



UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI - URCA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
DEPARTAMENTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL HABILITAÇÃO EM
TOPOGRAFIA E ESTRADAS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LUCIENE GALDINO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E DO USO E OCUPAÇÃO DE UMA
MICROBACIA HIDROGRÁFICA URBANA UTILIZANDO SENSORIAMENTO
REMOTO

JUAZEIRO DO NORTE – CE

2014

LUCIENE GALDINO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E DO USO E OCUPAÇÃO DE UMA
MICROBACIA HIDROGRÁFICA URBANA UTILIZANDO SENSORIAMENTO
REMOTO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Comissão Examinadora do
Curso Tecnologia da Construção Civil com
habilitação em Topografia e Estradas da
Universidade Regional do Cariri – URCA,
como requisito para conclusão de curso.

Orientador: Me. Renato de Oliveira
Fernandes.

Co-orientador: Me. Rony Lopes Lunguinho

JUAZEIRO DO NORTE – CE

2014

LUCIENE GALDINO DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E DO USO E OCUPAÇÃO DE UMA
MICROBACIA HIDROGRÁFICA URBANA UTILIZANDO SENSORIAMENTO
REMOTO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Comissão Examinadora do
Curso Tecnologia da Construção Civil com
habilitação em Topografia e Estradas da
Universidade Regional do Cariri – URCA,
como requisito para conclusão de curso.

Aprovada em ____ / ____ / _____,

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Renato de Oliveira Fernandes (Orientador)
Universidade Regional do Cariri (URCA)

Prof. Me. Rony Lopes Lunguinho (Co-orientador)
Doutorando na Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Prof.^a Ma. Antônia Fabiana Marques Almeida
Universidade Regional do Cariri (URCA)

A Deus.

A minha família, principalmente minha
mãe e irmão Lucia e Lyndon Jonhson.

Aos amigos.

AGRADECIMENTOS

A minha família por me apoiar em todos os momentos que precisei, pela confiança depositada, pela paciência, pelo cuidado e respeito as minhas escolhas e atitudes.

Ao Me. Renato de Oliveira Fernandes, pela paciência, por mostrar a melhor forma de crescer com os problemas, por incentivar minha carreira acadêmica, por acreditar no meu potencial estudantil, enfim, pela excelente orientação.

Ao Prof. Rony Lopes Lunguinho, pela ótima co-orientação.

A professora participante da Banca examinadora Fabiana Marques pelas dicas e sugestões dadas.

A meus amigos, Maria Aparecida, Thais Bento, Everton Amorim, Jackson Andrade, que me acompanharam durante todo o período acadêmico, aprendendo junto comigo que amizades verdadeiras permanecem ao longo do tempo apesar de todas as divergências e diferenças de pensamentos, pelas críticas, conversas, apoios, enfim, por fazerem parte da minha vida durante esse tempo.

“O segredo do sucesso é a constância do propósito.”

(Benjamim Disraeli)

RESUMO

Uma das consequências da urbanização em bacias hidrográficas é o aumento do escoamento superficial. Este por sua vez é um fator de grande influência na ocorrência de enchentes e inundações nas cidades. Para amenizar essas causas é importante fazer estudos das características das bacias. Tais estudos dependem de dados observados muitas vezes escassos. Uma alternativa para suprir a carência de dados é o uso de metodologias alternativas, um das mais conhecidas e muito utilizadas é o uso dos modelos hidrológicos, destes destaca-se o método do SCS (Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, atual *Natural Resources Conservation Service-NRCS*) que usa a representação dos tipos, usos e ocupação dos solos para identificar o valor da Curva Número (CN) que é um dos parâmetros utilizados no cálculo das vazões máximas. A identificação das características da superfície pode ser feita por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto, que consistem no tratamento das imagens de satélite. Para isso existem vários softwares que realizam essas análises, os que mais vêm sendo utilizados para esses fins são *softwares* Spring (Sistema de Processamento de Informática Georreferenciados) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Geográficas (INPE) e ArcGIS desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Nesse sentido, este estudo teve como objetivo principal realizar a caracterização do uso e ocupação da microbacia Riacho dos Touros localizada no município de Juazeiro do Norte, Ceará, aplicando técnicas de Sensoriamento Remoto para definição do valor do CN para alimentar o método do SCS. O valor do CN obtido para a microbacia (CN=89) indicou altas taxas de urbanização na área estudada com potencial para geração de grandes picos de vazões quando da ocorrência de chuvas intensas.

Palavras-chave: caracterização de bacias, vazão máxima, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

One of the consequences of urbanization in river basins is the increase of surface runoff. This in turn is a factor of great influence on the occurrence of floods and flooding in the cities. To alleviate these causes it is important to study the characteristics of river basins. Such studies depend on observed data are often scarce. An alternative to overcome the lack of data is the use of alternative methodologies, one of the most well known and widely used is the use of hydrological models, these stands out the method of the SCS (Soil Conservation of the United States, current Natural Resources Conservation Service-NRCS) that uses the representation of the types, uses and land use to identify the value of the Curve Number (CN) which is one of the parameters used in calculating the maximum flows. The identification of the characteristics of the surface can be made by means of Remote Sensing techniques, which consist in the treatment of the satellite images. For this there are several software programs that perform these analyzes, that more is being used for these purposes are software Spring Processing System (Geo Informatics) developed by the National Institute of Geographical Research (INPE) and ArcGIS developed by the Environmental Systems Research Institute (ESRI). In this sense, this study aimed to characterize the use and occupation of the watershed Stream of Bulls located in the city of Juazeiro do Norte, Ceara, applying Remote Sensing techniques for setting the value of the CN to feed the method of SCS. The value of the CN obtained for the watershed (CN= 89) indicated high rates of urbanization in the studied area with potential for generation of large spikes in flow when the occurrence of heavy rains.

Keywords: characterization of basins, maximum flow, Remote Sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação gráfica do Sensoriamento Remoto e Fotogrametria.	18
Figura 2: Espectro eletromagnético.....	20
Figura 3: Representação da bacia hidrográfica.....	23
Figura 4: Representação das fases do ciclo hidrológico.	25
Figura 5: Representação dos modelos hidrológicos.....	29
Figura 6: Finalidade, objetivo e áreas de aplicação dos SIG's.....	35
Figura 7: Software Spring.....	37
Figura 8: Software ArcGIS.....	39
Figura 9: Fluxograma da metodologia adotada.....	42
Figura 10: Ilustração do processo de Georreferenciamento utilizado.....	43
Figura 11: Sobreposição do limite sobre o uso e ocupação do solo.....	49
Figura 12: Mapa dos tipos de solo para a microbacia Riacho dos Touros, CE.....	52
Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo com detalhe da drenagem existente da microbacia Riacho dos Touros, CE.....	53
Figura 14: Validação do mapa de uso e ocupação do solo para a microbacia Riacho dos Touros, Município de Juazeiro do Norte, CE.....	54
Figura 15: Mapa de CN para a microbacia Riacho dos Touros, CE.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de CN em função da descrição da área dos grupos hidrológicos	33
Tabela 2: Produtos orbitais utilizados.....	40
Tabela 3: Tipos de Solo com sua classificação segundo o método do SCS.....	45
Tabela 4: Tipos de Solo com sua classificação segundo o método do SCS.....	46
Tabela 5: Tipos de Solo com sua classificação segundo o método do SCS.....	51
Tabela 6: Valores de CNs de acordo com a classificação e suas áreas.	56

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Equação do CN ponderado médio	50
Equação 2: Demonstração do calculo do método CN ponderado médio	56

LISTA DE SIGLAS

AMC	Condições de Umidade Antecedente
CN	Método de Curva Número
DEM	Modelo Digital de Elevação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GIS	Sistemas de Informações Geográficas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Geográficas
LEGAL	Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra
NRCS	Natural Resources Conservation Service
PI	Planos de Informação
SCS	Serviço de Conservação do Solo
Spring	Sistema de Processamento de Informática Georreferenciados
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. JUSTIFICATIVA.....	16
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. Geral:	16
3.2. Específicos:	16
4. GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AOS RECURSOS HIDRÍCOS.....	17
4.1. Geoprocessamento	17
4.1.1. Sensoriamento Remoto	18
4.1.1.1. Espectro eletromagnético, bandas e suas faixas de espectro.....	19
4.1.2. O avanço das tecnologias na utilização das imagens de satélite	21
4.1.3. Projeto Topodata	22
4.2. Impactos do Uso e Ocupação do Solo nas Bacias Hidrográficas.....	23
4.2.1. Influências do Escoamento Superficial	24
4.2.2. Impermeabilização do Solo	25
4.2.3. Influências e Consequências da Urbanização nas Bacias	26
4.3. Condições antecedentes para obter os valores do CN.....	28
4.3.1. Modelos Hidrológicos.....	28
4.3.2. Classificação do Solo	30
4.4. Método do SCS (Curva Número)	31
4.4.1. Condições antecedentes para obter os valores do CN	31
4.4.2. Valores de CN de acordo com o Uso e Ocupação do Solo	32
5. MATERIAIS	33
5.1. Softwares de SIG	33
5.1.1. Software Spring	36
5.1.2. Software Arcgis	37
5.1.3. Produtos orbitais	39
5.1.3.1. SRTM e Imagens Espectrais (Landsat)	40
6. MÉTODOS.....	41
6.1. Georreferenciamento da imagem.....	43
6.2. Definição do Limite da Bacia.....	44
6.3. Identificação da Classificação do Solo	44

6.4. Classificação de uso e ocupação do solo.....	47
6.5. Segmentação e Refinamento da Classificação de Uso e Ocupação	47
6.6. Uso e Ocupação do Solo	48
6.7. Calculo de CN (Método de Curva Número)	49
7. RESULTADOS E DISCURSSÕES.....	50
7.2. Solos.....	51
7.3. Uso e Ocupação do Solo	52
7.3.1. Validação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....	53
7.4. Representação do CN	54
7.4.1. Valor do CN representativo para microbacia.....	55
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
9. RECOMENDAÇÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

A urbanização de bacias hidrográficas geram grandes impactos hidrológicos. Um desses impactos é o aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização do solo, causando sérios problemas de enchentes e inundações. Segundo Conhole (2005), as causas das inundações urbanas são: a quase total impermeabilização dos solos nas zonas urbanas, os sistemas de drenagem de águas pluviais ineficientes, acúmulo de lixo e outros detritos em bocas de lobo e corpos d'águas que impedem o escoamento normal das águas.

Para construção de obras de drenagem e gestão de risco de inundações ou enchentes é necessário conhecer a vazão máxima. A vazão máxima, por sua vez, é determinada por muitas metodologias que depende do estágio de urbanização da bacia. Uma das metodologias mais usadas é a do departamento de Serviço de Conservação do Solo (SCS) dos Estados Unidos (atual *Natural Resources Conservation Service-NRCS*) que usa a Curva Número (CN) para representar os tipos, usos e ocupação dos solos.

Embora, o método de CN já seja bastante utilizando em todo o mundo, somente nas últimas décadas é que passou a ser empregado com uma maior frequência no Brasil (MELLO *et al.*, 2003; ALVES *et al.*, 2011). Sua utilização atualmente é mais direcionada para análise de uso e ocupação do solo vinculada para a área de proteção ambiental, onde procura-se identificar a parte da bacia que está sendo mais atingida pelo avanço da urbanização. Outra grande utilidade desse sistema é na construção das próprias edificações, à medida que se sabe o valor mais real da quantidade de água que aquela edificação irá receber, é possível dimensiona - lá para que possa suportar todo aquele contingente de água sem haver a necessidade de maiores gastos.

Nesse contexto este trabalho tem como objetivo fazer a caracterização morfométrica e gerar os mapas de uso e ocupação do solo utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto para geração do mapa de CN da Microbacia Riacho dos Touros, para possibilitar aplicações, como a estimativa da vazão máxima usada para dimensionamento de obras de drenagem urbana.

2. JUSTIFICATIVA

Um dos principais dados para gestão de riscos de inundação e o dimensionamento de obras hidráulicas em bacias hidrográficas é a vazão máxima. No entanto, na maioria das bacias hidrográficas brasileiras os dados de vazões observadas são escassos ou ausentes devido à falta de instrumentos instalados nas bacias. Dessa forma, como alternativa, é muito comum o uso de técnicas estatísticas ou a modelagem da vazão através do uso de modelos hidrológicos.

Os modelos hidrológicos, por sua vez, necessitam de dados morfométricos da bacia que podem ser supridos (com boa aproximação) pela aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto. As Técnicas de Sensoriamento remoto são excelentes instrumentos para a construção dos modelos hidrológicos, e o seu mapeamento indica respostas às várias questões sobre planejamento urbano e regional, descrevendo os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente e auxiliando no planejamento dos recursos naturais disponíveis.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral:

Caracterização da microbacia Riacho dos Touros aplicando técnicas de Sensoriamento Remoto com apoio dos softwares SIGs a partir de imagens do satélite Landsat 7 e dos Modelos Numéricos do Terreno (MNT) disponibilizados pelo projeto TOPODATA.

3.2. Específicos:

- Determinação dos parâmetros morfométricos da microbacia Riacho dos Touros;
- Gerar mapas de Uso e Ocupação do Solo através de imagem de satélites;
- Determinação do mapa de CN da microbacia Riacho dos Touros para possibilitar estudos posteriores de vazões máximas a partir do método SCS do Departamento de Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos.

4. GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AOS RECURSOS HIDRÍCOS

Uma das discussões atualmente que geram bastantes divergências na sociedade é o impacto antrópico, ele promove reflexões sobre a influência da atuação do homem sobre os recursos naturais e, assim, exprime a necessidade do debate e da implementação de mecanismos que visem à preservação das áreas remanescentes a ocupação ambiental natural, de seus recursos, como da recuperação de áreas degradadas (FEIX, 2004). Nessa luta, as ferramentas de geotecnologias são aliados que facilitam o processo de análise, manipulação de informação em grandes áreas e, apresentando-se como ferramentas para extração, tratamento, análise e modelagem de dados e informação espacial, dentre os quais se destaca o relevo (SAITO *et. al.*, 2012).

O relevo apresenta um papel bastante importante, pois é devido a ele que ocorre a distribuição dos fluxos de água para as bacias hidrográficas. Visto que a condição física das bacias então sendo visivelmente alteradas, o homem passou a utilizar a tecnologia e seus avanços para minimizar essas causas e corrigir esses erros, elas auxiliam no monitoramento e manejo de terra. Atualmente uma das tecnologias mais utilizadas para esses fins são as de Geoprocessamento, que proporcionaram uma otimização nas análises hidrológicas, através de suas diversas técnicas.

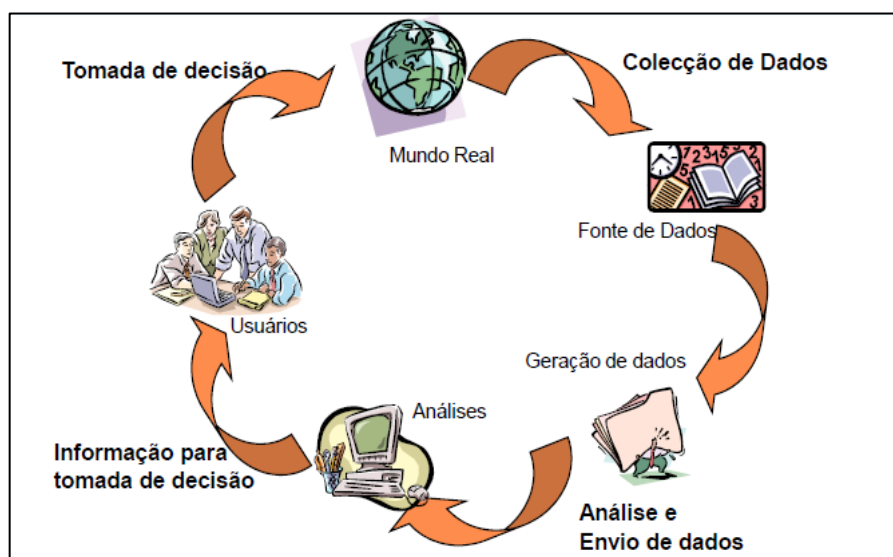
4.1. Geoprocessamento

Segundo Câmara e Davis (2001), o termo Geoprocessamento é a disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas e que vem influenciando as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. Ainda de acordo com o mesmo autor, as ferramentas computacionais, para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes ao criar bancos de dados georreferenciados.

Ferreira (1997) cita que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem ser considerados um instrumento para mapear e indicar respostas às várias

questões sobre planejamento urbano e regional, meio rural e levantamento de recursos renováveis, descrevendo os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente e auxiliando planejamento e manejo dos recursos naturais de regiões específicas. Para melhor compreensão desse contexto a figura a seguir mostra o processo de interação e trabalho do SIG como o mundo real.

Figura 1: Representação gráfica do Sensoriamento Remoto e Fotogrametria.



Fonte: Pinto (2009).

4.1.1. Sensoriamento Remoto

Atualmente o Sensoriamento Remoto é bastante utilizadas no planejamento das áreas urbanas, isso esta acontecendo devido aos constantes problemas que aparecem nas zonas urbanas em decorrência do desordenado crescimento das cidades e das falta de estrutura delas para suportar esse avanço. De acordo com Feix (2004), tradicionalmente, as cidades nascem e se desenvolvem de forma egocêntrica, como um corpo estranho não integrado a natureza.

Para Slater (1980), sensoriamento pode ser entendido como o conjunto de atividades que tratam a obtenção da informação relativa aos recursos naturais da terra ou seu meio ambiente, por meio de sensores instalados a bordo de plataforma em altitudes (como balões, foguetes, aviões e satélites). Esses sensores coletam as ondas eletromagnéticas que são transmitidas pelas plataformas e as convertem em

sinais, onde depois são processados para geração de imagens, denominadas imagens eletro-espectrais.

De acordo com Meneses *et. al* (2012), as imagens de sensoriamento remoto devem ser vistas como uma forma de documentos que representam, em escala e sobre um plano 2D, os acidentes e as feições naturais e artificiais da superfície terrestre, a partir da medição de um processo físico da radiação eletromagnética. A imagem de sensoriamento remoto, qualquer que seja ela, não possui um sistema de referência de projeção cartográfica. Por isso, é aconselhável conhecer algumas características do formato dos dados das imagens, antes de se iniciar o processamento dos dados (MENESES *et. al*, 2012).

Meneses *et al.* (2012), diz que a partir da definição de sensoriamento remoto fica óbvio que só se pode entender o processo de aquisição e de análise das imagens, se conhecermos primeiro o que é a radiação eletromagnética - REM.

4.1.1.1. Espectro eletromagnético, bandas e suas faixas de espectro.

A radiação eletromagnética pode ser definida como sendo uma propagação de energia, por meio de variação temporal dos campos elétrico e magnético, da onda portadora (FIGUEIREDO, 2005). Mas comumente chamadas de mensageiro das feições pertinentes às características da terra as REM são ondas eletromagnéticas compostas por longas faixas de frequência que variam desde as radiações gama com comprimentos de onda da ordem de 10^{-6} μm , até as ondas de rádio da ordem de 100 m.

De acordo com Moraes (2002), o Sol e a Terra são as duas principais fontes naturais de energia eletromagnética utilizadas no sensoriamento remoto da superfície terrestre. Moraes também diz que, a energia eletromagnética não precisa de um meio material para se propagar, sendo definida como uma energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz ($c = 300.000 \text{ Km s}^{-1}$, onde "c" é a velocidade da luz).

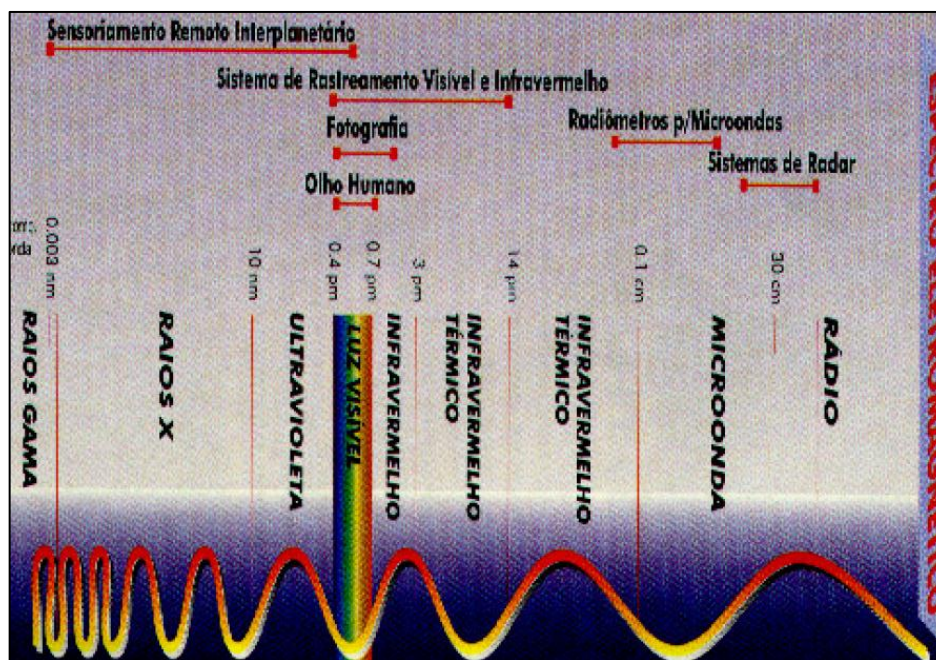
Meneses (2012) fala que, o espectro eletromagnético foi arbitrariamente dividido pelo homem em intervalos de comprimentos de onda com base nos mecanismos físicos geradores da energia eletromagnética e nos mecanismos físicos de sua detecção. Para ele um dos intervalos ou faixas de comprimentos de onda

que é mais familiar é a faixa de luz visível da radiação solar, por ser aquela que o olho humano é capaz de detectar.

Sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, quer seja na forma de imagem, na forma gráfica ou de tabelas (MOREIRA, 2001). Esses sensores captam a energia que é liberada em forma de fluxo de energia eletromagnética, que ao atingir um objeto (energia incidente) sofre interações com o material que o compõe, sendo parcialmente refletido, absorvido e transmitido pelo objeto (MORAES, 2002).

Segundo Moraes (2002), a assinatura espectral do objeto define as feições deste, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é que caracteriza o objeto. Para o sensoriamento remoto, a obtenção simultânea de imagens em múltiplas bandas espectrais é, sem dúvida, a propriedade mais importante dos sensores (MENESES, 2012). Na figura 02 demonstra as ondas de energia eletromagnética com suas características.

Figura 2: Espectro eletromagnético



Fonte: Figueiredo (2005)

4.1.2. O avanço das tecnologias na utilização das imagens de satélite

O desenvolvimento das tecnologias trouxeram grandes benefícios para a sociedade, um deles vem da constante necessidade que o ser humano tem de conhecer e modificar o espaço que vive, os satélites foram criados para visualizar esse espaço em que vivemos de uma forma ampla e mais detalhada, isso é possível por meio de imagens espectrais que são enviadas dos satélites para um banco de dados que as armazena para posteriormente serem feitas as mais diversas análises.

Com as imagens de satélite é possível fazer os mais variados estudos para os mais diferentes fins. Uma das aplicações muito usadas é na construção de mapas de uso e ocupação do solo com a finalidade de avaliar o crescimento das cidades, os locais mais ocupados, e a influência que esses avanços causam no ambiente natural, como por exemplo, o impacto nos processos hidrológicos em bacias hidrográficas. Particularmente para estudos de bacias o avanço das tecnologias propiciou a aquisição de dados e a modelagem dos processos físicos.

Atualmente os satélites se encontram na sua terceira geração, um dos destaques mais notáveis com esses avanços é a constante ampliação das precisões presentes nas imagens e maior possibilidade de realizar diferentes análises por apresentar uma melhor visualização das suas características físicas nessas imagens geradas. A primeira geração das imagens aconteceu na década de 1970, com o lançamento do Landsat I, de baixa resolução contando com apenas 80 m de precisão. Depois foi a segunda geração na década 1980 com satélites modernos que tinham precisão de 30 m dos quais podemos destacar SPOT (França), Landsat (Eua), e CBERS, criado em parceria do Brasil com a China.

Desse modo é visível o constante crescente e evolução dos satélites para alcançar a maior precisão possível evidenciando cada vez mais o detalhamento do espaço terrestre. De acordo com Almeida (2010), esse busca por maior precisão representa um marco em termos de resolução espacial. Ainda de acordo com Almeida, atualmente os satélites americanos *Quick Bird*, *Ikonos* e *Orbviem*, bem como o satélite israelense *Eros* e o francês SPOT tem suas resoluções espaciais oscilando entre 67 cm, com o *Quick Bird*; 1 m, com o *Orbview*; 1,8 m, com o *Eros*, e 2,5 m com o SPOT.

Existem vários *softwares* que realizam essas análises, sendo que os mais utilizados são os de acesso gratuito, pois além de ser de fácil acesso conseguem suprimir todas as necessidades que se tenham para uma perfeita análise das zonas urbanas. Dessa forma podemos destacar os *softwares* Spring e Arcgis, que conseguem atender em boas condições as necessidades exigidas para esse tipo de análise.

Geralmente esses *softwares* trabalham com imagens de satélite e imagens em SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), um dos principais responsáveis pelo fornecimento desses dados é o Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e o projeto Topodata que em parceria com a Nasa fazem essa distribuição por todo o Brasil.

Nesse sentido o uso das Geotecnologias, possibilitou a criação mapas de uso e ocupação de forma fácil e com uma boa precisão, onde demonstrou grande eficiência nos trabalhos realizados por Nunes (2012) e Targa *et al.* (2012) que utilizaram as geotecnologias na estimativa da impermeabilização do solo, escoamento e influências da urbanização para as bacias hidrográficas: Ribeirão Anicuns – Goiás (GO) e Igarapé Tucumduba – Belém (PA).

4.1.3. Projeto Topodata

O projeto Topodata (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil) pode ser entendido como meio de oferta das variáveis Geomorfométricos locais de todo o território nacional, correspondentes aos elementos básicos sobre os quais se fundamentam as técnicas de interpretação e análise do relevo, e que tem por base inúmeros trabalhos na literatura científica (VALERIANO, 2008).

Esse projeto fornece o Modelo Digital de Elevação (MDE) que foram elaborados a partir de dados SRTM, esse dados foram disponibilizados pela USCG (*United States Geological Survey*) na rede mundial de computadores. Desde que o Topodata foi lançado pela primeira vez, em agosto de 2008, o processamento dos dados foi sucessivamente inspecionado e revisado, com vistas a aprimoramentos e correções, até que finalmente em Maio de 2009 esses produtos estivessem disponíveis ao acesso.

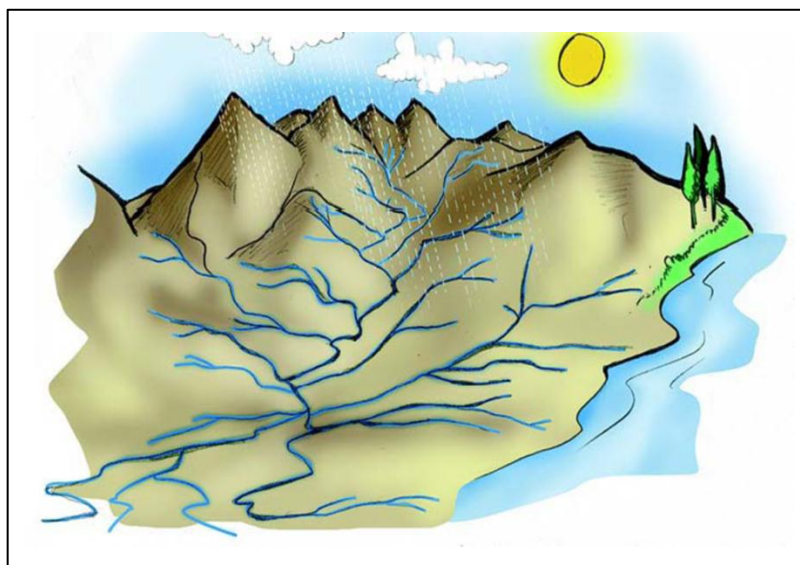
Na página inicial os dados estão todos estruturados em quadrículas

compatíveis com a articulação 1: 250.000, portanto, em folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude (VALERIANO, 2005). De acordo com o site Topodata, a obtenção dos dados deverá ser feita a partir da seleção da folha de interesse, na lista de arquivos disponíveis para a mesma, através do acesso respectivo ao conjunto de arquivos desejado (ASCII, GRD, GeoTiff ou BMP).

4.2. Impactos do Uso e Ocupação do Solo nas Bacias Hidrográficas

Uma bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 1993). Na figura a seguir pode-se entender melhor esse processo.

Figura 3: Representação da bacia hidrográfica.



Fonte: Apud Fernandes (2014).

Segundo Baccaro (1994), dentre os fatores fisiográficos os mais importantes são a área, a forma, a permeabilidade, a capacidade de infiltração, e a topografia da bacia. A influência do tamanho da área esta relacionada com a quantidade de captação da água pela bacia, quanto maior for a bacia mais água ela suporta. A impermeabilidade do solo também influencia na quantidade de água que a bacia receberá, pois quando chove uma parte da água será infiltrada no solo e o

restante escoar pela superfície até chegar num fluxo de água que é a bacia hidrográfica.

Qualquer alteração num desses sistemas pode acarretar em grandes transformações nas bacias, entre eles um dos principais fatores que contribuem para essa mudança é o aumento escoamento superficial das águas.

De acordo com Justino *et al.* (2011), é nesta fase que são tratadas a ocorrência e o transporte da água na superfície terrestre, visto que, boa parte dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento. Segundo Silva *et al.* (2005), o escoamento superficial abrange desde o excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície terrestre, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pelo excesso de precipitação, como pelas águas subterrâneas.

4.2.1. Influências do Escoamento Superficial

De acordo com Alves *et al.* (2012), o escoamento superficial tem origem, fundamentalmente nas precipitações. O escoamento superficial inicia, quando a intensidade de precipitação torna-se maior do que a taxa de infiltração da água no solo, sendo considerado o principal responsável pelo rápido aumento da vazão após a ocorrência de uma precipitação (Apud Alves *et al.*, 2012). Ao chegar ao solo, parte da água se infiltra, parte é retirada pelas depressões do terreno e parte escoar pela superfície (KARINE, 2002).

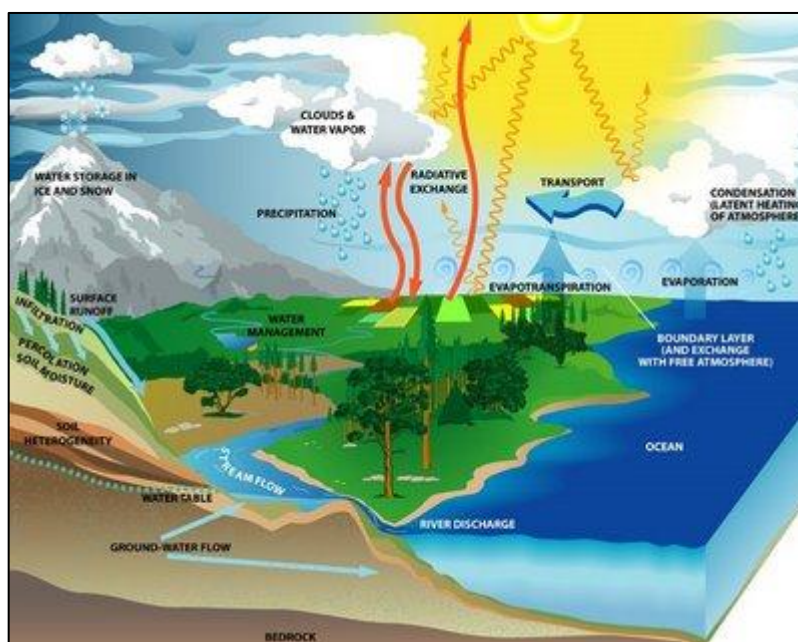
O fator que influencia na porcentagem de água que infiltra está diretamente relacionado com a quantidade de cobertura vegetal existente na região e o tipo de solo da mesma, sendo assim, se o solo for argiloso a água infiltrará menos, mas se for arenoso a quantidade de água que irá infiltrar será maior.

De acordo com Karine (2002), a água uma vez precipitada sobre o solo pode seguir três caminhos básicos para atingir o curso de água: o escoamento superficial, o escoamento subsuperficial (hipodérmico) e o escoamento subterrâneo, sendo que as duas últimas modalidades mais baixas. O escoamento superficial trata apenas da água que escoar livremente na superfície, o escoamento subsuperficial

corresponde à água da chuva que cai sobre a superfície e se concentra nas deflexões da região, já o escoamento subterrâneo é toda a água que infiltra no solo.

Dessa forma pode-se perceber que existe um ciclo do escoamento hidrológico harmonioso, onde a água que cai é distribuída para diferentes locais até chegar à área bacia. Essa distribuição pode ser alterada à medida que aconteça alguma mudança num desses componentes desse ciclo.

Figura 4: Representação das fases do ciclo hidrológico.



Fonte: Sousa (2009)

4.2.2. Impermeabilização do Solo

Consiste na cobertura do solo por um produto ou material que impeça que a água infiltre totalmente ou parcialmente. Segundo Justino *et al.* (2011), a permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência de excesso de precipitação. Se o solo estiver impermeável à água que antes infiltrava agora passara a escoar livremente na superfície.

Um dos principais responsáveis pela impermeabilização do solo é o desordenado crescimento das cidades que sempre avançam em direção as bacias

sem nenhum planejamento urbano, destruindo grande parte da mata ciliar e trazendo grandes problemas para a bacia. De acordo com apud Fernandes (2014), em locais pouco urbanizados, 90% da água infiltra no solo e 10% escoam na terra, já em locais bastante urbanizados, apenas 10% da água infiltra no solo e 90% escoam pela superfície.

As consequências dessas ações destrutivas podem ser observadas pelas constantes enchentes que aparecem cada vez mais fortes e frequentes nas cidades. Segundo Pinto e Pinheiro (2006), em áreas urbanas é comum a inundação localizada devido ao estrangulamento do curso d'água por pilares de pontes, adutoras, aterros e rodovias que reduzem a seção de escoamento dos corpos d'água.

Dessa forma podemos ver que a impermeabilização do solo nas cidades está totalmente relacionada com o uso e ocupação do solo da mesma, se for bastante urbanizada ela irá possuir uma taxa de escoamento grande, já se for pouco urbanizada, a taxa de escoamento será pequena.

4.2.3. Influências e Consequências da Urbanização nas Bacias

A urbanização surgiu da necessidade das pessoas de se concentrarem em grupos, numa determinada região, onde lá fosse possível ter acesso à alimentação, água e fosse possível fazer cultivos de alimentos, para assim se tornar um local para morar e constituir família. Os lugares mais propícios para o desenvolvimento dessas atividades sempre foram no entorno dos rios, lagos, açudes, já que eles atendiam todos esses requisitos.

Segundo Bialeum (2013), a urbanização é um processo de tornar uma área urbana e retirar as características silvestres e rurais, inserindo características, instalações e infraestrutura de uma cidade (ruas, avenidas, redes de esgoto, rede elétrica, edificações, serviços urbanos e etc.). Na história da humanidade já aviam grandes cidades um exemplo delas era Roma que tinha mais de 650.000 habitantes no ano de 100 D.C.

Depois da revolução industrial e com o crescimento industrial, a urbanização se deu forma exponencialmente constante. De acordo com Cohen (2003), em todo o mundo as populações humanas estão se tornando cada vez mais

urbano, com cerca de cinquenta por cento da população do mundo atualmente residindo em áreas urbanas. Segundo Justino *et al.* (2011), no Brasil, o processo de urbanização acelerado ocorreu após a década de 1960, devido às alterações do trabalho no campo e na cidade, que tiveram como consequência o êxodo rural e o crescimento das cidades brasileiras.

Sebusiani e Bettine (2011), dizem que quase sempre, o processo de uso e ocupação do solo, é desenvolvido de modo espontâneo, raramente fundamentado nas questões ambientais. Ainda de acordo com Sebusiani e Bettine, as normas de usos e ocupação de bacias hidrográficas no meio urbano restringem-se aos zoneamentos urbanos e delineiam-se segundo tendências político-administrativas de expansão territorial. Fato esse que gera grandes conflitos, pois boa parte das ocupações é feitas de forma desorganizada e sem obedecer nenhum padrão de proteção ambiental.

Para Fontes (2003), o processo de urbanização trás profundas modificações no uso do solo, que por sua vez causam marcas permanentes nas áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração, o que tem como consequência direta a ocorrência de inundações.

As consequências mais visíveis das inundações são as destruições de casas, trasbordamento de adutoras, buracos nas ruas, doenças entre outros. Pedrosa (1996), cita outro fato comumente verificado nas enchentes urbanas que são epidemias de algumas moléstias de veiculação hídrica, logo após a ocorrência de enchentes. A leptospirose, doença transmitida pela urina do rato, que durante as cheias tem uma maior probabilidade de ocorrência, é a mais comum delas.

Para amenizar essa situação deve-se realizar um planejamento mais adequado das zonas de urbanização e uma adequada gestão dos recursos hídricos da bacia, com leis mais rigorosas que regulamentem o espaço ambiental, onde o não cumprimento dessas leis resulte em multas mais punitivas que variem em decorrências do grau de ofensa feita naquele local, por exemplo, o melhoramento da legislação brasileira sobre o meio ambiental. Também é necessária uma fiscalização mais eficiente já que algumas das áreas ambientais que são legalmente protegidas ainda sim são devastadas.

Segundo Fioreze *et al.* (2008), para a adequada gestão dos recursos hídricos, é preciso conhecer o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas. É necessária a definição da vazão disponível para alocação ao usuário, obtida a partir da vazão de referência, utilizada como base para o processo de gestão dos recursos hídricos (ARNÉZ, 2002).

De acordo com Targa (2011), a vazão é geralmente baseada em chuvas uma vez que esta, quase sempre é a única fonte de água para os sistemas de drenagem das bacias. Para obter esses dados é necessário um contínuo monitoramento das bacias, sendo que são extremamente raros no Brasil, existem apenas poucas informações para grandes bacias, normalmente monitoradas por empresas de energia elétrica.

Sabendo-se os tipos de solo e o uso e ocupação do solo daquela região é possível, com o método do CN (Curve Number), calcular a vazão máxima da bacia e a partir dela dimensionar toda a estrutura da cidade para suportar a quantidade de água que ela irá receber nos dias mais chuvosos.

4.3. Condições antecedentes para obter os valores do CN

4.3.1. Modelos Hidrológicos

Para encontrar a vazão das bacias hidrográficas é necessário fazer a modelagem hidrológica, onde através dela podemos saber as áreas que contribuem para a alimentação das bacias e com isso melhor gerenciar os recursos da bacia. Para Rennó e Soares (2003), um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou superfície terrestre.

O principal objeto de estudos do modelo hidrológico é a bacia hidrográfica. Para melhor entender o modelo hidrológico é necessário analisar os componentes envolvidos no ciclo hidrológico (RENNÓ E SOARES, 2003). Eles são os seguintes:

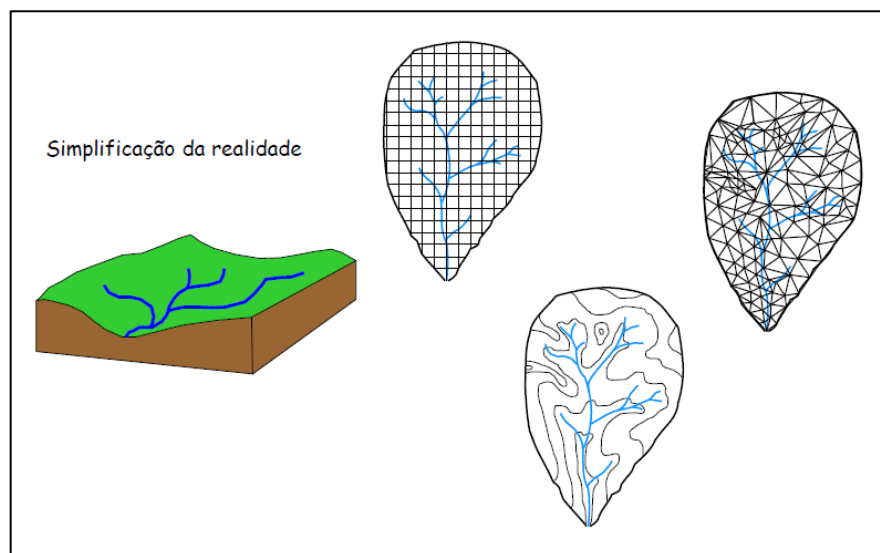
- Água – Agente essencial no processo de produção,
- Vegetação – Agente responsável pela manutenção do ciclo hidrológico,

- Solo – Agente responsável armazenamento sendo também considerado como um reservatório de água.

A entrada da água ocorre pela precipitação. Quando chove, dependendo da situação da região, a água pode antes de atingir o solo ser interceptada pela vegetação, absorvendo assim boa parte da quantidade de água que vem na precipitação. A parte da água que chega ao solo, uma quantidade é absorvida pelo solo, abastecendo o lençol freático, e finalmente, o que sobra escoar pela superfície terrestre até atingir um curso de água, uma bacia hidrográfica.

Com a utilização de um modelo ocorre uma melhor representação desse sistema onde é possível ver de forma mais prática e aplicada, atribuindo valores a cada um dos componentes desse ciclo para melhor gerir o estudo dos acontecimentos e impactos que se formam em decorrência de qualquer alteração que possa surgir nesse ciclo. Rennó e Soares (2003), dizem que os modelos estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender o impacto das mudanças no uso e cobertura da terra e prever alterações futuras nos ecossistemas.

Figura 5: Representação dos modelos hidrológicos.



Fonte: Rennó (2014).

A crescente urbanização nas cidades está trazendo a tona constantes mudanças nesse ciclo. A impermeabilização do solo para fazer construções está trazendo uma alteração bastante significativa na porcentagem de água que escoar, a

falta desses modelos torna praticamente impossível uma análise quantitativa do tamanho que estas alterações gerarão no ciclo hidrológico.

Um método simples e largamente utilizado em modelos hidrológicos de bacias hidrográficas no mundo é o método da Curva Número (CN) desenvolvido na década de 1950 pelo Serviço de Conservação dos Solos (SCS-USDA), atualmente Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) (Apud ARAÚJO NETO, 2012). Como o escoamento superficial é uma das principais ferramentas no dimensionamento das construções, torna-se essencial à quantificação desse valor para que se possa ter uma melhor execução das obras a fim de suportar todo o volume de água que o lugar poderá receber num dia chuvoso.

De acordo com Sartori *et al.* (2005), atualmente perante a escassez dos recursos hídricos, ora pelo crescimento de sua demanda, ora pela necessidade do desenvolvimento, surge a necessidade de se considerar as influências do uso e do tipo de solo sobre a geração do escoamento superficial. Isso pode se dar para analisar o estado atual da bacia ou para dimensionar a evolução urbanização da região a partir da bacia existente.

A comprovação da funcionalidade desses modelos está presente nos trabalhos realizados por Durões (2010) que fez a caracterização e avaliação do estresse hidrológico da bacia do rio Paraopeba, por meio de simulação chuva-vazão de cenários atuais e prospectivos de ocupação e uso do solo utilizando um modelo hidrológico distribuído e também no trabalho de Blainski *et al.* (2010) com aplicação do modelo hidrológico SWAT (*Soil And Water Assessment Tool*) para a simulação da perda de solo e da disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica não instrumentada.

4.3.2. Classificação do Solo

Segundo a metodologia do SCS os solos são divididos em quatro grupos A, B, C e D. A cada grupo possui sua característica relacionada à capacidade de infiltração e a porcentagem de escoamento. Sartori *et al.* (2005), diz que na hidrologia a classificação dos solos está relacionada com os objetivos: suscetibilidade a erosão e a produção de escoamento. Uma vez definida a finalidade, os solos podem ser classificados, segundo Ogrosky e Mockus (1964).

Ainda de acordo com o mesmo autor, as características ou definições dos grupos hidrológicos do solo, apresentadas pelo SCS, são (MOCKUS, 1972):

- Grupo A: Compreende os solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, consistindo principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados. Taxa mínima de infiltração: $> 7,62$ mm/h (TR-55, 1986).

- Grupo B: Compreende os solos contendo moderada taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa. Taxa mínima de infiltração: 3,81-7,62 mm/h (TR-55, 1986).

- Grupo C: Compreende os solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração. Taxa mínima de infiltração: 1,27-3,81 mm/h (TR-55, 1986).

- Grupo D: Compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão. Pertencem a este grupo, solos com grande permanência de lençol freático elevado, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. Taxa mínima de infiltração: $< 1,27$ mm/h (TR-55, 1986).

4.4. Método do SCS (Curva Número)

4.4.1. Condições antecedentes para obter os valores do CN

O CN corresponde às condições de umidade antecedente de solo (AMC, sigla em inglês de condições de umidade antecedente) médias, denominada AMCI, onde incorpora a variabilidade de vazões (JÚNIOR; BARBOSA, 2012). De acordo com esses autores os valores os AMC representam:

- AMCI – O solo encontra-se seco; em períodos de chuvas escassas, o indicador é a altura acumulada de chuva nos últimos cinco dias até 12,5 mm. Se em períodos de chuvas frequentes, alturas acumuladas até 35 mm.

- AMC II – Corresponde a uma condição de umidade média. Alturas antecedentes nos últimos cinco dias em épocas de chuvas escassas de 12,5 a 28 mm e em épocas de chuvas propriamente de 35 a 53 mm.

- AMC III – O solo encontra-se úmido, praticamente saturado com as precipitações antecedentes. No período de poucas chuvas, alturas antecedentes acumuladas superiores a 28 mm nos últimos cinco dias; no período de chuvas frequentes, alturas antecedentes acumuladas superiores a 53 mm.

A partir dessa classificação é possível determinar um CN baseado em cada uso e ocupação do solo daquela região. Os valores do CN são encontrados através de tabelas onde seus valores podem ser identificados de acordo com o tipo de solo e o uso e ocupação da bacia. Para alguns usos da terra e grupo de solo o valor CN não está disponível nos manuais e assim deve ser estimado (ARAÚJO NETO *et. al.*, 2012). E de acordo com o mesmo autor, desta forma, emerge a importância do desenvolvimento de pesquisas que sejam capazes de estimar o número da CN mediante diferentes cenários de uso e ocupação do solo para diferentes regiões.

4.4.2. Valores de CN de acordo com o Uso e Ocupação do Solo

Os valores de CN são obtidos para cada uso e cobertura do solo em tabela padrão do SCS. As tabelas foram desenvolvidas para as condições de uso e cobertura do solo dos EUA, em conjunto com quatro grupos de solos classificados de acordo com a taxa de infiltração, textura e estrutura (NRCS, 2007; LIMA *et. al.*, 2007). Embora, o método de CN já seja bastante usado em todo o mundo, somente nas últimas décadas e que passou a ser empregado com uma maior frequência no Brasil (MELLO *et. al.*, 2003; ALVES *et. al.*, 2011).

Atualmente essas tabelas apresentam resultados positivos para o dimensionamento de vazões, sendo que esse é o meio mais simples e eficaz de se chegar a um valor mais provável dessas vazões, se considerar que para obter esses valores através de outros modelos seria necessário um monitoramento contínuo das

bacias hidrográficas, coisa que hoje em dia só acontece para as grandes bacias, deixando de fora grande parte das bacias e micro bacias do País.

Tabela 1: Número de CN em função da descrição da área dos grupos hidrológicos

Uso de solo	Superfície	Solo A	Solo B	Solo C	Solo D
Residencial	Lote de até 500 m ² (65% impermeável)	77	85	90	92
	Lote de até 100 m ² (38% impermeável)	61	75	83	87
	Lote de até 1500 m ² (30% de impermeável)	57	82	81	86
Estacionamentos	Pavimentos	98	98	98	98
	Cobertos (Telhado)	98	98	98	98
Ruas e estradas	Pavimentadas com guias e drenagens	98	98	98	98
	Com cascalho	76	85	89	91
	De terra	72	82	87	89
Área comercial	85% de impermeabilização	89	92	94	95
Distrito industrial	72% de impermeabilização	81	88	91	93
Espaços abertos, parques e jardins	Boas condições cobertura de grama	39	61	74	80
	Médias condições, cobertura de grama	49	69	79	84

Fonte: Lombarde Neto *et al* (2005)

5. MATERIAIS

5.1. Softwares de SIG

Surgidas desde as constantes tentativas de automatizar a parte de processamento de dados com características espaciais nos anos 50, com a intensão de reduzir os custos de produção e manutenção de mapas. Tendo sucesso somente

no decorrer dos anos 80, com a popularização e barateamento das estações de trabalho gráficos, além do surgimento e evolução dos computadores pessoais e dos sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais, ocorreu uma grande difusão do sistema GIS (CÂMARA; DAVIS, 2001).

Segundo Sperb (2010), a grosso modo, um Sistema de Informação Geográfica pode ser definido como um sistema que permite manipular informação que está associada a uma referência geoespacial ou coordenadas geográficas.

De acordo com Pinto (2009), os componentes de um SIG são:

- Hardware (PC, estações de trabalho, palmtops,...);
- Software (Prog. SIG, BD, Desenho, Estatística,...);
- Dados/Informação (2X superior ao custo do equipamento);
- Pessoas (Liveware);
- Métodos ou Procedimentos.

Segundo Câmara e Monteiro (2001), Num SIG, existem duas grandes formas de organização de um ambiente de trabalho:

- organização baseada num *banco de dados geográficos* (“estilo dBASE”);
- organização baseada em *projetos* (“estilo AutoCAD”).

No primeiro caso, o usuário cria um banco de dados geográficos, indicando para cada tipo de dados seus atributos não-espaciais e as representações geométricas associadas. O Spring é exemplo de sistemas organizados como bancos de dados geográficos. No segundo caso, o usuário define inicialmente um referencial geográfico (que delimita uma região de trabalho) e a seguir, define as entidades geográficas que compõem o projeto. O ARC/INFO, é exemplo desta classe de sistemas (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

O SIG apresenta sua maior aplicabilidade nos serviços de emergência, monitoramento e modelagem ambiental, marketing (análise de mercado), logística (transportes), governo (municipal, estadual, federal), educação (pesquisa, ensino), empresas, dentre outros (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Na figura a seguir pode-se compreender melhor esse processo.

Figura 6: Finalidade, objetivo e áreas de aplicação dos SIG's

Finalidade	Objetivo	Área de aplicação
Projetos	Definição das características do projeto	Projeto de loteamentos Projeto de irrigação
Planejamento territorial	Delimitação de zoneamentos e estabelecimento de normas e diretrizes de uso	Elaboração de planos de manejo de unidades de conservação Elaboração de planos diretores municipais
Modelagem	Estudo de processos e comportamento	Modelagem de processos hidrológicos
Gerenciamento	Gestão de serviços e de recursos naturais	Gerenciamento de serviços de utilidade pública Gerenciamento costeiro
Banco de Dados	Armazenamento e recuperação de dados	Cadastro urbano e rural
Avaliação de riscos e potenciais	Identificação de locais susceptíveis à ocorrência de um determinado evento ou fenômeno	Elaboração de mapas de risco Elaboração de mapas de potencial
Monitoramento	Acompanhamento da evolução dos fenômenos através da comparação de mapeamentos sucessivos no tempo	Monitoramento da cobertura florestal Monitoramento da expansão urbana
Logístico	Identificação de pontos e rotas	Definição da melhor rota Identificação de locais para implantação de atividades econômicas

Fonte: Apud Oliveira *et al.* (2011)

Para realizar todas essas atividades esse sistema disponibiliza de vários softwares. Segundo Melo (2005) uma das principais vantagens de um software SIG está no fato dele proporcionar:

- Liberdade de execução do programa com qualquer finalidade.
- Liberdade para estudar o programa e adaptá-lo à sua necessidade (acesso ao código-fonte é um requisito).
- Liberdade para redistribuir cópias do software.
- Liberdade para aperfeiçoar o programa e liberar os seus aperfeiçoamentos (acesso ao código-fonte é um requisito).

Sperb *et al.* (2010) diz que na aplicação de técnicas de geoprocessamento destaca-se a utilização de software livre, especialmente os de código aberto (opensource), e representam alternativas a sistemas comerciais, que embora consistentes, implicam em relativo alto custo, além de dependência de tecnologia proprietária.

Para Oliveira *et al.* (2011), algumas das principais soluções livres no segmento das geotecnologias são: gvSIG, Kosmo, Spring, PostGis, MapServer, GeoServer.

5.1.1. Software Spring

Criada em 1991 pelo INPE (Instituto de Pesquisas Geográficas) e o DIP (Divisão de Processamento de Imagem) o Spring (Sistema de Processamento de Informática Georreferenciados) é um banco de dados geográfico de 2º geração, para ambientes Unix e Windows, baseado num modelo de dados orientado a objetos, dos quais são derivados sua interfase de menus, altamente interativa e amigável.

De acordo com INPE o Spring possui as seguintes características:

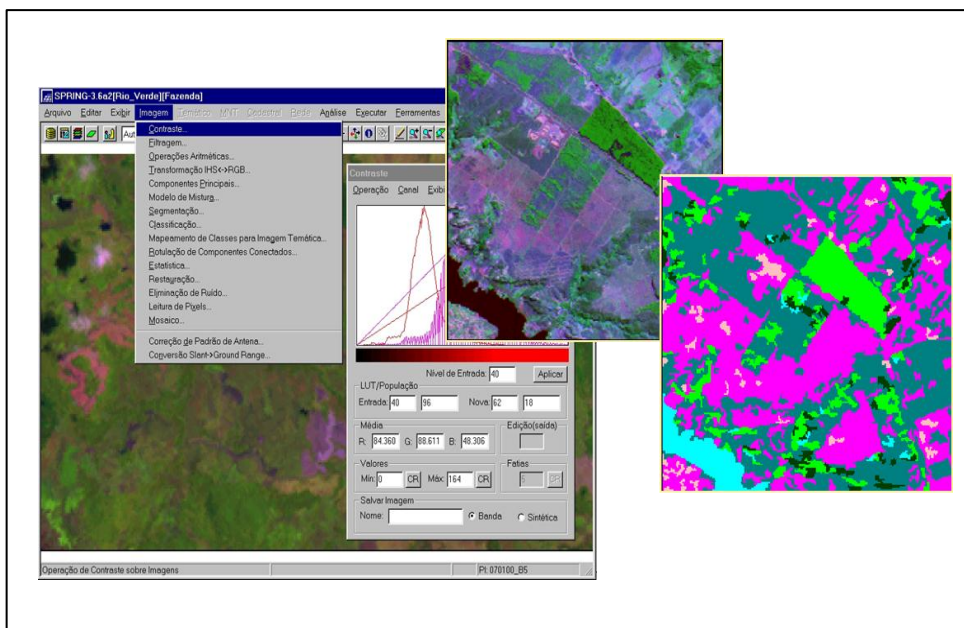
- Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;
- Prove um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra).
- Consegue escalonabilidade completa, isto é, é capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde microcomputadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

De acordo com Santos *et al.* (2010), outra característica extremamente importante, é que a base de dados é uma única, isto é, a estrutura de dados é a mesma quando o usuário trabalha em um microcomputador (IBM – PC) e em uma máquina RISC (Estação de Trabalho Unix), não necessitando de alguma conversão de dados.

Por ser um *software* de domínio público o Spring está sendo cada vez mais utilizado na área de Geoprocessamento, em especial para construção de mapas de Zoneamento Ambiental, Planejamento Urbano e Uso e Ocupação do Solo. Segundo Silva e Freitas (2007), o Spring¹ constitui-se como um *software* eficaz na

construção de mapas temáticos, objetos esses essenciais para a análise das condições territoriais e subsidiadores na elaboração de propostas de planejamento ambiental, principalmente para as que tenham como foco o turismo.

Figura 7: Software Spring



5.1.2. Software Arcgis

O Arcgis é um pacote de *Software* da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas, sendo mais voltado para a elaboração de mapas, consulta e análises geocomputacionais (SANTOS, 2009).

O Software Arcgis possui três estruturas de aplicativos: ArcCatalog, ArcMap e ArcToolbox. Para Trocado (200-?) a utilização destas três subaplicações permite ao utilizador desempenhar qualquer tarefa simples ou complexa, incluindo a gestão de dados geográficos, construção de Cartografia, análise espacial, edição avançada de dados ou ligação de base de dados externas.

De acordo com a ESRI ele possui seguintes características:

- Facilidade de uso: oferece ferramentas de mapeamento, análise e gerenciamento de dados, utilizadas em todos os níveis da família ArcGIS e facilmente customizadas;

- Extremamente funcional: incorpora poderosas ferramentas de edição, cartografia avançada, administração de dados aprimorados e análises espaciais sofisticadas;

- Escalável: desenvolvido em estruturas modernas de componentes orientados a objetos, permitindo que os softwares que compõem a família ArcGIS, compartilhem os mesmos aplicativos, interfaces de usuário e conceitos de operação;

- Habilitado para a Internet: pode ser utilizado para a obtenção de dados geográficos pela Internet ou Intranet;

- Facilidade de customização: construído sob padrões abertos de mercado, o ArcGIS é rico em funcionalidades, com extensa documentação e completamente customizável com as linguagens padrões mais utilizadas pelos profissionais de informática;

- Suporte a todos os padrões de dados vetoriais compatíveis ESRI, entre estes:

- *Shapefile*: formato de armazenamento de dados vetoriais baseados em arquivos. Armazena feições geográficas e seus atributos sem topologia. É o formato padrão do ArcView 3.x;

- *Coverage*: formato de armazenamento de dados vetoriais baseados em arquivos. Armazena feições geográficas e seus atributos com topologia. É o formato padrão do ArcInfo 7.x;

- *Geodatabase*: é o formato nativo do ArcGIS, que introduz uma nova geração de modelo de dados para representação das informações geográficas.

Ele trabalha com imagens SRTM, que se refere ao Modelo Digital de Elevação (DEM), onde nos permite obter informações em três dimensões espaciais. Hoje em dia é visível o crescimento do uso de dados matriciais de SRTM atrelado ao Arcgis, já que os mesmos servem de grande apoio na construção de Mapas para os estudos dos Solos e seus componentes, na preservação de Zonas Ambientais e para o Uso e Ocupação do Solo nas Cidades.

Os produtos orbitais são ferramentas das quais transmitem por meio de sensores espectrais informações sobre o uso e cobertura da terra por meio de uma visão sinótica. A radiação solar incidente na superfície terrestre interage de modo diferente com cada tipo de alvo devido as diferentes composições físico-químicas dos objetos ou feições terrestres, estes fatores fazem com que cada alvo terrestre tenha sua própria *assinatura espectral* (FIGUEIREDO, 2005). Os sensores que são instalados nos satélites são sensíveis a essas variações, dessa forma elas são coletadas e registradas.

Para esse trabalho foram utilizados os seguintes produtos orbitais:

Tabela 2: Produtos orbitais utilizados

PRODUTOS UTILIZADOS: LANDSAT 05 DE MAIO DE 2008	
BANDAS	ATRIBUTOS
BANDA 01	
BANDA 02	B
BANDA 03	
BANDA 04	G
BANDA 05	
BANDA 06	R
BANDA 07	

5.1.3.1. *SRTM e Imagens Espectrais (Landsat)*

O sistema LANDSAT (LAND Satélite) foi o primeiro a obter de forma sistemática, imagens terrestres sinópticas de média resolução. Desenvolvida pela NASA o satélite era equipados com os sensores MSS (Multispectral Scanner System) (FIGUEIREDO, 2005).

Segundo Meneses *et. al* (2012). O sensor realiza uma varredura do terreno em linhas sequenciais, cada linha sendo amostrada por uma área unitária (pixel). Ainda de acordo com o mesmo autor, o valor digital do pixel é uma média dos valores de radiância, emitância ou retroespalhamento, dos diferentes alvos que podem estar contidos no pixel. Posteriormente é feita a classificação e conversão desses dados em imagens espectrais, onde podem ser utilizadas para as mais deferentes finalidades.

No processo de delimitação automática de bacias hidrográficas em SIGs, são utilizadas informações de relevo, representadas por uma estrutura numérica de dados correspondentes ao MNT, que pode ser obtido por meio da interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica ou através de imagens de sensores remotos (ALVES SOBRINHO et al., 2010).

No intuito de enriquecer a alimentação de dados altimétricos dos continentes terrestres, a *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) gerou uma coleção de dados topográficos levantados a partir de plataforma orbital. Este sistema

de radar operou baseando-se na técnica de interferometria a fim de obter dados para elaborar um MDE em escala quase global (MARQUES et. al, 2011).

Atualmente além das SRTMs geradas pela Agência Espacial Norte Americana, NASA, e disponibilizadas no Brasil pelo INPE e pela EMBRAPA existem outro grupo que fornece dados topográficos, gerado a partir de imagens do sensor Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – ASTER, desenvolvido pela Agência Espacial Japonesa JAXA e que se encontra a bordo do satélite TERRA (JAXA, 2010). Juntos eles cobrem uma grande parte da superfície terrestre.

6. METÓDOS

Para construção dos mapas de solo e uso e ocupação do solo geralmente utiliza-se os softwares ArcGIS, softwares da ESRI (Environmental Systems Research Institute) e Spring¹, por meio deles é possível encontrar o limite de bacias hidrográficas. Para delimitação de bacias torna-se necessário gerar o modelo numérico de terreno (MNT), que pode ser obtido a partir de imagens satélite. Uma das imagens de satélite muito usadas são as provenientes do projeto Topodata (Banco de dados Geomorfométricos do Brasil – DSR), que utiliza imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).²

Nesse trabalho foram utilizadas as imagens SRTM do projeto Topodata que processado no ArcGIS para delimitação da bacia. A classificação das imagens foram realizadas no Spring. Esta última ferramenta têm grande facilidade no georreferenciamento das imagens e na classificação do uso e ocupação solo, onde se mostrou bastante eficiente.

Os dados de solos da bacia em estudo foram obtidos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)³. Para criar o mapa de uso e ocupação do solo foi necessário fazer o processamento inicial no Spring e finalizar no ArcGIS. Com os mapas dos tipos de solos e o de classificação do solo, foi realizado uma sobreposição para obtenção do mapa de CN, de acordo com o método do SCS (Serviço de Conservação do Solo) que atribui um valor numérico de

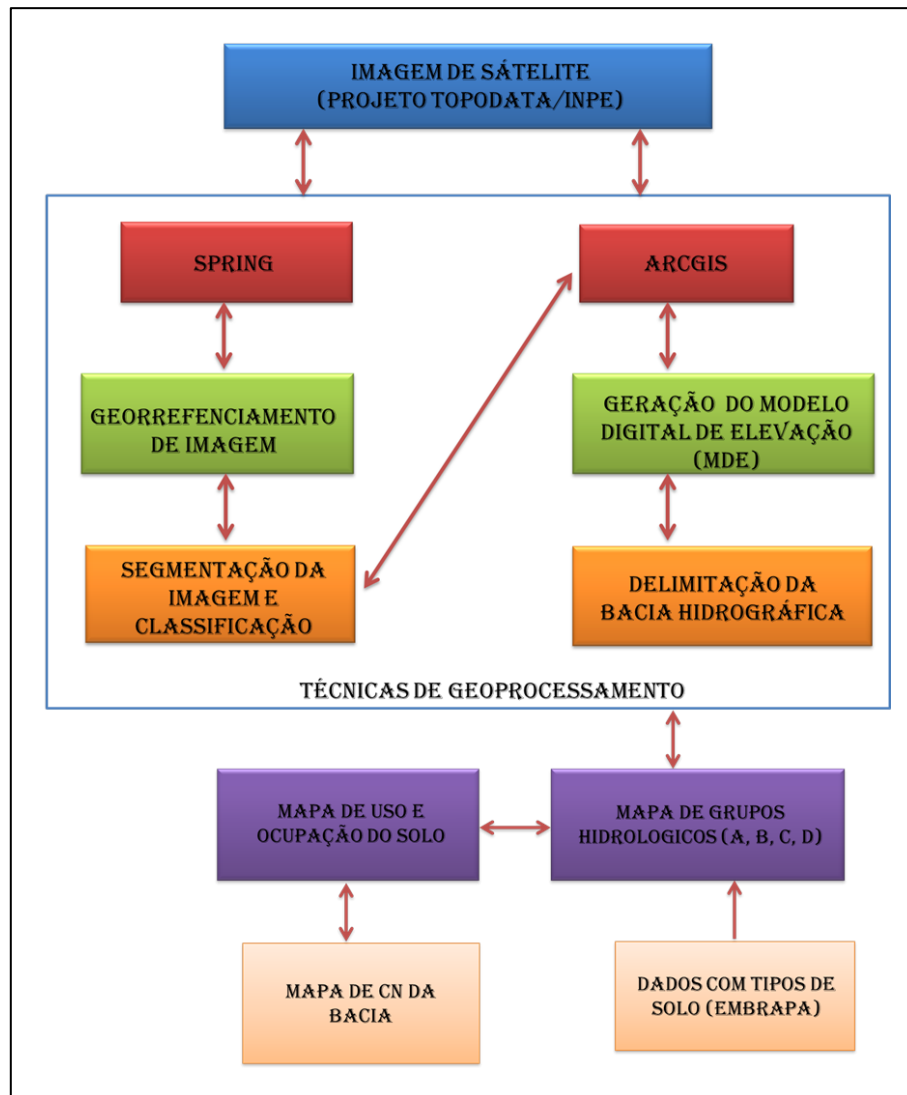
¹ disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring>

² disponíveis em: <http://drs.inpe.br/topodata/dados.php>.

³ disponível em: http://www.dip.inpe.br/.../mapa_solos.php

CN de 0 a 100 de acordo com o grau de impermeabilização em que se encontra os solos da bacia.

Figura 9: Fluxograma da metodologia adotada



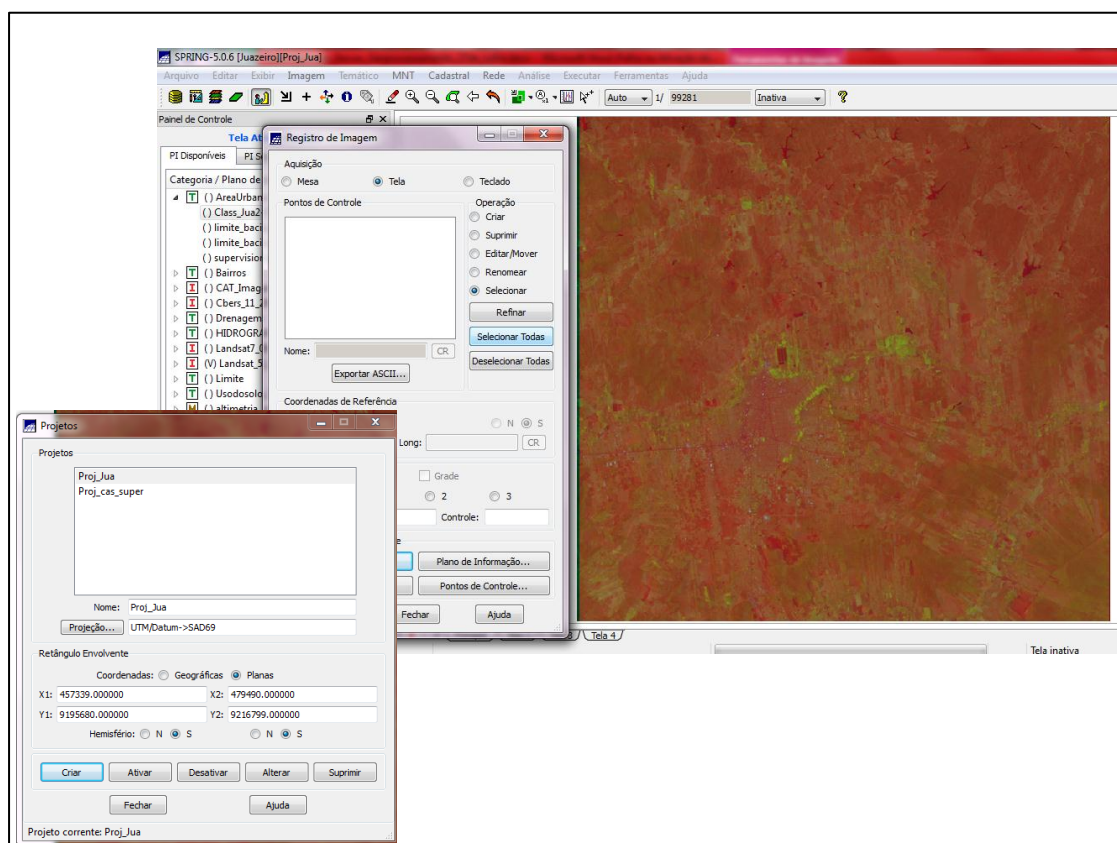
A metodologia utilizada consiste na utilização das geotecnologias, das quais podemos citar as técnicas de geoprocessamento, que vai desde a importação das imagens espaciais para os *softwares* até a delimitação do limite da bacia hidrográfica, onde nesse processo são realizados vários tipos de tratamento dessas imagens. Através do Sensoriamento Remoto e com o uso de alguns dados fornecidos pela EMBRAPA é feita construção dos Mapas de Uso e Ocupação do Solo e posteriormente a apresentação de um mapa com a estimativa dos valores de CN do Departamento de Serviço de Conservação do Solo (SCS) para a bacia.

6.1. Georreferenciamento da imagem

O georreferenciamento da imagem se deu por meio da criação de um banco de dados no Spring, neste fica identificado o sistema de projeções que será utilizado para a manipulação da imagem, no caso em análise o sistema UTM e Datum SAD69. Para fazer a manipulação das imagens foram criados os PIs (Planos de Informação), que tem como função armazenar cada uma das bandas da imagem espectral, que antes foram convertidas para o formato SPG (formato próprio do *software* para tratamento de imagens).

As imagens se encontravam no formato tiff, então através do IMPIMA, que é uma das ferramentas do Spring, já possível fazer essa conversão. Em seguida é feita a importação e o registro da imagem que consiste em atribuir cinco pontos de controle a imagem para posiciona-la corretamente no programa através de coordenadas. As coordenadas utilizadas foram retiradas Carta da SUDENE do município de Juazeiro do Norte - CE. Esse processo pode ser visto na imagem abaixo.

Figura 10: Ilustração do processo de Georreferenciamento utilizado



6.2. Definição do Limite da Bacia

Para geração do limite da bacia foi usado o ArcGIS usando a imagens de satélite do projeto Topodata. Estas imagens já estão georreferenciadas no sistema de coordenadas UTM e Datum WGS – 84.

Em seguida foi gerado a partir destas imagens, a direção do fluxo de água, o fluxo acumulado, a drenagem, identificação do exutório e geração do limite da microbacia. Para construir os mapas de tipo de solo e de uso e ocupação foi necessário compatibilizar o limite da bacia a outra coordenada geográfica, Sad 69. Para que isso fosse possível, foi utilizado o limite do trabalho de Costa (2011).

6.3. Identificação da Classificação do Solo

A classificação da Microbacia para os tipos de solo foi feita de acordo com a Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (SCS), com a utilização do Software ArcGIS e com o Mapa de Solos da Embrapa. Para identificar que tipo de solo se encontra o limite da microbacia foi necessário comparar as manchas de solos disponíveis na área previamente delimitada da bacia. Os solos encontrados na bacia foram dois tipos: Argilossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, compreendendo uma área de 41,014 km² e Neossolo Litólico Eutrófico, compreendendo uma área de 5,955 km².

Com os tipos de solo foi encontrada a classificação do grupo de solos. Para isso foi utilizada a Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, que é uma adaptação do modelo do SCS (Serviço de Conservação do Solo) para os tipos de solo existentes no Brasil, realizadas por Lombardi Neto *et al.* (1989). De acordo com essa classificação os solos são divididos em quatro grandes grupos que tem por base as características ou definições apresentadas pelo método SCS:

- Grupo A
- Grupo B
- Grupo C

- Grupo D

Cada grupo foi dividido de acordo com a sua susceptibilidade, erosão e a produção do escoamento. A adaptação foi feita da seguinte forma, foi analisada a estrutura dos solos do Brasil e para cada tipo de solo foi atribuído um grupo de solo de acordo com o método do SCS, então foi criada uma tabela onde podemos identificar a que grupo pertence determinado solo. Dessa forma os grupos que se enquadram em nossos tipos de solo são o grupo C e D, suas características são as apresentadas na Tabela 3:

Tabela 3: Tipos de Solo com sua classificação segundo o método do SCS

Grupo Hidrológico C		
Característica do Solo	Grupo pertencente	Classe pertencente
➤ Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm); ➤ Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; ➤ São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta; ➤ Solos associados a argila de atividade baixa (Tb); ➤ A textura nos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: arenosa/média e médio-argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argiloso.	ARGISSOLO	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa ARGISSOLO AMARELO Distrófico arênico A moderado, textura arenosa/média ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa
	CAMBISSOLO	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico A moderado textura média CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico
	ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO	ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico
	NEOSSOLO FLÚVICO	NEOSSOLO FLÚVICO Solos Aluviais

Fonte: Adaptado de Lombarde Neto *et al* (2005)

Tabela 4: Tipos de Solo com sua classificação segundo o método do SCS

Grupo Hidrológico D		
Característica do Solo	Grupo pertencente	Classe pertencente
➤ Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão; ➤ Solos rasos (prof. < 50 cm); ➤ Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1; ➤ Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta); ➤ Solos orgânicos.	NEOSSOLO LITÓLICO	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico
	ORGANOSSOLO	ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico
	GLEISSOLO	GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado, textura errática GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura Argilosa GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico
	CHERNOSSOLO	CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura Argilosa; CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa;
	PLANOSSOLO	PLANOSSOLO; HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A roeminente textura média/argilosa;
	VERTISSOLO	VERTISSOLO
	ALISSOLO	ALISSOLO CRÔMICO Argilúvico abrupto A moderado textura média/muito argilosa;
	LUVISSOLO	LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média;
	AFLOREAMENTOS DE ROCHA	AFLOREAMENTOS DE ROCHA
	CAMBISSOLOS	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico gleico; CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico; CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico A moderado textura argilosa/média;
	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO

Fonte: Adaptado de Lombarde Neto *et al* (2005)

6.4. Classificação de uso e ocupação do solo

Para geração do uso e ocupação do solo foi utilizado o software Spring⁴. Posteriormente foram coletadas imagens espectrais do satélite landsat 7 do ano de 2008 disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), onde foram realizados o seguinte passos: georreferenciamento da imagem, segmentação e refinamento da classificação do solo.

6.5. Segmentação e Refinamento da Classificação de Uso e Ocupação

Para realizar a classificação do solo é necessário ter o refinamento das imagens, ele acontece ao realizar a segmentação. A segmentação é uma técnica de agrupamento de dados, na qual somente as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas. Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada "pixel" como uma região distinta. Calcula-se um critério de similaridade para cada par de região adjacente espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então realiza-se a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido. O resultado é uma imagem rotulada, cada região apresentando um rótulo (valor de nível digital), que devem ser classificadas por classificadores de região (AFFONSO, 2002).

A segmentação mais próxima de um valor de nível digital que identificasse os grupos desejados na classificação pode ser encontrada por meio vários teste, onde é feito várias variações da área de similaridade e área em pixels. Essa variação mostra que se usarmos valores baixos entre 1 e 10 para a similaridade e área a região para rotulação dos grupos será menor e se utilizamos valores maiores 100 e 300 para a similaridade e área a região para rotulação das imagens será maior.

A classificação é um processo que pode ser supervisionado ou não supervisionado. Na classificação supervisionada, determinam-se inicialmente as assinaturas espectrais das categorias utilizadas na classificação, que são solo predominantemente pavimentado, vegetação, rio e prédios, essa classificação esta

⁴ Disponível em (<http://www.dpi.inpe.br/spring>)

baseada na precisão da imagem de satélite, visto que esses seriam os pontos mais fáceis de identificar na segmentação e que trariam menor erro de confusão entre as regiões de seleção, depois, é associado a cada pixel a assinatura espectral mais similar.

A classificação supervisionada compreende os seguintes passos:

- Localizar exemplos representativos de cada tipo de cobertura que pode ser identificado na imagem (definição das áreas de treino);
- Digitalizar polígonos em torno de cada área de treino, atribuindo um único identificador para tipo de cobertura;
- Analisar os *pixels* contidos nas áreas de treinos e criação de assinaturas espectrais para tipo de cobertura.
- Classificação de toda a imagem, considerando cada pixel individualmente, comparando a sua assinatura particular com cada uma das assinaturas conhecidas. Existem várias técnicas para tomar a decisão com qual das assinaturas o pixel mais se parece, que se denominam de classificadores (recurso à análise estatística).

Na classificação feita foi utilizada uma segmentação com área de similaridade 10 e 20 de área em pixels, já que valores maiores ou menores para a segmentação da imagem dificulta a identificação dos grupos de interesse. Se forem grandes valores, a área de segmentação criada tende a ter poucos grupos dos quais suas área são maiores do que aquelas identificadas nas imagens, ao utilizar valores muito baixos para a segmentação e área não, tornasse difícil a identificação dos grupos gerados na classificação, criando uma área de confusão média entre as regiões escolhidas.

6.6. Uso e Ocupação do Solo

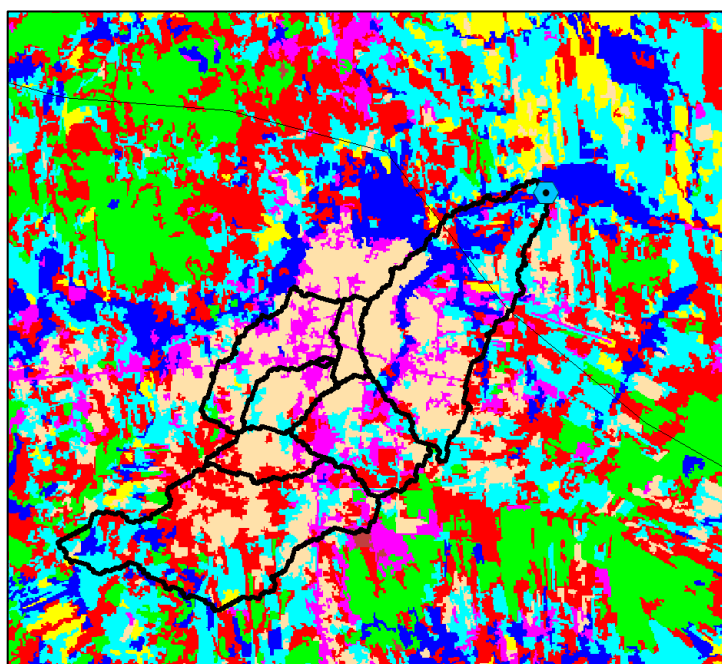
Com a classificação feita no Spring, foi importada para o Arcgis a imagem que melhor representasse as classes:

- Áreas urbanas,
- Rio,
- Solo exposto,
- Solo predominantemente pavimentado,

- Vegetação rala,
- Vegetação s/folhagem,
- Vegetação.

Em seguida foi feita uma sobreposição do limite da Microbacia Riacho dos Touros sobre a classificação, para com isso gerar a classificação do limite e posteriormente encontrar as áreas de cada classe para a geração do CN (Método de Número Curva).

Figura 11: Sobreposição do limite sobre o uso e ocupação do solo



6.7. Cálculo de CN (Método de Curva Número)

Com os tipos de solo e a classificação do uso e ocupação do solo cria-se o mapa de CN, isso é possível devido a uma sobreposição dos Mapas, com isso é possível identificar que tipo de solo se encontra em cada uma das classificações do uso da bacia.

De acordo com o manejo de solo pode-se ter condições hidrológicas ruins, médias ou boas. Em função disso a NRCS (Natural Resources Conservation Service) responsável pela classificação de mais de 4.000 solos, estabeleceu o CN (Curve Number), que é um dos principais parâmetros utilizados para o cálculo da vazão máxima das bacias. Ele corresponde às condições de umidade antecedente

do solo (AMC) médias, denominadas AMCII. A AMCII que corresponde à condição de umidade média com alturas antecedentes nos últimos cinco dias de chuvas escassas de 12,5 a 28 mm e em épocas de chuvas propriamente de 35 a 53 mm.

Por meio da classificação do solo e das descrições da área e do grupo hidrológico, a NRCS criou valores de CN mais prováveis, dentre os quais destacam-se alguns desses valores que foram utilizados para a construção do mapa, considerando os padrões de uso e ocupação do solo da microbacia em estudo.

Para tornar possível o cálculo de vazão, foi adotado o CN ponderado encontrado através da junção dos estudos de uso e ocupação do solo e o método do SCS (equação 1). O valor do CN deve ser ponderado em função dos diferentes usos e ocupação (cobertura) do solo pela seguinte equação.

Equação 1: Equação do CN ponderado médio

$$CN_{pond} = \frac{\sum(CN_c \cdot A_c)}{A_t}$$

Em que:

CN_{pond}= Valor do Curva Número ponderado, adimensional.

CN_c= Valor da Curva Número de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia, adimensional.

A_c = Área de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia em ha.

A_t = Área total da bacia, em ha.

De acordo com Schäfer (2013), deve-se utilizar essa fórmula no caso de existir mais de um tipo de solo e/ou mais de uma classe de cobertura superficial do terreno em uma bacia.

7. RESULTADOS E DISCURSÕES

7.1. Caracterização morfométrica da bacia

Para construção dos mapas de solo foi feito inicialmente a caracterização morfométrica da bacia, nisso consistia identificar o exutório, área, perímetro entre outros. Os resultados podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 5: Tipos de Solo com sua classificação segundo o método do SCS.

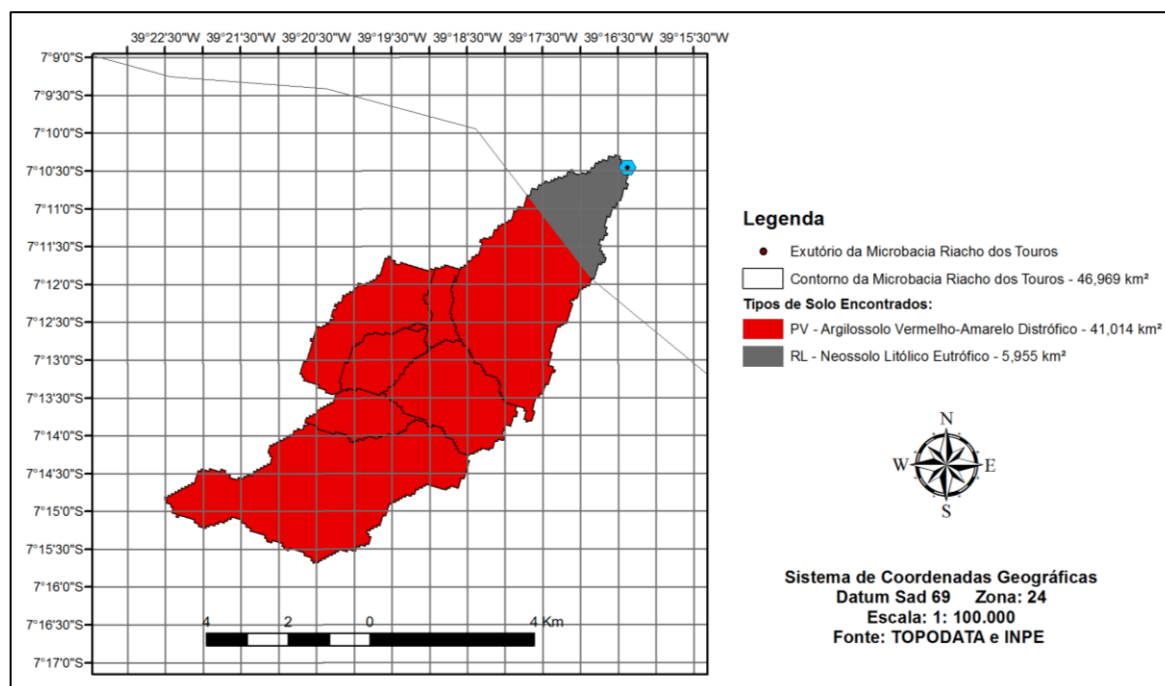
Caracterização morfométrica da microbacia Riacho dos Touros	
Área	46,969 km ²
Perímetro	42,827 km
Rio principal	15.644,80 km
Declividade média	12,26%.

Como neste trabalho o interesse principal é a identificação do CN para a microbacia em estudo então, para obtenção do valor da declividade foi considerado os resultados encontrados de acordo com o trabalho realizado por Costa (2011).

7.2. Solos

Com a sobreposição do mapa de solos fornecido pela EMBRAPA sobre o limite da microbacia Riacho dos Touros percebeu-se que ela esta localizada entre dois solos: Argilossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, compreendendo uma área de 41,014 km² e Neossolo Litólico Eutrófico, compreendendo uma área de 5,955 km², como pode ser visto na figura 12.

Figura 12: Mapa dos tipos de solo para a microbacia Riacho dos Touros, CE



De acordo com a divisão dos grupos de solo a partir da sua característica relacionada à capacidade de infiltração e a porcentagem de escoamento. Uma vez definida o tipo de solo, pode-se encontrar o grupo a que ele pertence.

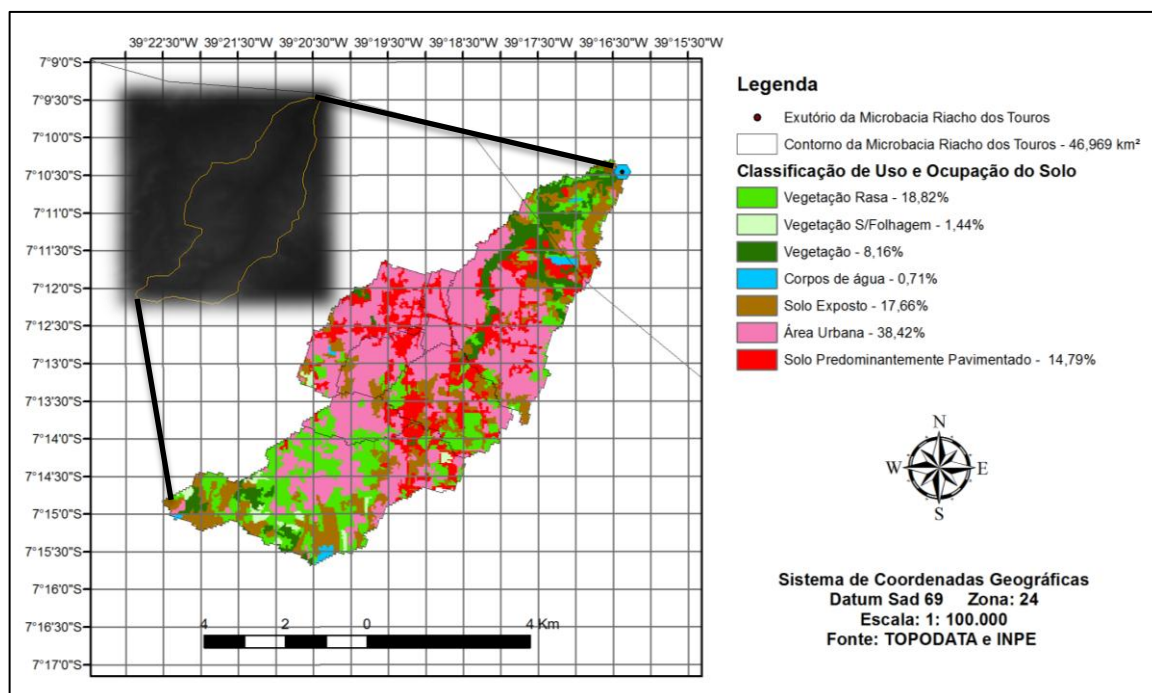
Com base no mapa de solos e de acordo com a tabela dos grupos hidrológicos dos solos foi notados que a microbacia Riacho dos Touros se localizava entre o grupo C e D, compreende entre outros os solos argilosos e solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão.

7.3. Uso e Ocupação do Solo

Na classificação feita os grupos melhor identificados foram: solo predominantemente pavimentado, vegetação, rio e prédios. Essa classificação esta baseada na precisão da imagem de satélite, visto que esses seriam os pontos mais fáceis de identificar na segmentação e que trariam menor erro de confusão entre as regiões de seleção para a classificação.

Através da sobreposição do limite da bacia sobre a classificação feita pode-se verificar também o tamanho da área que cada grupo pertence, como pode ser visto no mapa em seguida.

Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo com detalhe da drenagem existente da microbacia Riacho dos Touros, CE

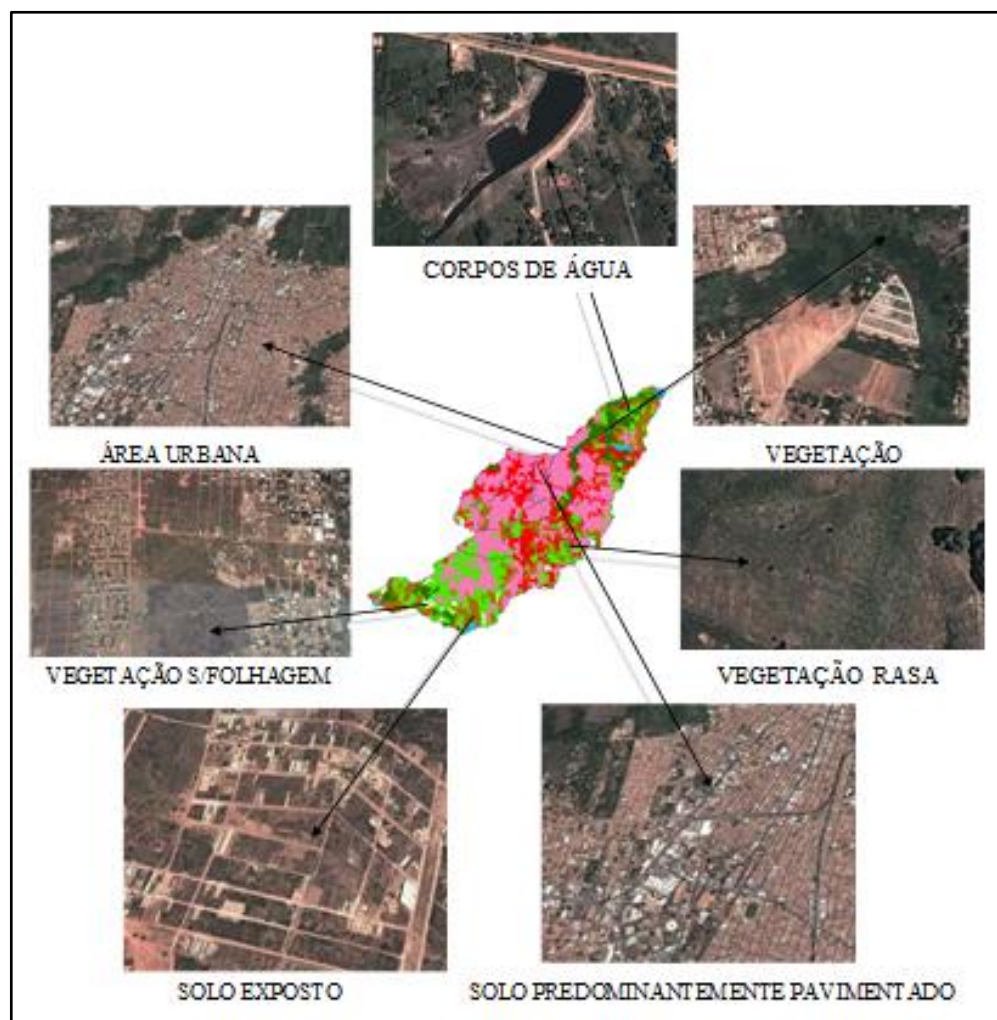


De acordo com o mapa, o limite da microbacia possui 28,42% de área com vegetação o que equivale a 13,34 Km², pode-se perceber também que 53,21% (24,99 Km²) é constituída por área urbana e solo predominantemente pavimentado, apenas 0,71% (0,33 Km²) dessa mesma área foi identificado como corpos de água e 17,66% (8,29 Km²) mostrou pertencer ao solo exposto. Com isso é constatado que nessa microbacia existe um grau de urbanização bastante elevado para uma pequena bacia com área total de 46,969 km².

7.3.1. Validação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Essa atividade é utilizada para fazer uma comparação das classes de uso e ocupação determinadas com a realidade da bacia em estudo. Para torna valido as classes criadas do mapa de uso e ocupação do solo foram feitas pequenos reconhecimentos em imagens retirados do Google Earth com data de janeiro de 2014, como pode ser visto a seguir na figura 14.

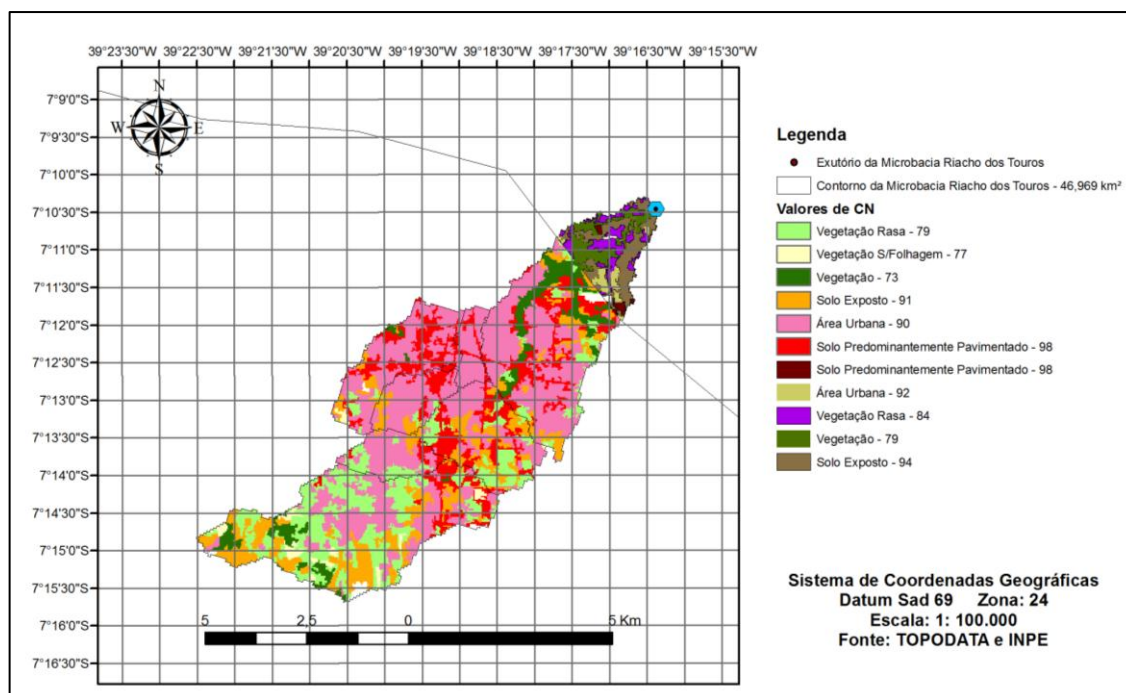
Figura 14: Validação do mapa de uso e ocupação do solo para a microbacia Riacho dos Touros, Município de Juazeiro do Norte, CE



7.4. Representação do CN

Com os tipos de solo e a classificação do uso e ocupação do solo foi feito o mapa de CN (Figura 13), isso foi possível devido à sobreposição do Mapa de Solo sobre o Mapa de Uso e Ocupação do Solo gerados, identificando qual a classe que ele pertence de acordo com o tipo de solo.

Figura 15: Mapa de CN para a microbacia Riacho dos Touros, CE



Como pode ser visto, para uma bacia bastante urbanizada os valores de CN encontrados são bastante altos. O método do SCS utiliza parâmetros que variam de acordo com a taxa de urbanização da bacia. Aquelas que tiverem índice de impermeabilização maior consequentemente terão valores de escoamento (C) e CN respectivamente mais altos. A cada grau de urbanização é atribuído um valor, assim a uma variação de 0 a 100, onde 100 seria para solos totalmente impermeáveis e 0 para solos com a taxa de infiltração ilimitada.

7.4.1. Valor do CN representativo para microbacia

Como a microbacia em estudo apresentou vários valores de CN devidos à variedade de classe de uso e ocupação do solo, e com o fato de que o limite da microbacia encontra-se entre dois tipos de solo pertencentes a grupos de solo diferentes, foi necessária a determinação do valor do CN representativo para possibilitar a determinação da vazão máxima em estudos posteriores pelo método do SCS. A seguir tabela com os valores de CN e suas respectivas áreas.

Tabela 6: Valores de CNs de acordo com a classificação e suas áreas.

CLASSIFICAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO	GRUPO DE SOLO	ÁREA (ha)	CN
Vegetação Rasa	D	1,69	84
Vegetação Rasa	C	7,16	79
Vegetação S/Folhagem	C	0,68	77
Vegetação	D	0,99	79
Vegetação	C	2,84	73
Solo Exposto	D	1,91	94
Solo Exposto	C	6,38	91
Área Urbana	D	1,67	90
Área Urbana	C	16,37	92
Solo Predominantemente Pavimentado	D	0,10	98
Solo Predominantemente Pavimentado	C	6,85	98

Para continuação do cálculo foi utilizada cada área da classificação criada com o seu respectivo valor em área (há) associado a área total da microbacia, como pode ser visto na equação a seguir.

Equação 2: Demonstração do cálculo do método CN ponderado médio

$$CN_{pond} = \frac{\Sigma((1,69.(84)) + (7,16.(79)) + \dots + (6,85.(98))}{46,969}$$

Assim, considerando os diferentes valores de CN e suas respectivas áreas, o valor do CN representativo para a microbacia do Riacho dos Touros foi de 89, obtido através da média ponderada apresentada pela Equação 01.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho pode-se obter algumas considerações a respeito da evolução do grau de urbanização que se encontra a referida bacia, de acordo com o mapa de uso e ocupação do solo. Assim, a microbacia possui mais de 50% de sua área urbanizada e pavimentada, sendo que a maior parte pertence à área

urbana, também mostrou que a quantidade de vegetação existente nesse local é pequena, já que apresentou valores inferiores a 30% da área total do limite.

Uma grande comprovação dessa situação é que a bacia apresentou valores altos de CN. Assim, considerando que os valores de CN variam de 0 a 100, para microbacia o menor valor existente é 73 e o maior 98, valor muito próximo dos valores máximos de CN. Dessa forma, claramente a microbacia Riacho dos Touros está densamente urbanizada como foi apresentado em adicional pela validação da classificação.

Devido à quantidade e variedade de CNs encontrados e como a finalidade de estimar a vazão máxima em trabalhos posteriores, foi determinado o CN representativo da microbacia em estudo e o valor obtido foi de 89. Dessa forma, este estudo mostrou o potencial que as geotecnologias têm para a construção de mapas e apoiar no estudo dos recursos naturais além de apoiar no planejamento das áreas urbanas.

9. RECOMENDAÇÕES

Para obtenção de melhores resultados, ao se trabalhar com imagens de satélite é recomendado a utilização de imagens com sensores de alta resoluções, no caso deste trabalho, a imagem disponível possui uma resolução de 30 m para cada pixel, o que representa uma confusão maior na hora de realizar a classificação para o reconhecimento da representação de cada pixel, ao utilizar imagens como as fornecidas pelo satélite, como por exemplo, *Ikonos* onde a sua resolução de cada pixel equivale a 1 m, o erro existente na classificação é reduzido e os resultados obtidos são mais precisos.

Como neste trabalho foi feito o estudo de uso e ocupação da microbacia Riacho dos Touros com a finalidade da detecção do CN, entretanto, com os resultados encontrados do uso e ocupação é observado que além de serem utilizados para na identificação da vazão máxima da bacia também podem ser de grande valia para o estudo de planejamento urbano desta cidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFFONSO, A. **Aplicações práticas de processamento de Imagens em Sensoriamento remoto**. (Mestrado Sensoriamento Remoto) - Programa de Pós-graduação no INPE, Universidade de Tabaté - Unitau, fevereiro 2002 pág. 1. Disponível em: https://www.agro.unitau.br/.../Apostilas_praticas... Acesso em: Junho de 2013.
- ALMEIDA, C. M. **Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional**. USJT – arq – número 3/ primeiro semestre de 2010. Disponível em: <https://www.usjt.br/arq.../8argurb3-claudia.pdf>. Acesso em: Junho de 2013.
- ALVES, D. B.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. Modelagem dinâmica do escoamento superficial na área urbana de Santa Maria – RS. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, CURITIBA - PR, INPE. p. 5671-5678, 2011. **Anais...** Disponível em: <https://www.mtc-m19.sid.inpe.br/.../Daniel%20Borini...> Acesso em: Abril de 2014.
- ALVES, T. C. *et al.* **Correlação entre íons aniônicos transportados pelo escoamento superficial em um lisímetro**. 5º Encontro Nacional de tecnologia Química, Maceió/AL – Agosto de 2012, pág. 01. Disponível em: <https://www.obq.br/entique/2012/trabalho/50/50-384-13953.html>. Acesso em: Abril de 2014
- ARAÚJO NETO, J. R. *et al.* **Otimização do Número de Curva (CN-SCS) para Diferentes Manejos na Região Semiárida, Ceará, Brasil**. Irriga, Botucatu, Edição Especial, p. 264 - 279, 2012. Disponível em: <http://www.irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/.../45...> Acesso em: Abril de 2014.
- ARNÉZ, F. A. **Análise de critérios de outorga do uso da água na bacia do rio Santa Maria**, RS. 2002. (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre, 2002, pág. 63. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/1577> Acesso em: Abril de 2014.

BACCARO, C. A. D. Os estudos experimentais aplicados na avaliação dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de cerrado. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia: EDUFU, 1994. p. 55-61.

CÂMARA, G.; DAVIS. C., **Introdução á ciência da geoinformação: Definição de geoprocessamento. Conceitos básicos de um SIG**. DPI – INPE, 2001, fol. 1. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Gilberto/livro/introdução/index.html>. Acesso em: 17 de Junho de 2013.

CÂMARA, G.; MONTEIRO. A. M. V., **Introdução á ciência da geoinformação: Conceitos básicos em ciência da geoinformação**. DPI – INPE, 2001, fol. 1. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Gilberto/livro/introdução/index.html>. Acesso em: 17 de Junho de 2013.

COSTA, C.T.F.; SILVA, F. R.; TAVARES, P.R.L. **Aplicação de Geoprocessamento na Caracterização Morfométrica da Microbacia do Riacho Touro, Ceará**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2012, fol. 1-17.

COHEN, J. **Human population: The next half century**. Science 2003, 302, 1172-1175. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/.../1172.shor...> Acesso em: Fevereiro de 2014.

FEIX, R. S. **Delimitação e análise das áreas de preservação permanente (APP'S) do município de governador Celso Ramos – SC, a partir de técnicas de geoprocessamento**. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) - Escola de Ensino Superior de Oceanografia de Itajaí, 2004, fol. 9. Disponível em: http://www.dip.inpe.br/.../det_pub.php?termo... Acesso em: Abril de 2014.

FERNANDES, R. O. **Introdução ao saneamento básico: Uma visão holística**. Universidade Regional do Cariri, 2014, fol. 10. Disponível em: <http://www.renatodeof@gmail.com>. Acesso em: julho de 2014.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Apostila para iniciantes na compreensão dos conceitos de sensoriamento remoto, 2005. Disponível em <<http://www.cnpq.br>> Acesso em junho de 2014.

FIGUEIREDO, A. P.; OLIVEIRA, L. F. C.; FRANCO, A. P. B. **Avaliação do desempenho de equações de regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil.** Revista eletrônica Ambi – Água, Taubaté, v.3, n.2 p. 62 – 76, 2008. Disponível em: <https://www.ambi-agua.net/ser/index.../512>. Acesso em: Fevereiro de 2014.

FONTE, A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbana. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 8, n.2, abr/jun 2003. p. 137 – 142. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/.../333321ad2e0442b9...> Acesso em: Fevereiro de 2014.

GRISCHEK, T.; FOLEY, A.; SCHOENHEINZ, D.; GUTT, B. Effects of interactions between surface water and groundwater on groundwater flow and quality beneath urban areas. In **Current Problems of Hydrogeology in Urban Areas Urban Agglomerates and Industrial Centres**; Howard, K., Israfilov, R., Eds.; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2002; pp. 201-219.

JAXA: ASTER Global Digital Elevation Model. Disponível em <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/> Acesso em 9 de março de 2010.

JÚNIOR, C. B.; BARBOSA, A. P.; **Geoprocessamento e recursos hídricos.** Aplicações Práticas. São Carlos: EdUFSCar, 2012.

LIMA, H. M. *et al.* Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto**, v. 60, n. 3, p. 525-536, 2007.

LOCK, R. E. N.; KIRCHNER, F.F. **Classificação de imagens multiespectrais Landsat TM e feições de textura: mapeamento da cobertura da terra.** Revista Floresta, 1997. Disponível em <http://www.Ojs.c3sl.ufpr.br/.../article/viewArticle/229...> Acesso em junho de 2014.

MARQUES, H. G. *et al.* **Comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica.** Anais: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -

SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1271.

Disponível em <<http://www.drs.inpe.br/topodata>> Acesso em junho de 2014

MELLO, C. R. *et al.* Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, v. 7, n. 3, p. 494-500, 2003.

MELO, F. E. **Software livre e GIS: Quais são as alternativas.** III Encontro de softwares livre do Amazonas, 2005. Disponível em<
<http://www.tiagodemelo.info/palestras/apresentação-iii-eslam.pdf>>Acesso em agosto de 2014.

MENESES, R. P. *et al.* **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília, 2012. Disponível em
<<http://www.Ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/.../29798>>Acesso em junho de 2014.

MOCKUS, V. Hydrologic Soil Groups. In: USDA-SCS. *National Engineering Handbook: Section 4, Chapter 7, Hydrology.* 1972

MORAIS, E. C. **Capítulo 1 – Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2002, pág. 1 – 23. Disponível em<
http://www.mtc_m12.sid.inpe.br/cal/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.18/doc/CAP1_ECMorais.pdf>Acesso em agosto de 2014.

MOREIRA, M. A. **Sistema Sensores. Atualização do livro fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001, pág. 1 – 22. Disponível em<
<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplina/topo/leb210/angulo/sensorespdf>>Acesso em agosto de 2014.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS): **National Engineering Handbook**, Part 630 Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Chapt. 7, Hydrologic Soil Groups, 2007.

NUNES, F. G. **Modelo Hidrológico e técnicas de Geoprocessamento na estimativa da impermeabilização do solo e escoamento superficial da Bacia**

hidrográfica do Ribeirão Anicuns – Goiânia (GO). Revista Ateliê Geográfico – Goiânia – GO. v-6, n.2, Agosto de 2012, pag. 55 – 74.

OGROSKY, H. O.; MOCKUS, V. Hydrology of Agricultural Lands. In: Chow, V. T. *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill, 1964. Cap. 21, p. 1-97.

OLIVEIRA, D. E. M.; MENESES, F. G. A.; CARNEIRO, E. L. N. C. **O SIG e sua aplicação na geração de mapas temáticos utilizando softwares livres.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) – Campus Parnaíba, 2011, pág. 1 – 22. Disponível em <http://www.ifpiparnaiba.ufms.br/gestor/titan.php?option=com_docmen&task=doc_download&jir> Acesso em agosto de 2014.

PEDROSA, V. A. **O controle da urbanização na macrodrenagem de Maceió: Tabuleiro dos Martins.** 139 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS. Porto Alegre, 1996. Disponível em: <https://www.ctec.ufal.br/.../DissertaçãoValmir.pd...> Acesso em: Junho de 2013.

PINTO, I. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).** Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT). Curso de introdução a Georreferenciação de CH&C. 2009. Disponível em <<http://www.idcplp.net/.../georrefIntroducaoSIG...>> Acesso em junho de 2014.

PINTO, L. H.; PIMHEIRO, S. A. **Orientações básicas para drenagem urbana.** Belo Horizonte: **FEAM** – Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2006. Disponível em: <https://www.feam.br/.../Cartilha%20Drenagem.p...> Acesso em: Abril de 2014.

RENNÓ, C. D. **Modelagem Hidrológica.** Coordenação de Observação da Terra-Divisão de Processamento de Imagens. Apresentação, 2014. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~camilo>. Acesso em: Abril de 2014.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V., **CAPÍTULO 2: CONCEITOS BÁSICOS DE MODELAGEM HIDROLÓGICA.** 2003, 1-33 p. Disponível em: <http://s3-sa-east->

1.amazonaws.com/sa-east1.vimeo.com/videos/187/940/187940333.mp4?...<Acesso em Março de 2014.

ROJO, F. **Aplicaciones de la informatica a la Geografia y Ciencias Sociales**. Madri. Sínteses, 1988. 245 p.

SAITO, N. S. *et al.* **Modelos digitais de elevação no estudo de bacias hidrográficas**. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais do Espírito Santo (UFES), 2012, fol. 126.

SANTOS, D. A. R.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. **Spring 5.1.2 Passo a Passo: Aplicações praticas**. Alegre – ES: CAUFES, 2010. 153 f. Disponível em: <<https://www.mundogeomatica.com.br/...Spring> ...>Acesso em: Junho de 2013.

SANTOS, R. P. **Introdução ao Arcgis: Conceitos e comandos**. Apostila versão 2.1, de Dezembro de 2009.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.4 Out/Dez 2005, 05-18. Disponível em:< <https://www.abrh.org.br/.../2ad1ccf5cc71...> >Acesso em: Junho de 2013.

SCHÄFER, A. G. **Integração do método do curva número em um banco de dados espacial para a estimativa da precipitação efetiva em bacias hidrográficas**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013. Disponível em:< <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0089.pdf> > Acesso em Junho de 2014

SEBUSIANI, H. R. V.; BETTINE, S. C. **Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em microbacia urbana**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Taubaté, SP, v. 7, n. 1, p. 256-285, jan-abr/2011. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/.../236>>Acesso em: Junho de 2013.

SILVA, B. C.; COLIISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. **Simulação da bacia do Rio São Francisco através do Modelo Hidrológico MGB – IPH**. São Luís. **ABRH**, v.1, p. 1 – 22, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/...BACIA_DO_RI... > Acesso em Abril de 2014

SILVA, C. A.; FREITAS, G. V. A geração de mapas temáticos por meio do spring: subsídios para a elaboração de propostas de zoneamento ambiental com fins turísticos. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três - MS**, V 1 – n.º6 - ano 4, Novembro de 2007. Disponível em: https://www.ceul.ufms.br/.../artigo2_SILVA_FR... > Acesso em Abril de 2014

SILVEIRA, A. L. L. da O ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica in TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. p. 35-51.

SLATER, P. N. Remote Sensing, Optics and Optical Systems. Boston (MA): Addison-Wesley Pub. Co., 1980, 575 p.

SOUSA, P.S. Ciclo hidrológico da água. 2009. Disponível em: <https://www.t3.gstatic.com>. Acesso em Abril de 2014

SOUSA, B. H. *et al.* Projeto de Engenharia Ambiental Sensoriamento remoto e Sistema de Informação Geográfica. **Congresso Brasileiro de Geologia (45ª edição em 2010)**; Abril de 2010. Disponível em: <https://www2.sorocaba.unesp.br/.../aulas/.../sig.p...> Acesso em Abril de 2014

SPERB, R.C. *et al.* **Utilização de software livre para análise geoespacial – estudo de caso: seleção de área para instalação de aterro sanitário**. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMar – Univ. do Vale do Itajaí – UNIVALI (rodrigosporb@univali.br). **Geosul, Florianópolis**, v. 25, n. 49, p 159-177, jan./jul. 2010

TARGA, M. S. *et al.* **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil**. **Ambi-Agua**, Taubaté, v.7, n.2, p. 120-142, 2012.

Disponível em <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua-905>>. Acesso em junho de 2014.

TARGA, M. S. **Vazão de Projeto em Bacias Hidrográficas Rurais com Áreas em Declive**. Programa de Pós – Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté – UNITAU, Repositório Eletrônico Ciências Agrária, Coleção Recursos Hídricos, (<http://www.agro.unitau.br/dspace>).p.1 – 20,2011.

TROCADO, P. 200-?. **ArcGis 9. Instituto Superior Técnico**. Disponível em <http://213.63.184.54/SitioDoUrbanismo/manuais/manual_arcgis.pdf> Acesso em agosto de 2008.

UFG-CAC | JUSTINO, ELIANE APARECIDA *et al.* **Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG**, Volume 13, número 2º pag. 16-38, jul/dez. 2011.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia para Utilização de Dados Geomorfológicos Locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Do projeto de Produtividade em Pesquisa “Modelagem de dados topográficos SRTM”, CNPq, processo nº 306021/2004-8 (NV). São José dos Campos, 2008. Disponível em <<http://www.drs.inpe.br/topodata>> Acesso em junho de 2014.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de variáveis morfométrica com dados SRTM para o território nacional: O projeto Topodata**. In XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Anais de XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, p.1-8. Disponível em <<http://www.drs.inpe.br/topodata>> Acesso em junho de 2014.