundo Silva et al. (2003), se a área da bacia apresentam áreas amorreadas e com bacias de drenagem dissecadas, que é o que ocorre neste caso com o índice de bifurcação com valor de 4.33 e nas áreas com valor 2, apresentam um relevo mais suavizado, ou seja áreas colinosas.

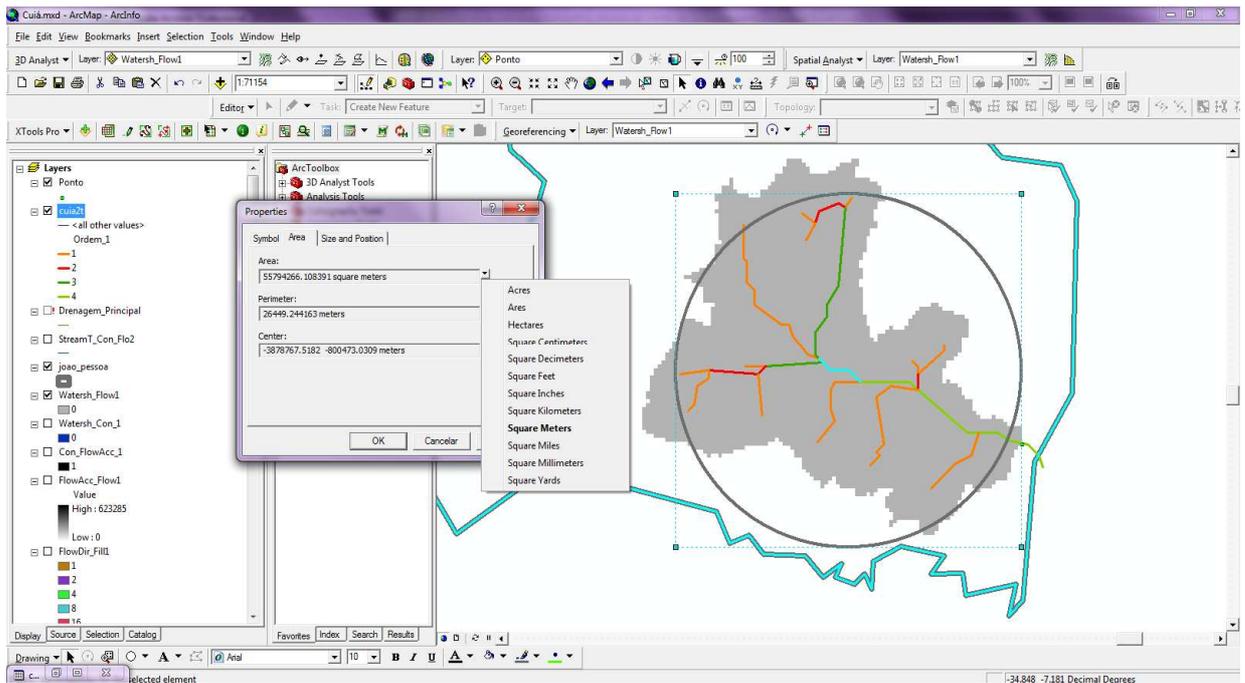
Na obtenção do comprimento principal foi utilizado o critério de Horton, onde o comprimento é resultante de uma medida que estende se ao longo do curso de água desde a desembocadura até determinada nascente e pode ser visualizado na Figura 18 o processo semi automático de obtenção através do *software* de Sig, apresentando 9490,47 metros.



**Figura 18** – Obtenção do comprimento em linha reta do segmento principal do rio cuja de acordo com Horton.

A forma da bacia foi determinada por índices que relacionam com formas geométricas conhecidas, como o fator forma (F), que relaciona a um retângulo e o coeficiente de compacidade (Kc), que relaciona a um círculo. Conforme afirma Tonello et al (2006), a forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja o tempo necessário para que toda bacia contribua para a sua saída após uma precipitação. Assim, o fator de forma da bacia é de 4,06 e o coeficiente de compacidade é de 1,46, esses valores indicam que a bacia não possui formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo, portanto, a uma bacia alongada.

Analisando o índice de circularidade, a Figura 19 apresenta o modo da aquisição do resultados do índice e sua respectiva e sucinta análise.



**Figura 19** – Análise do índice de circularidade da bacia do rio Cuía.

Onde a parte com um tom cinza representa a área da bacia e contorno representa a área do círculo envolta à bacia.

Conforme cálculo realizado, o  $I_c$  apresentou valor de 0,76, o que indica segundo (Schumm 1956) uma maior probabilidade de processos de inundação ou seja cheias rápidas de acordo com as condições de tempo no local.

Os resultados da análise areal foram obtidos a partir de cálculos e de consultas no software de Sig e podem ser verificadas na Tabela 3 apresentada.

**Tabela 3** – Resultados da análise Areal

| Área da bacia (km <sup>2</sup> ) | Perímetro da bacia (km) | Comprimento da bacia - L (m) | Comp. do rio Princ. (km) | Dr (Rios/Km <sup>2</sup> ) | Dd (Km.Km <sup>2</sup> ) | Fs   | Cm (m)  |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|------|---------|
| 42,43                            | 49,74                   | 9490,47                      | 14,21                    | 0,31                       | 0,77                     | 0,47 | 1298,70 |

A densidade de drenagem, o Dd com valor de 0,47 indica um baixo grau de manipulação antrópica. Já o Cm, o coeficiente de manutenção com um valor de 1298,70

metros indica a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento.

Entre os resultados obtidos vale ressaltar o Dr, pois o dado obtido vai apresentar a capacidade de geração de novos rios, que nesta esfera apresentou o valor de 0,31 rios/km<sup>2</sup>.

## **5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

As características fisiográficas obtidas apresentam de acordo com os dados obtidos que devido as suas dimensões se trata de uma microbacia. Os parâmetros quantitativos em bacias hidrográficas constituem um meio de análise das condições hidrológicas que, associados a outros elementos de sua estrutura, permitem a compreensão das dinâmicas naturais e evolução dos fenômenos decorrentes das intervenções antrópicas e o seu conhecimento auxilia tanto na gestão das bacias hidrográficas, como para os estudiosos da área.

Na obtenção do valor do menor índice de forma foi verificado que a micro bacia do rio Cuiá se assemelha a um triângulo, o que denota a forma da bacia como sendo triangular.

As técnicas de geoprocessamento aplicadas na análise se mostraram bastante eficientes, visto que apresentaram resultados satisfatórios, além de permitir uma análise visual dos dados e mapas com possibilidades de interpretação de relevo, bem como a acomodação do rio e sua análise espacial.

Levando a carência de dados brutos para geração de informação em algumas regiões do Brasil, essa ferramenta utilizada se mostra de grande valia para o auxílio na gestão dos recursos naturais, além da facilidade na aquisição de dados de forma gratuita em sites do governo e demais instituições que dispõe deste serviço.

Para uma melhor confirmação do grau de confiabilidade dos resultados, sugere se obter dados altimétricos do local, seja de cartas topográficas, de aparelhos GPS – Sistema de posicionamento global ou outra fonte de dados mais próximos da superfície analisada para uma possível comparação entre resultados.

## 6 REFERÊNCIAS

AESA, A. E. (s.d.). *Geo Portal AESA*. Acesso em 06 de 05 de 2011, disponível em Geo Portal AESA: <http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/index.php>

Brandão, T. F., & Santos, R. L. ( 25-30 de 04 de 2009). O uso de Imagens SRTM na modelagem de fenômenos hidrológicos (escoamento superficial). **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE. , pp. 4663-4670.

CÂMARA, G. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos. Tese de Doutorado em Computação Aplicada**. São José dos Campos, INPE, 1995.

CÂMARA, G. & QUEIROZ, G. R. de. **Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. Introdução à Ciência da Geoinformação**. Cap. 3. Livro On-Line. Inpe. 2001. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>>. Acesso em: 15/06/2011.

CÂMARA, G.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; MONTEIRO, A. M. V.; 2002. **Análise Espacial de dados Geográficos**, São José dos Campos: INPE.

CASTRO, J. F. M. Análise comparativa entre informações morfométricas obtidas por métodos convencionais e por métodos digitais. **Geografia**. Rio Claro, v.20 n. 2,p.115-133, 1995.

CESCAR, **Coletivo Educador de São Carlos**, Araraquara, Jaboticabal e Região. Estudos sobre Bacias Hidrográficas, 2007. Disponível em <http://www.cdcc.sc.usp.br> Acesso em 30 de Julho de 2010.

**Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. Cap. 4, p. 102-127.

CNRH. Resolução n. 32, de 15 de outubro de 2003. Anexo I. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2003.

Druck, S., Carvalho, M., Câmara, G., & Monteiro. (2004). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Brasília: Embrapa.

EMBRAPA. **Brasil em Relevo**. 2005 - 2006 em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: 30 de junho,2011.

- Ferreira, A. G. (2006). **Meteorologia Prática**. São Paulo: Oficina de Textos.
- FERREIRA, M. C. Regionalização de pequenas bacias hidrográficas a partir de imagens orbitais e sistemas de informação geográfica. **Geociências**. São Paulo, v.15, n.1, p.163-84, 1996.
- FIAN, C. P. **Água de Chuva - O segredo da convivência com o Semi-Árido brasileiro**, Caritas Brasileira. Edições Paulinas. 2001.
- Garcez, L. N., & Alvarez, G. A. (1988). **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blücher LTDA.
- Ge, J. C. (1998). **GEOPROCESSAMENTO PARA PROJETOS AMBIENTAIS**. São José dos Campos - SP: Inpe .
- Goodchild, M.F., Parks, B.O., Steyaert, L.T. (Eds.). Environmental Modelling With GIS, **Oxford University Press**, New York, 488 pp.1993.
- GRANZIERA, M. L. M. **Direito de águas: disciplina jurídica de águas doces**. São Paulo: Atlas, 2001.
- GRIGG, N. S. **Delph Carpenter, Father of Colorado River Treaties**: Text of Governor Ralph L. Carr's 1943 Salute to Delph Carpenter. Fort Collins: Colorado Water Resources Research Institute, 1991.
- Horton R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**. 56(3): 275-370.
- [http://www.dpi.inpe.br/~carlos/Academicos/Cursos/Pdi/pdi\\_spring.html](http://www.dpi.inpe.br/~carlos/Academicos/Cursos/Pdi/pdi_spring.html)
- IBGE. (15 de 07 de 2010). <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 15 de 07 de 2010, disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/>
- Jarboe, J.E., Haan, C.T. (1974) Calibrating a water yield model for small ungaged watersheds. **Water Resources Research**, 10, pp 256 – 262.
- JENSON, S. K. **Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models**. In: BEVEN, K. J.; MOORE, I. D. Advances in

hydrological processes. Terrain analysis and distributed modeling in hydrology. Chichester, John Wiley & Sons, 1992.

Jensen, J. R. (2009). **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. São José dos Campos - SP: Editora Parêntese.

Lanna, A. E. (1993). **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. In: *Hidrologia - Ciência e Aplicação*. UFRGS.

Morisawa, M.E.(1962) Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau. **Geological Society of America Bulletin**, 73 (9), pp 1025 – 1046.

Pinto, N. L., Holtz, A. C., Martins, J. A., & Gomide, F. L. (1976). **Hidrologia básica**. São Paulo: edgard Blucher Ltda.

Potter, W.D. (1953) Rainfall and topographic factors that affect runoff. *American Geophysics Union* Trans., 34, pp 67 – 73.

PORTO, Monica F. A. and PORTO, Rubem La Laina. **Gestão de bacias hidrográficas**. *Estud. av.* [online]. 2008, vol.22, n.63, pp. 43-60. ISSN 0103-4014.

Rosa, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: EDUFU, 2007.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. **Geografia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 2001.

ROWBOTHAM, D. N.; DUDYCHA, D. GIS modeling of slope stability in Phewa Tal watershed, Nepal. **Geomorphology**, v.26, p.151-170, 1998.

Sherman, L.K. (1932) Streamflow from rainfall by unit-graph method. **Engineering NewsRecord**, 108, pp. 501-505

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

Schumm S.A. 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. *Geological Society of America Bulletin*. 74(9): 1089-1100.

TAKEDA, Tatiana de Oliveira. **Gestão de bacias hidrográficas**. In: *Âmbito Jurídico*, Rio Grande, 78, 01/07/2010 [Internet]. **Disponível em**

[http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=8147](http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=8147). Acesso em 29/07/2011.

TUCCI, C. E. M. 1997. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

Vieira, V. P. (2003). Desafios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Semi-Árido. *Revista brasileira de Recursos Hídricos* , 7-17.

Wandle Junior, W.S. (1983) Estimating peak discharge of small rural streams in

Massachusetts. U.S. **Geological Survey Water Supply Paper**, 2214, pp 1 – 24.

WMO. The Dublin Statement and Report of the Conference. *International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century*. 26-31 January 1992. Dublin, Ireland.