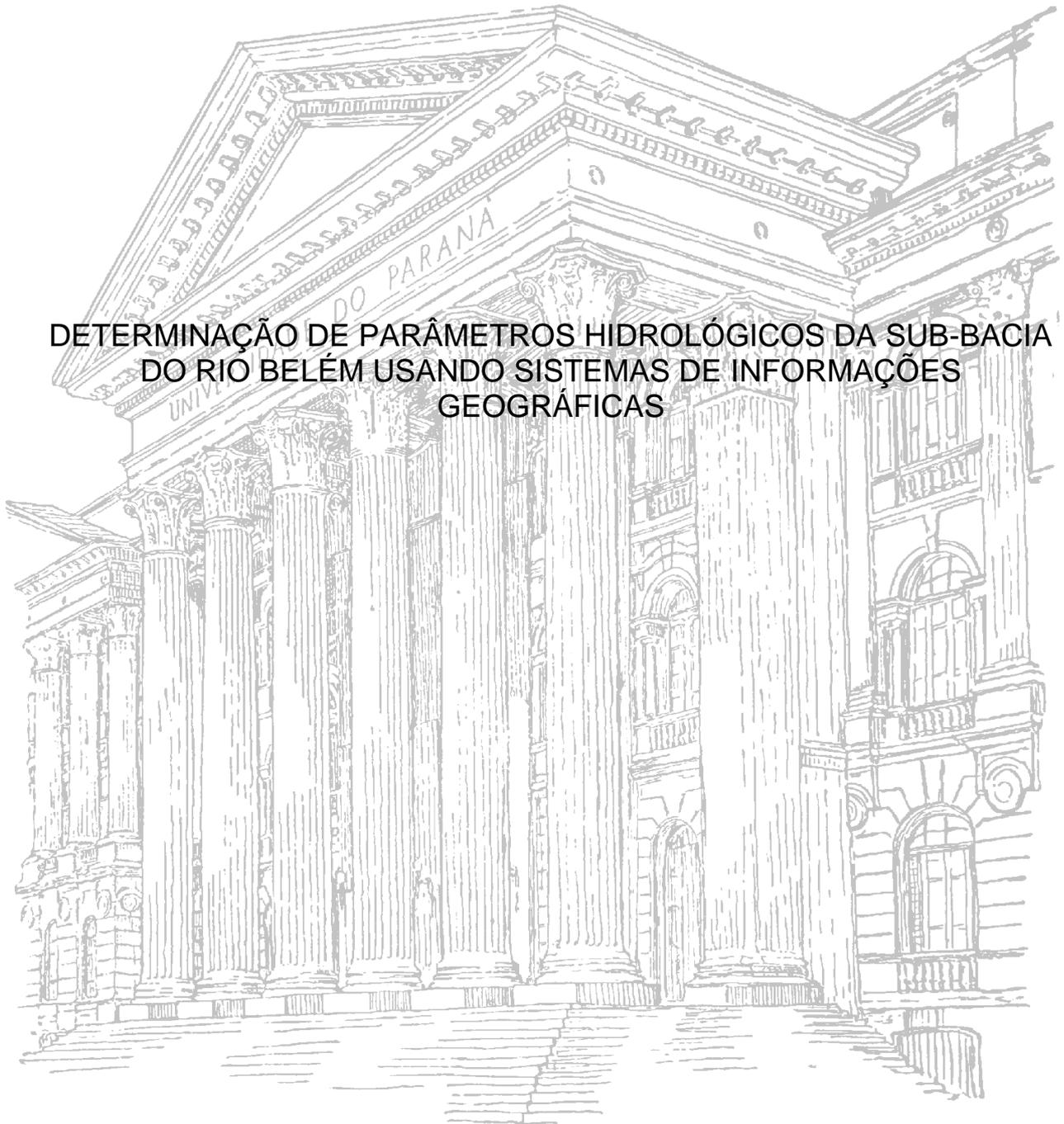


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOSÉ ELIAS MELLEK

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA
DO RIO BELÉM USANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS



CURITIBA
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOSÉ ELIAS MELLEK

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA
DO RIO BELÉM USANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Trabalho apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Especialista em
Geoprocessamento. Programa de Especialização em
Geoprocessamento, Setor de Ciência e Tecnologia.
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Hideo Araki

Curitiba
2012

TERMO DE APROVAÇÃO

JOSÉ ELIAS MELLEK

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DA SUB-BACIA DO RIO BELÉM USANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista no Curso de Especialização em Geoprocessamento, Setor de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Orientador:

Prof. Dr. Hideo Araki

Departamento de Geomática - UFPR



Avaliador:

Profª Ms. Lisana Kátia Schmitz

Departamento de Arquitetura e Urbanismo - UFPR

Curitiba, 07 de agosto de 2012.

Dedico

A DEUS;

A minha amada família.

*“Filho meu, se aceitares as minhas
palavras
e esconderes contigo os meus
mandamentos,
para fazeres atento à sabedoria o teu
ouvido
e para inclinares teu coração ao
entendimento,
e, se clamares por inteligência,
se buscares a sabedoria como a prata
e como a tesouros escondidos a
procurares,
então, entenderás o temor do SENHOR
e acharás o conhecimento do Deus.”
Pv 2: 1-5*

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento CIEG, pela oportunidade desta conquista.

Ao professor Hideo Araki pela amizade, atenção e orientação que sempre me foi dada, muito obrigado.

A professora Lizana Kátia Schmidth, pela oportunidade amizade e grande ajuda em tudo que precisei durante o curso, muito obrigado.

A secretária Maria Inês de Oliveira pela amizade, dedicação e competência que fazem o diferencial deste curso de especialização, muito obrigado.

A todos os professores, do CIEG, pelo compartilhamento de seus conhecimentos.

Aos amigos do Curso de Especialização em Geoprocessamento, pelos momentos, de incentivo nas horas difíceis.

Ao Programa de Especialização em Geoprocessamento, Setor de Ciência e Tecnologia da UFPR.

A Universidade Federal do Paraná pela oportunidade, obrigado.

Resumo

As bacias hidrográficas são consideradas unidades de planejamento ambiental. A densidade de drenagem de uma sub-bacia pode ser determinada e monitorada nestas unidades através do emprego de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). Para o desenvolvimento de atividades em ambiente SIG, são utilizadas informações de relevo representadas por uma estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da altitude do terreno denominada Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido através de interpolação das curvas de nível. Este trabalho teve como finalidade determinar a viabilidade do uso de SIG na caracterização da rede de drenagem da Sub-Bacia do Rio Belém, pela geração de um MDE para a sub-bacia. Alguns atributos de sua rede de drenagem foram obtidos e representados em mapas: o acúmulo de fluxo de água, a densidade de drenagem, da sub-bacia, a ordem hierárquica das vertentes, a altimetria da área e a amplitude de suas declividades. De maneira satisfatória, o uso de SIG, foi positivo com uma base de dados na escala de 1:10.000 para o estudo generalizado na Sub-Bacia do Rio Belém. Contudo, não se obteve um bom resultado quando se tentou gerar um MDE para uma área menor delimitada dentro da sub-bacia pelo fato de que as curvas de nível utilizadas como base de dados estavam espaçadas em 5m o que não evidenciou as diferenças de declividades existentes na área, comprometendo o seu uso na determinação de outros atributos. Acredita-se que a obtenção de pontos cotados através de receptor GPS possa corrigir tal problema através da interpolação das coordenadas geográficas o que viabilizará o uso de SIG para estudos da rede de drenagem da área de interesse dentro da Sub-Bacia do Rio Belém.

LISTA DE FIGURAS

		pg
FIGURA 1	ESQUEMA DE REDE DE DRENAGEM COM CURVAS DE NÍVEL, COTAS TOPOGRÁFICAS, DISVISOR DE ÁGUA E EXUTÓRIO.....	16
FIGURA 2	REPRESENTAÇÃO DA HIERARQUIA DA REDE DE DRENAGEM PROPOSTA POR HORTON.....	17
FIGURA 3	EXEMPLO DE EXECUÇÃO DA DA FUNÇÃO DE DIREÇÃO DE FLUXO.....	18
FIGURA 4	EXEMPLO DE DETERMINAÇÃO DE FLUXO ACUMULADO DA REDE DEDRENAGEM DE SUB-BACIA HIDROGRÁFICA.....	19
FIGURA 5	ESQUEMA DE REPRESENTAÇÃO, EM CAMADAS, DA PAISAGEM EM AMBIENTE SIG.....	22
FIGURA 6	SUPERFÍCIES COM GRADE REGULAR CORRESPONDENTE.....	24
FIGURA 7	SUPERFÍCIE IRREGULAR E MALHA TRIANGULAR.....	25
FIGURA 8	LOCALIZAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIO BELÉM.....	28
FIGURA 9	FLUXOGRAMA DA GERAÇÃO DE BASE DE DADOS PRIMÁRIOS.....	29
FIGURA 10	ESQUEMA ILUSTRATIVO DE PREENCHIMENTO DE DEPRESSÕES ESPURIAS.....	30
FIGURA 11	ESQUEMA ILUSTRATIVO DE PREENCHIMENTO DE DIREÇÃO DE FLUXO DE ÁGUA.....	30
FIGURA 12	ESQUEMA ILUSTRATIVO DE ACÚMULO DE FLUXO D E ÁGUA	31
FIGURA 13	ESQUEMA ILUSTRATIVO DE HIERARQUIA DE VERTENTES APÓS USO DE CON.....	31
FIGURA 14	ESQUEMA ILUSTRATIVO DE HIERARQUIA DE VERTENTES SEGUNDO HORTON.....	32
FIGURA 15	MAPA DE ACÚMULO DE FLUXO DE ÁGUA DA SUB-BACIA DO RIO BELÉM.....	30
FIGURA 16	ESQUEMA DE PADRÕES DE DRENAGEM.....	31
FIGURA 17	ESQUEMA DE PADRÕES DE DRENAGEM.....	31
FIGURA 18	ALTIMETRIA DA SUB-BACIA DO RIO BELÉM.....	32
FIGURA 19	HISTOGRAMA DO PERFIL HIPSOMÉTRICO DA SUB-BACIA DO RIO BELÉM.....	45
FIGURA 20	MAPA DE DECLIVIDADE DA SUB-BACIA DO RIO BELÉM.....	37
FIGURA 21	HISTOGRAMA DE CLASSES DE DECLIVIDADE.....	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	COMPRIMENTO DOS CANAIS DA REDE DEDRENAGEM DA SUB-BACIA DO RIO BELEM.....	38
TABELA 2	QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DAS ALTITUDES DA SUBBACIA DOR RIO BELÉM.....	41
TABELA 3	CATEGORIAS DE CLASSES DE DECLIVIDADE.....	44
TABELA 4	ÁREA EM (ha) DAS CLASSES DE DECLIVIDADE.....	45

SUMÁRIO		PG
1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1	BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	12
2.2	IMPORTÂNCIA DO MANEJO DA ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	13
2.3	ASPÉCTOS FISIAGRÁFICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	14
2.3.1	RELEVO.....	14
2.3.2	REDE DE DRENAGEM.....	15
2.3.3	HIERARQUIA DAS REDES DE DRENAGEM.....	16
2.3.4	DIREÇÃO DE FLUXO.....	18
2.3.5	FLUXO ACUMULADO.....	19
3	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE COMPONENTES FISIAGRÁFICOS COM USO DE SIG.....	20
4	MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA ESTUDO DE SUB- BACIAS.....	21
5	MODELOS HIDROLÓGICOS ESPACIAIS.....	21
6	MODELO DE ELEVAÇÃO REGULAR.....	24
7	MODELO DE ELEVAÇÃO IRREGULAR.....	25
8	DELINEAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E REDES DE DRENAGEM.....	26
9	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
9.1	ÁREA DE ESTUDO.....	27
9.2	OPERAÇÕES QUE ENVOLVEM A MODELAGEM DO TERRENO.....	29
9.2.1	REMOÇÃO DE DEPRESSÕES ESPÚRIAS.....	29
9.2.2	DETERMINAÇÃO DA DIREÇÃO DE FLUXO DOS RIOS.....	30
9.2.3	CÁLCULO DO FLUXO ACUMULADO DE ÁGUA.....	30

9.2.4	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA CONDITIONAL (CON) NA DETERMINAÇÃO DA ORDEM DOS RIOS.....	31
9.2.5	DETERMINAÇÃO DAS ORDENS DOS CURSOS DE ÁGUA (STREAM ORDER).....	32
10	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
10.1	ÁREA DE FLUXO ACUMULADO DAS VERTENTES DO RIO BELÉM.....	33
10.2	ORDEM DAS VERTENTES DO RIO BELÉM.....	36
10.3	ALTIMETRIA DA SUB-BACIA DO RIO BELÉM.....	39
10.4	CLASSES DE DECLIVIDADE DA SUB-BACIA DO RIO BELÉM.....	42
11	CONCLUSÕES.....	46
12	REFERÊNCIAS.....	47

1 - Introdução

A compreensão dos processos hidrológicos tem grande importância em estudos ambientais, na gestão dos recursos hídricos e em projetos de obras hidráulicas. O tempo em que a água permanece nas diversas partes da hidrosfera, influencia, principalmente, a disponibilidade hídrica, a ocorrência de inundações e a dinâmica de nutrientes e poluentes.

Uma das grandes dificuldades para o adequado planejamento e manejo integrado dos recursos hídricos diz respeito à falta de métodos que permitam estimar o efeito dos diversos fatores que interferem no processo de produção de escoamento superficial, uma vez que os métodos desenvolvidos no exterior apresentam limitações quanto ao seu uso para as condições edafoclimáticas brasileiras (ZANETTI, 2007).

Portanto, como um auxílio ao manejo, principalmente, dos recursos hídricos, as bacias hidrográficas são consideradas unidades de planejamento, Bortello (1999), havendo a necessidade do desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas que delimitem automaticamente uma bacia hidrográfica. Tais técnicas são implementadas em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), proporcionando resultados relevantes como observados em trabalhos de Mark (1984); Band (1986).

Para o desenvolvimento de trabalhos em ambiente SIG são utilizadas informações de relevo que podem ser representadas por uma estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno denominada Modelo Numérico do Terreno (MNT), podendo ser obtido através da interpolação das curvas de nível, Sobrinho (2010). Walker e Wilgoose (1999), relatam que o MNT apresenta boa correlação entre a declividade e a área de contribuição em bacias hidrográficas, de modo que a rede de drenagem pode ser determinada com um grau de confiança elevada com o uso de modelos numéricos.

Sob este aspecto, este trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade do uso de Sistemas de Informações Geográficas na caracterização da rede de drenagem da sub-bacia do Rio Belém, gerando principalmente, dados de hierarquia de vertentes, fluxo acumulado da água, determinação da altimetria e declividade.

2 - Revisão de Literatura

2.1 - Bacias Hidrográficas

Para Araujo (2006), a bacia hidrográfica constitui um componente fundamental para manejo e gestão ambiental dos recursos naturais pela sua capacidade de integrar os recursos solo e água, fundamentais à sustentação e manutenção da vida. Também, o entendimento da bacia hidrográfica em um complexo contexto natural de formas e funções, significa separar e conceituar os elementos da paisagem para melhor poder entendê-los.

Mesmo sendo um conceito novo em termos de gestão, a bacia hidrográfica é uma unidade de investigação antiga no campo da Geografia Física (ARAUJO, 2006) sendo conceitualmente definida como uma área drenada por um curso de água ou um sistema conectado de cursos de água, onde toda a vazão efluente é descarregada por uma saída principal, o exutório, (TUCCI, 2004). No entanto, sua composição é constituída por sub bacias e diferentes ecossistemas, onde seus limites territoriais nem sempre coincidem com as delimitações político administrativas, podendo uma mesma bacia estar compartilhada por diferentes países, estados e municípios, (CUNHA & GUERRA, 2003). Em Botelho (1999) a área de uma sub bacia está atrelada a um caráter de dependência da finalidade dos trabalhos a serem nela realizados, devendo abranger uma área satisfatoriamente grande para que se possam identificar as inter-relações existentes entre os diversos elementos do quadro sócio-ambiental que a caracterizam, e pequena o suficiente para estar coerente com os recursos disponíveis, respondendo positivamente à relação custo benefício.

Rodrigues *et al* (2008), consideram uma bacia hidrográfica como uma unidade de trabalho devido ao interesse na preservação, principalmente, dos recursos hídricos, sendo que o manejo da mesma tem reflexo na qualidade e na quantidade de água da bacia, O estudo integrado de tais unidades, unidades de planejamento, fornece informações que quantificam e qualificam as ações referentes ao uso racional, ou não, da água de uma determinada região, (SANTOS 2008).

Os primeiros estudos formais onde se considerou a bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento é relatado por Bortello (1999), com a criação, nos

Estados Unidos da América, do Tennessee Valley Authority em 1993. No Brasil, os primeiros trabalhos no âmbito de sub-bacia hidrográfica, foram conduzidos pelo Engenheiro Agrônomo Moacir B. Freitas no ano de 1994 em Pernabuco, Santa Catarina e Toledo no Paraná. Experiência nesse nível, envolvendo produtores rurais, cooperativas, sindicatos e órgãos do governo, em sub bacias, no estado do Paraná, também é relatada em Osaki,(1994).

Para Araujo (2006), alguns fatores devem ser contemplados no planejamento de microbacias: o entendimento da estrutura do espaço considerado, ou seja, suas características físiconaturais (clima, geologia, relevo, solos, rede de drenagem). Também não se despreza o estudo das relações antrópicas nesse meio, ou seja, uma análise de todas as transformações e atividades relacionadas ao uso da microbacia.

2.2 - Importância do Manejo da Água em Bacias hidrográficas

A água é um dos principais recursos naturais necessários para o estabelecimento do ser humano em todas as regiões do planeta. Dentro de um processo histórico mundial, as civilizações surgem e se mantêm em função da disponibilidade hídrica da qual se utilizam para produzir o seu sustento e realizarem ocupações estratégicas.

Daí a consideração da água como fator determinante à existência da vida na terra, ela se apresenta como recurso natural de grandeza biológica e química que interage com os fatores edafo-climáticos e configura a diversificação dos biomas, das formas geológicas, e das mudanças climáticas. Procura-se, assim, entender os mecanismos de atuação deste recurso natural, a fim de propiciar sua utilização pelo homem (SANTOS, 2008).

Legalmente, através da Lei Federal Brasileira nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a água é citada como recurso natural limitado, dotado de valor econômico e, em sendo considerado de domínio público, tem -se na bacia hidrográfica uma unidade territorial básica para estudos deste recurso natural (MENDES e CIRILO, 2001).

E como é um recurso limitado, a sua disponibilidade, a nível de planeta, está desproporcional à demanda de utilização pelas atividades humanas. Hoje, o consumo desordenado de água destinado à atividade agropecuária, é um dos

principais responsáveis pela crise no abastecimento hídrico. Por isso, os grandes vilões responsáveis por desencadear esta crise são representados pelos desmatamentos, queimadas e o uso e ocupação desordenada do solo. Isso releva a importância da realização de estudos sistêmicos que permitam compreender e elaborar planos que visem minimizar os impactos causados pela exploração inadequada dos mananciais hídricos através de estratégias de gerenciamento sobre as unidades de planejamento conhecidas como bacias hidrográficas, (SANTOS, 2008).

2.3 - Aspectos Fisiográficos de Bacias Hidrográficas

2.3.1 - Relevo

Naturalmente, sob a ótica da topografia, o relevo de qualquer parte da superfície terrestre é visto como uma feição tridimensional, pois cada ponto de uma dada altitude (z), estará relacionado a uma localização designada no espaço bi-dimensional (x,y). A transição dos valores altimétricos entre os pontos adjacentes, dá-se de maneira, geralmente, continuada podendo existir a ocorrência de interrupções abruptas na superfície contínua que originam grandes variações nos valores de altitude sendo consideradas como exceções em relação à topografia, (CHAVES, 2002).

Para Pinto (1994), é necessário o conhecimento do relevo na solução de problemas de engenharia, e também, ambientais, através de estudos onde o relevo pode ser apresentado pelas suas várias formas de representação que permitem tanto registrar e visualizar a forma de uma superfície geográfica, quanto fornecer dados numéricos. Em Chaves (2002), devido a feição contínua da superfície terrestre, uma amostragem de todos os seus pontos seria uma façanha impossível, daí a utilização de diversas técnicas de representação do relevo em que elas, na sua origem, se baseiam em pontos amostrais de altitude obtidos de maneira regular ou irregular sobre a superfícies terrestre. É relatado que a técnica de representação de superfície através de pontos cotados, baseia-se na localização de pontos amostrais e de seus respectivos valores de altitude no espaço bi-dimensional, não havendo uma perfeita representação do relevo somente pela análise de tais pontos. Nesta ótica de estudo, o relevo pode ser, ainda, representado pelas curvas de nível ou

isolinhas representando os lugares geométricos onde os pontos tem a mesma altitude.

Classicamente, inseridos em um contexto particular de relevo, alguns componentes fisiográficos que constituem as bacias hidrográficas como: solo, vegetação e água estabelecem uma dinâmica permanente interagindo naturalmente e respondendo às interferências naturais e também antrópicas, podendo, neste caso, afetar os ecossistemas de maneira geral, (ELEBSON, *et al* 2005). Para uma bacia hidrográfica, a importância de suas características físicas tem influência no ciclo hidrológico, na qualidade da infiltração, na quantidade de água produzida como deflúvio, na evapotranspiração e no escoamento superficial e subsuperficial, (RODRIGUES *et al*, 2008).

A representação gráfica de tais componentes físicos tornou-se um fator importante na modelagem de processos hidrológicos e neste contexto, a topografia destaca-se como um fator dominante dos processos de superfície por regular a dinâmica do escoamento superficial e subterrâneo da água influenciando no potencial de erosão, na umidade do solo, e nas características físicas e químicas da água (RIBEIRO, *et al* 2002). Assim, como componente topográfico, a declividade é um fator fundamental que relacionado à cobertura vegetal, merece muita atenção ao se considerar uma bacia hidrográfica como unidade de trabalho como se pretende atualmente, (RODRIGUES *et al* 2008).

2.3.2 - Rede de Drenagem

Entende-se por rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, o sistema formado por um rio principal e por seus tributários, responsáveis pelo transporte da água e de sedimentos. Tecnicamente, a área de drenagem é formada pela superfície da projeção vertical da linha fechada dos divisores de água sobre um plano horizontal, sendo geralmente expressa em hectares (ha) ou quilômetros quadrados (km²) (TALON, 2011).

É pela rede de drenagem, formada pelos cursos de água, que ocorre a convergência do escoamento superficial para a seção de exutório, seu único ponto de saída da bacia hidrográfica, como mostra a (figura 01). Também, em Chorowicz *et al*, (1993), as redes de drenagem podem ser obtidas por meio de observações de

campo, foto interpretação, extraídas de mapas topográficos ou ainda, pelas curvas de nível do terreno,

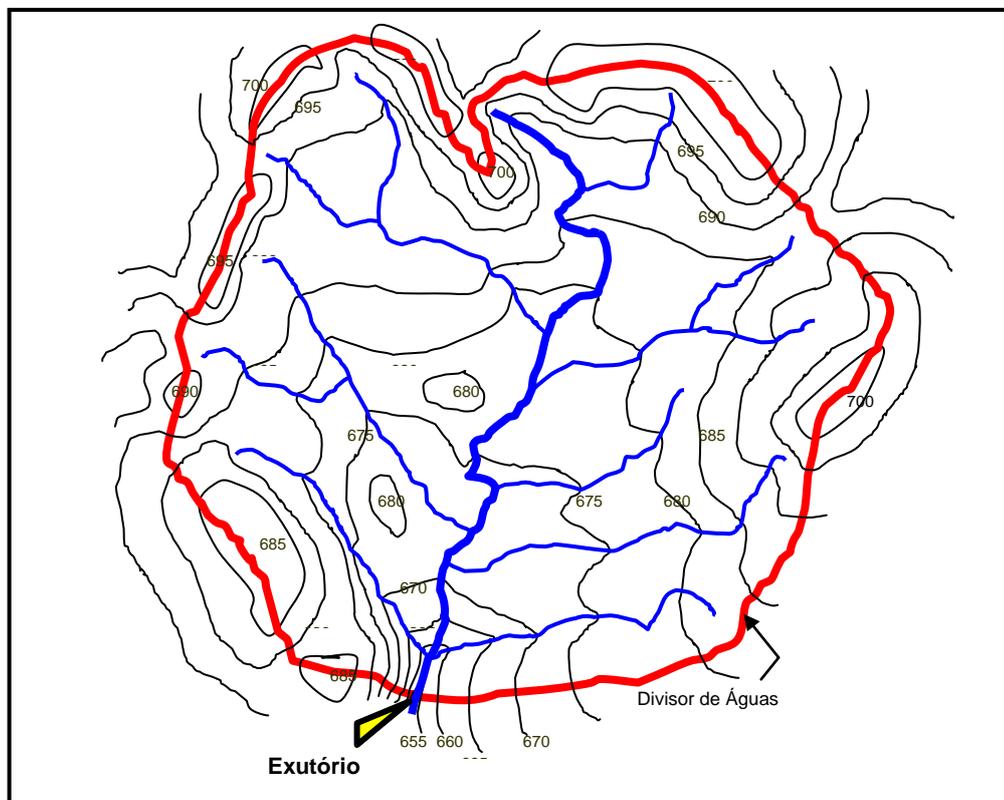


Figura 01 – Esquema de rede de drenagem com curvas de nível, cotas topográficas, divisor de águas e exutório.
(Fonte: ETG.UFMG, 2007).

2.3.3 - Hierarquia das Redes de Drenagem

A rede fluvial de drenagem de uma bacia hidrográfica, pode ser classificada pela hierarquia proposta por Horton (1940), observada na (figura 02) e descrita seguindo os seguintes princípios:

- Os menores canais existentes na bacia são nomeados de primeira ordem; eles normalmente escoam apenas durante o período chuvoso, cada canal parte de uma nascente;
- Na confluência de dois canais de primeira ordem, é originado um canal de segunda ordem a jusante da bacia;

- De modo geral, onde dois canais de ordem (n) se unem, resulta em um canal de ordem (n+1) sempre a jusante;
- Quando um canal de ordem menor se une a um canal de ordem maior, o canal a jusante mantém a maior das duas ordens;
- a ordem da bacia hidrográfica (n) é designada como a ordem do rio que passa pelo exutório;

A orientação das vertentes, é um atributo primário de relevo pouco explorado no estudo das relações solo paisagem no Brasil, talvez devido à dificuldade de sua obtenção pelo método tradicional da fotointerpretação.

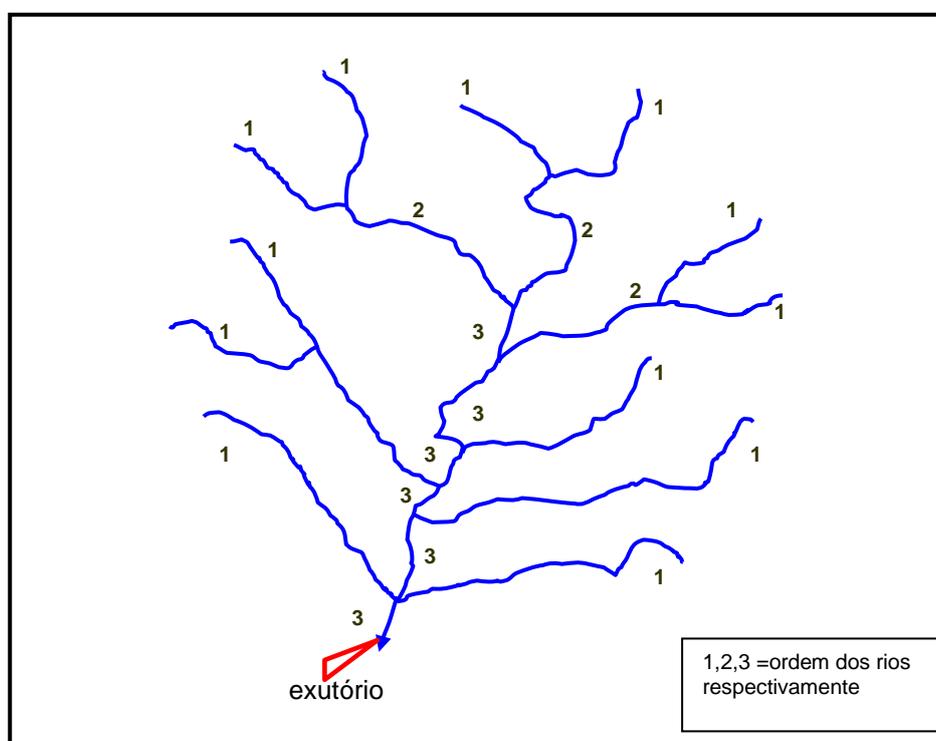


Figura 02 – Representação da hierarquia de rede de drenagem proposta por Horton. (Fonte: ETG.UFMG, 2007).

A delimitação de redes e de bacias de drenagem de diferentes ordens possibilita segundo Oliveira (1999), uma primeira abordagem para a identificação de áreas de risco de erosão por voçorocas. Ao realizarmos os procedimentos básicos de delimitação de bacias hidrográficas, o traçado das redes de drenagem individualiza sub-bacias situadas nas extremidades a montante de uma dada bacia hidrográfica.

Essas sub-bacias são as áreas de cabeceiras de vale, que segundo Dietrich e Dunne, (1993), também conhecidas como áreas de contribuição em vales não canalizados, são as pontas da rede hidrográfica que demonstram maior sensibilidade às oscilações hidrodinâmicas ao longo do tempo, pois são nelas que diferentes mecanismos tendem a interagir de forma sinérgica. Cabeceiras de vales são áreas de risco potencial de erosão por voçorocas devido a sua dinâmica e, às características mecânicas herdadas desta dinâmica.

2.3.4 - Direção de fluxo

Para RENNÓ et al. (2008), as relações hidrológicas são definidas pela direção de fluxo entre pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica. A continuidade topológica para as direções de fluxo é, conseqüentemente, necessária para que uma drenagem funcional possa existir.

A direção de fluxo de água na rede de drenagem é obtida pela função flow direction, que gera uma grade regular definindo as direções de fluxo, tomando-se por base a linha de maior declividade do terreno CHAVES (2002).

A nova grade numérica gerada determina a direção de maior declividade de um pixel em relação a seus oito pixels vizinhos. Assim, ocorre a descrição numérica da direção que a água irá percorrer após atingir cada pixel, que pode ser representada graficamente por meio da aplicação do código de direção, (figura 03).

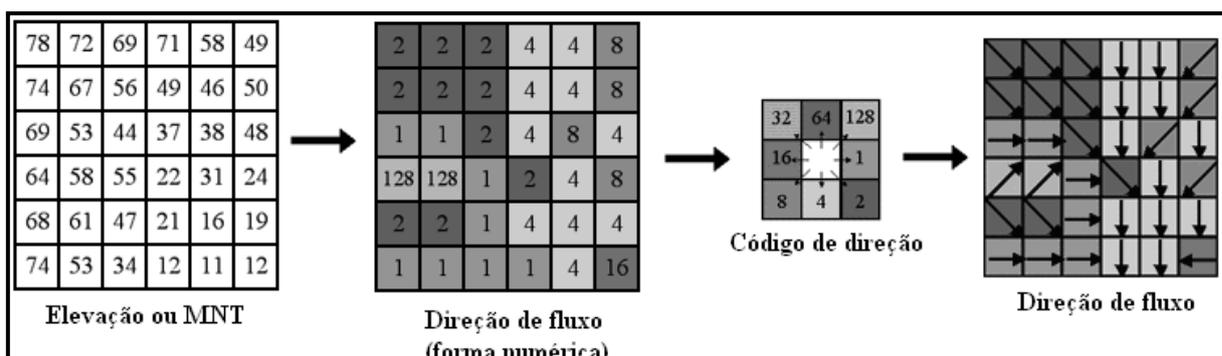


Figura 03 - Exemplo de execução da função direção de fluxo (Fonte: ESRI, 2008).

2.3.5 - Fluxo Acumulado

O fluxo acumulado é uma característica que expressa o grau de confluência do escoamento superficial estando intimamente associado a outro fator de grande importância que é o comprimento da vertente. O fluxo acumulado é definido por Valeriano (2008), como uma área de captação e de maneira complexa, pode ser determinado manualmente ou por recursos computacionais. A complexidade na sua determinação é dada não somente pelas características do comprimento de rampa (conexão com divisores de água a montante) mas também pela curvatura horizontal (confluência e divergência das linhas de fluxo). Na figura 04, observa-se o fluxo acumulado, com a formação de caminhos preferidos pelo fluxo de água dando origem à rede hidrográfica.

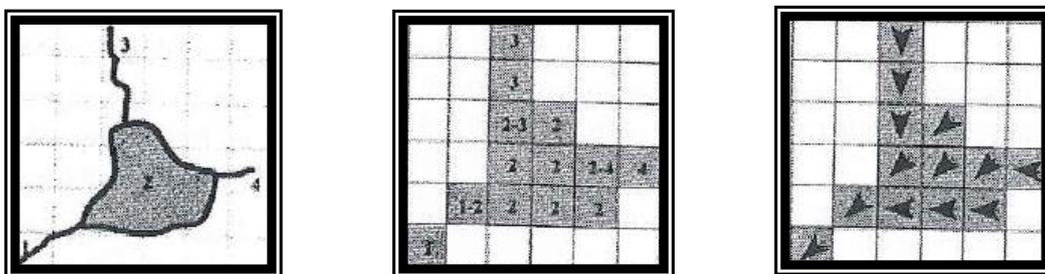


Figura 04 – Exemplo de determinação de fluxo acumulado da rede de drenagem de sub-bacia hidrográfica.
(Fonte: ESRI, 2008).

3 - Representação gráfica dos Componentes Fisiográficos com Sistemas de Informações Geográficas (SIG's)

Foi com o surgimento dos computadores, no início da década de 60, que a produção de cartografia deu o seu maior passo, originando os primeiros Sistemas de Informações Geográficas. Tais sistemas são considerados como uma das principais ferramentas do geoprocessamento, eles permitem a obtenção qualitativa e quantitativa de dados computacionais geográficos possibilitando a gestão dos recursos e aplicação de técnicas otimizadas baseadas em diagnóstico georeferenciados.

No passado um mapa só podia ser confeccionado através de meios quase que artesanais, normalmente percorrendo-se o trecho a ser delineado, atualmente já pode ser elaborado com base em imagens geradas por satélite (CAVALLARI, *et al.*, 2007). Antes da popularização dos sistemas de informações geográficas, a obtenção de parâmetros fisiográficos como declividade, comprimento do curso d'água principal, densidade de drenagem, e outros, era seriamente dificultada pelo volume de trabalho, limitando as aplicações potenciais de análises de componentes do ciclo hidrológico como o escoamento superficial, (GARBRECHT e MARTZ, 2000).

Para Cavallari, *et al.*, (2007), a transformação dinâmica do meio físico decorre da intensa atuação da agricultura moderna, principalmente, em áreas de expansão de fronteiras agrícolas. A modificação da paisagem pelo uso das terras através da atuação antrópica, proporciona mudanças significativas no solo e no seu sistema natural de drenagem (PISSARA, *et al.*, 2006). Tais mudanças no meio físico impõem a adoção de técnicas e de diagnósticos que acompanhem o dinamismo do uso da terra em um espaço-temporal (CAVALLARI, *et al.*, 2007).

4 - Modelos Digitais de Elevação para Estudos de Sub-Bacias

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) consistem em uma representação digital de uma seção da superfície terrestre dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade de pixel que correspondente à elevação (LUIZ, *et al.*, 2007).

Para Montgomery (2003) um modelo de elevação digital constitui-se de um conjunto de pontos de elevação que coletivamente descrevem uma superfície topográfica onde os dados são organizados como uma matriz de pontos que formam uma grade regular (GRID) ou como uma rede irregular de triangulação (TIN). Com a confecção dos modelos de superfícies é possível realizar uma estimativa dos processos geomorfológicos e suas relações com a evolução da paisagem, bem como, o fluxo de sedimentos.

As ferramentas computacionais Sistemas de Informações Geográficas (SIG), cada vez mais conferem apoio ao estudo, do meio físico tornando possível a representação e manipulação de dados espacialmente distribuídos e entidades geográficas da paisagem por meio de informações georeferenciadas que descrevem as suas características e formas. Tendo os SIGs a capacidade de manipular informações espacialmente distribuídas, o seu objetivo principal no estudo da hidrologia, acontece na determinação de parâmetros hidrológicos através da análise topográfica do terreno a partir de um Modelo Digital de Elevação e da cobertura vegetal. Em tais modelos em que a variabilidade temporal não é necessária ou naqueles onde se consideram médias anuais, podem ser executados totalmente dentro de um SIG (FERRAZ *et al.*, 1999).

Portanto, modelar digitalmente uma superfície, de modo consistente, significa representar o relevo de forma a reproduzir, com exatidão, o caminho preferencial do escoamento da água superficial observado no mundo real ESRI (2010). A utilização de modelos digitais de elevação hidrograficamente condicionados (MDE), por intermédio do uso de sistema de informações geográficas, é fundamental para obtenção automática das características morfométricas das bacias de drenagem.

5 - Modelos Hidrológicos Espaciais

Um modelo hidrológico espacial é definido e proposto por Maidment, (1996) como sendo um meio computacional que simula os fluxos e o transporte de sedimentos ou poluentes em uma determinada região da superfície terrestre e para isso utiliza-se da estrutura de dados espaciais de um Sistema de Informação Geográfica. Em Chaves, (2002), a visão reducionista e mecanicista da ciência moderna, vem a utilizar a modelagem matemática e a estrutura dos sistemas de informações para compartimentalizar a paisagem fragmentando-a em camadas ou layers tentando compreender o mundo físico real, figura 05.

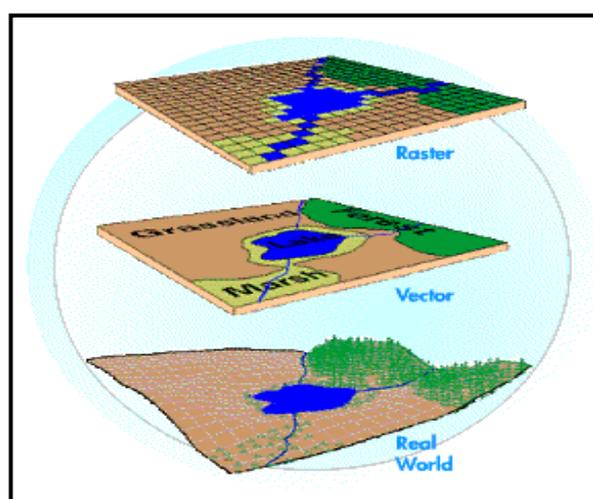


Figura – 05 Esquema de representação, em camadas, da paisagem em ambiente SIG.
(Fonte: ESRI, 2008).

Para o autor, os modelos hidrológicos espaciais, potencializam a forma de observação, representação, análise, compreensão e predição dos processos hidrológicos ocorrentes no meio físico real.

Contudo, a inicialização, calibração e o funcionamento dos modelos hidrológicos requerem a utilização de parâmetros e variáveis ambientais. Por isso, o relevo vem a fornecer importantes informações físicas, tanto para o uso em modelos como para estudos de identificação de rede de drenagem, das linhas de cumeada ou divisores de água e também, na determinação de fundos de vales. Martz e Garbrecht (2000) relatam que além dessas utilidades que o relevo fornece, ele também é necessário como fonte informações ao possibilitar a identificação dos

padrões de drenagem, da localização e quantificação de bacias hidrográficas e suas sub-bacias, na determinação do comprimento e da declividade de canais, bem como, das propriedades geométricas das bacias.

Devido a diversidade de informações geográficas, fornecidas pelo relevo, nas últimas décadas, o uso da representação do meio físico pelos Modelos Digitais de Elevação (MDE) é a razão pela qual as informações são extraídas diretamente, principalmente de modelos no formato (RASTER) quanto no formato (TIN), (CHAVES, 2002).

6 - Modelo de Elevação Regular Raster

A estrutura dos dados de modelos digitais de elevação do tipo raster, também chamada de Grid, ou raster regular (figura 06), é composta por células constituindo uma matriz de células quadradas onde cada um de seus elementos apresenta o seu valor médio de altitude, armazenado em um arranjo espacial bi-dimencional, (CHAVES, 2002). De acordo com o autor, na geração de um raster, os pontos da matriz que não possuem valores de altitude precisam ser estimados a partir de amostras como pontos cotado e ou isolinhas, utilizando-se de um método de interpolação.

Um modelo de elevação no formato raster, tem cada uma de suas células localizadas em um arranjo de linhas e colunas compondo uma matriz onde é possível se conhecer o tamanho de cada célula, além como, suas coordenadas externas e a exatidão da representação de superfícies geográficas, utilizando-se de uma estrutura do tipo raster, tem relação direta com a resolução, com a forma de armazenamento do dado, se inteiro ou ponto flutuante, com o processo de amostragem, pela quantidade e qualidade, e ainda, com o interpolador utilizado (ESRI, 1996).

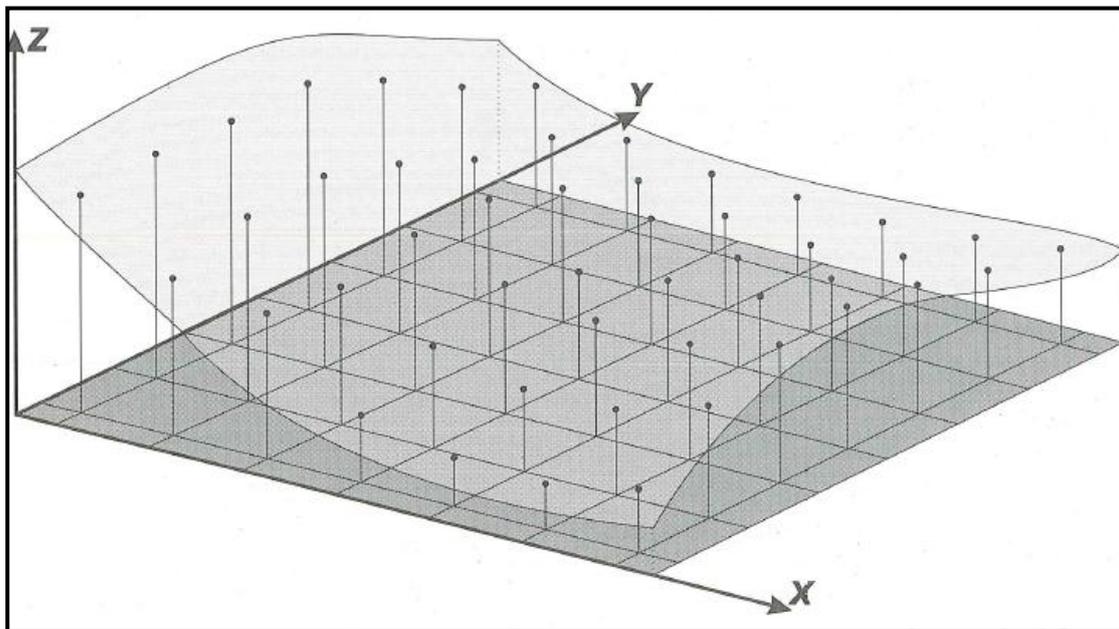


Figura 06 – Superfície e grade regular correspondente.

(Fonte: Namikawa, 1995).

7 – Modelo de Elevação Irregular Triangular

O modelagem de terreno por triangulação consiste em gerar um modelo através de uma rede triangular irregular de pontos, cujo termo original vem do inglês Triangular Irregular Network (TIN). (CHAVES, 2002).

Para Coelho (2007) a rede TIN, é formada por uma grade triangular vetorial que apresenta uma topologia do tipo nó-arco que possibilita a representação de uma superfície através do conjunto de faces triangulares que são interligadas e cada um dos três vértices da face triangular, armazenando informações sobre a localização (x,y) e sobre os valores de altitude correspondendo ao eixo z , (figura 06).

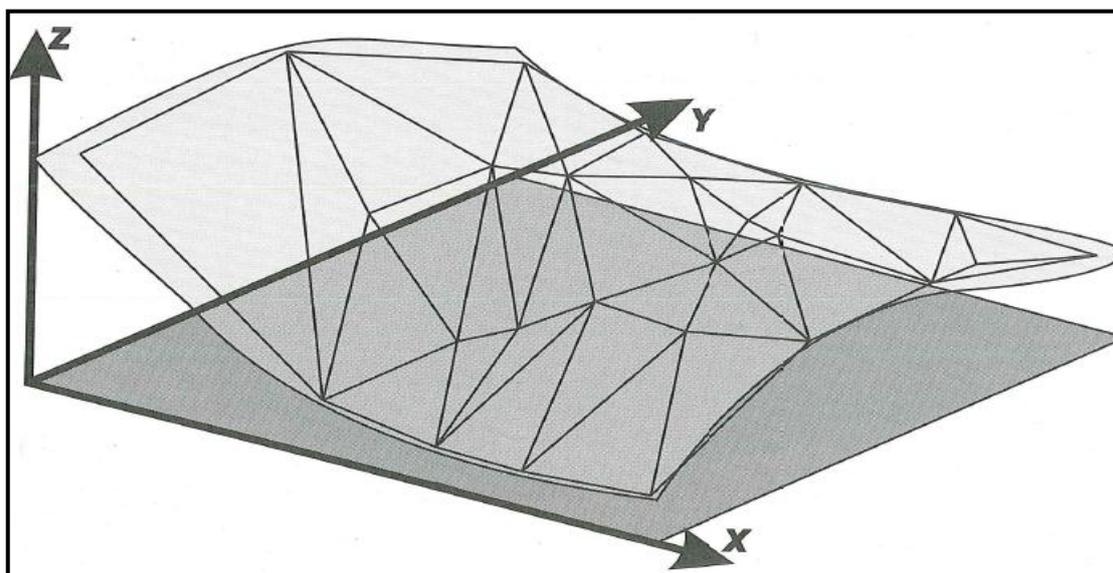


Figura 07 – Superfície irregular e malha triangular.

(Fonte: Namikawa, 1995).

8 - Delineamento de Bacias Hidrográficas e Redes de Drenagem Usando Modelos Digitais de Elevação

O delineamento de bacias hidrográficas e sua rede de drenagem pode ser feito partindo-se de um MDE (raster) de onde se define, também, o caminho superficial, preferencial, de escoamento da água sobre o modelo digital de elevação definido-se, desta maneira, a rede de drenagem, (O'CALLAGHAN, 1995). Em Chaves (2002), afirma que para este procedimento, é essencial que se procedam quatro fases essenciais de processamento:

- A geração do modelo digital de elevação raster, bem como, sua projeção para um sistema de coordenadas;
- O preenchimento das depressões espúrias;
- A identificação do caminho descendente do escoamento superficial entre cada célula do MDE raster e de suas células vizinhas;
- Realização do Cálculo do fluxo acumulado;

9 - Materiais e Métodos

9.1 - Caracterização da Área de Estudo

A Sub-Bacia do Rio Belém, está localizada na cidade de Curitiba ocupa uma área de drenagem de aproximadamente 87,8 km² equivalente a 20,32% da área total da cidade que tem 432 km². A temperatura média anual é de 16,5° C Durante o mês mais frio, a temperatura média é de 12,6° C e no mais quente é de 20,1° C A variação média da temperatura diária é da ordem de 11° C (BONGESTABS, 1983 s/p). Em Curitiba, a umidade relativa do ar é de 80%; segundo Maack (1981), essa umidade sempre elevada se deve à proximidade do oceano, à altitude e à situação topográfica da região. O regime pluviométrico da cidade de Curitiba não permite que haja estação seca e outra úmida bem definidas, embora haja predomínio de chuvas no verão. A precipitação média anual da cidade é de 1.413 mm.

O rio Belém, principal rio da sub-bacia, é genuinamente curitibano, pois nasce e tem a sua foz dentro do perímetro da cidade. Tendo a sua nascente principal localizada no Bairro Cachoeira, o rio conta com 46 afluentes. O rio Belém é um dos afluentes da margem direita da Bacia do Rio Iguaçu que drena a cidade.

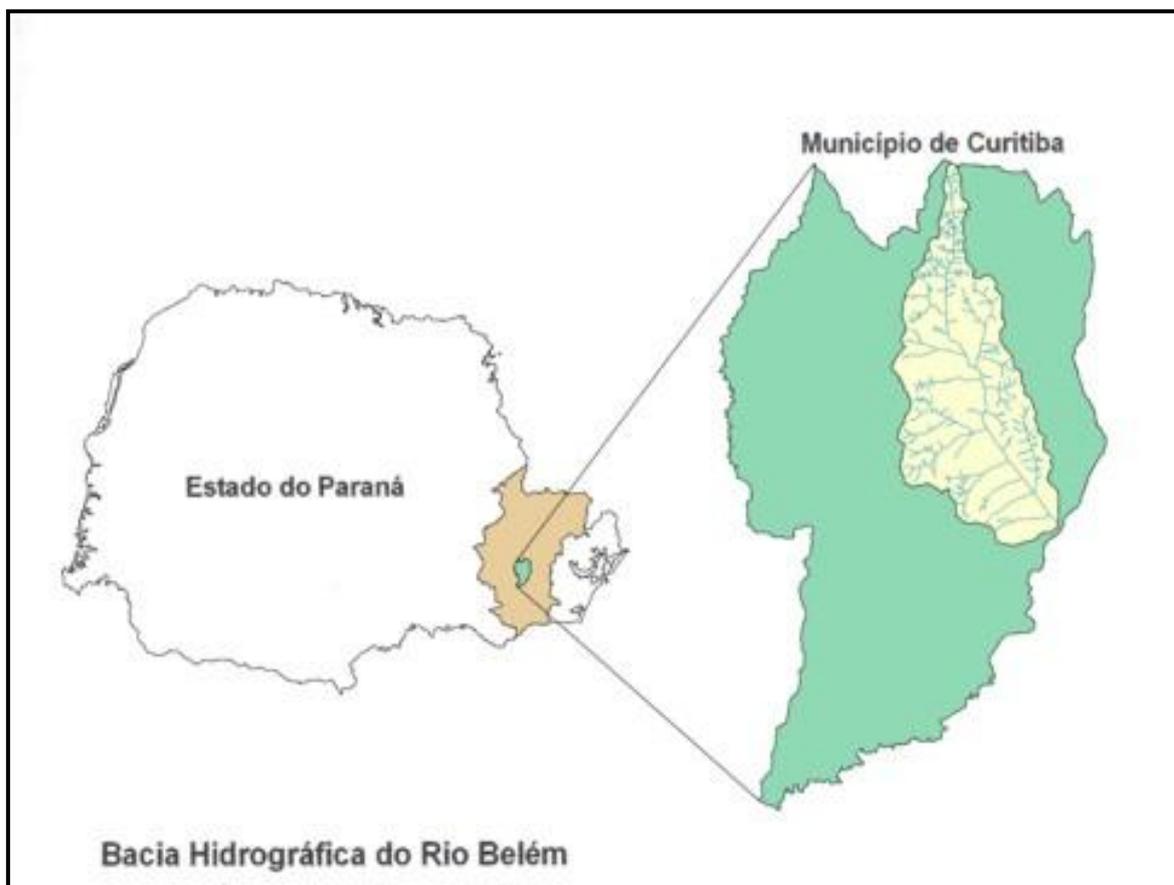


Figura 08 – Localização da Sub-Bacia do Rio Belém.

Fonte: COMEC, 2000.

Para a geração do modelo digital de elevação da sub-bacia foi utilizado como base de dados os shapes de hidrografia, pontos cotados e de curvas de nível na escala 1:10.000 disponibilizados pelo Instituto das Águas do Paraná. As etapas de trabalho foram:

- a) Elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE): inicialmente foi produzida uma Rede de Triangulação Irregular (TIN) pela utilização das curvas de nível com espaçamento de 5m usando a ferramenta 3D Analyst do software Arc Gis 9.3.1. Posteriormente a rede triangular irregular foi convertida para o formato raster pelo mesmo software;
- b) Tratamento da imagem (Fill sinks), (figura 9);
- c) Determinação da geração de dados da rede de drenagem da sub-bacia (figura 9);

9.2 - Operações que Envolvem a Modelagem do Terreno

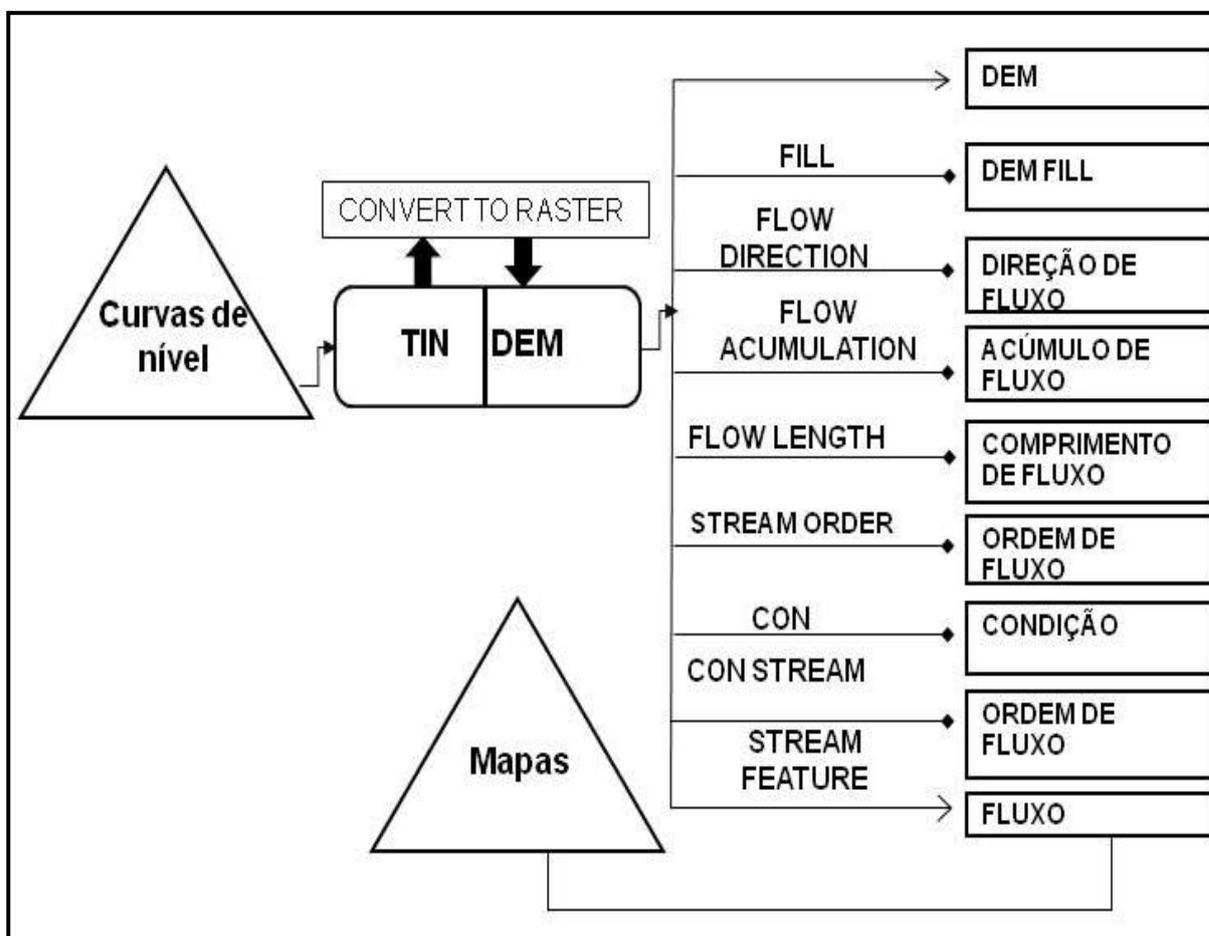


Figura 09 – Fluxograma das etapas do trabalho para a geração de base de dados primários.

(Fonte: o autor)

9.2.1 - Remoção de Depressões Espúrias (Fill Sinks)

Pequenas imperfeições nos dados de entrada são provavelmente uma das causas principais do surgimento das chamadas depressões espúrias no modelo digital de elevação, (figura 10). Estas depressões existentes no MDE, devem ser eliminadas, pois interrompem o sentido do escoamento superficial e afetam a delimitação correta dos limites das bacias hidrográficas. Neste trabalho tal atividade foi realizada com o comando Fill do módulo GRID do software Arc Gis 9.3.

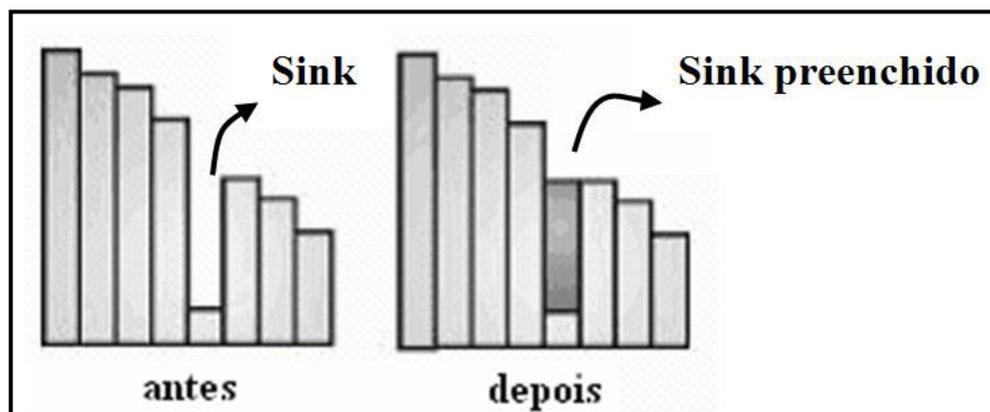


Figura 10 – Esquema de ilustrativo de preenchimento de depressões espúrias
(Fonte: Sobrinho, 2010)

9.2.2 – Determinação da Direção de Fluxo (Flow Direction)

A direção de fluxo foi obtido pela ferramenta spatial analyst - hydrology – flow direction do arctool box. A ferramenta percorre as janelas do raster, onde cada célula é comparada com outra célula vizinha determinado-se a direção de fluxo.(ESRI, 1997).

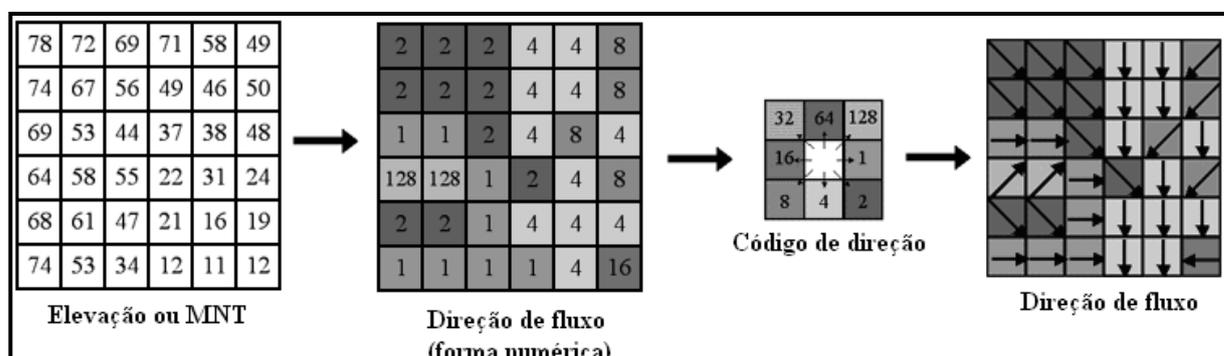


Figura 11 – Esquema de ilustrativo de direção de fluxo da água.
(Fonte: Sobrinho, 2010)

9.2.3 - Determinação do Fluxo Acumulado de Água (Flow Accumulation)

O fluxo acumulado também foi obtido pelo spatial analyst - hydrology – flow accumulation que determina por onde o fluxo de água se acumula. (ESRI, 1997).

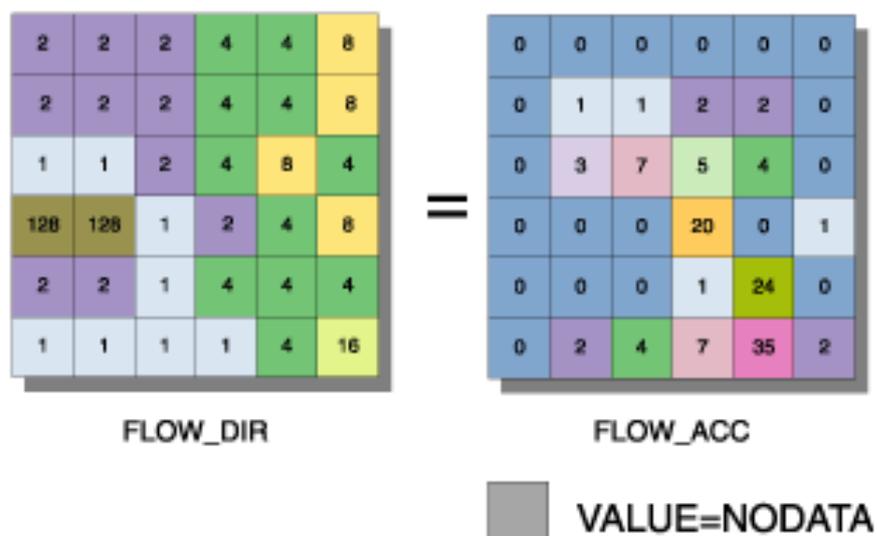


Figura 12 – Esquema de ilustrativo de fluxo acumulado da água.

(Fonte: Sobrinho, 2010)

9.2.4 Determinação da Hierarquia de Fluxo da Vertentes pelo Uso da Ferramenta Conditional (CON)

Com a ferramenta con foi estabelecida uma condição para o refinamento (nesta etapa os rios de 1^a a 3^a ordens foram suprimidos) possibilitando um refinamento das ordens hidrológicas no mapa de ordem das vertentes, resultando na geração de um mapa com rios a partir da quarta ordem. (ESRI, 1997).

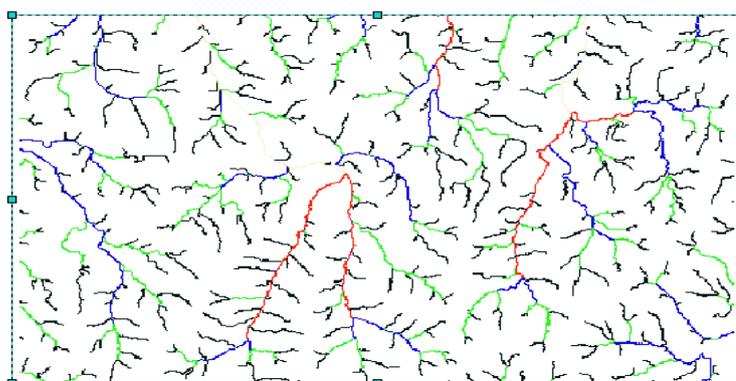


Figura 13 – Esquema de ilustrativo de hierarquia das vertentes após uso de CON.

(Fonte: Sobrinho, 2010)

10 - Resultados e Discussões

10.1 - Área de Fluxo Acumulado das Vertentes do Rio Belém

Uma área de acúmulo de fluxo hídrico, também conhecida como área de captação, (Sobrinho, *et al*, (2010), é uma área de concentração natural da água da chuva, Tucci (1997), onde todo o fluxo de escoamento superficial converge diretamente para um único ponto de saída denominado de exutório. Portanto, a composição de uma sub-bacia está estruturada por um conjunto de superfícies chamadas de vertentes e da rede de drenagem formada por um rio principal. Neste trabalho, como resultado da utilização dos Sistemas de Informações Geográficas, foi gerado o mapa de acúmulo de fluxo de água da sub-bacia do Rio Belém, mostrado na (figura 15).



Figura 15 - . Mapa de Acúmulo de Fluxo de água da Sub-Bacia do Rio Belém.

Nesta figura observa-se que o mapa de fluxo acumulado de água, pode ser considerado um ente sistêmico onde se realiza o balanço de entrada da água na bacia pela precipitação e sua saída pelo exutório.

Para Porto (2008), o tamanho ideal para uma bacia hidrográfica, é aquele que incorpora toda a problemática de interesse. Pode ser interessante delimitar uma bacia de 0,5 km² numa área urbana ou até mesmo, delimitar uma bacia como a do Rio São Francisco com 600.000 km² de área, dependendo do interesse de estudo. Para o autor o conceito de ente sistêmico está muito bem adaptado aos sistemas de gestão dos recursos hídricos e é sobre toda a área definida como bacia hidrográfica que se desenvolvem as atividades humanas. Por isso, pode ser considerada como uma unidade de estudo que serve como um termômetro para a avaliação de uso dos recursos naturais que nela existem. Com base nestas afirmações, a (figura 11), apresenta, como resultado da geração de um modelo digital de elevação para a Sub-Bacia do Rio Belém, foi possível obter o limite da sub-bacia, sua área total (87,80 km²) e o sentido de fluxo das vertentes que desaguam no rio principal. Para a obtenção destas informações foi necessário a geração do modelo digital de elevação, para tal foi utilizado como base de dados, o shape de hidrografia na escala 1:10.000.

Retomando a idéia de Porto (2008) em relação à delimitação do tamanho ideal de uma bacia hidrográfica, como dificuldade encontrada, neste trabalho, para a confecção de um modelo digital de elevação que possibilitasse a realização de estudos hidrológicos em uma área menor localizada na parte leste da Sub-Bacia do Rio Belém (figura 15), verificou-se que a base de dados utilizada, foi um fator limitante na geração do modelo de elevação para aquela área.

Portanto, para a delimitação de uma área ideal a ser considerada como uma sub-bacia hidrográfica, segundo a uma necessidade, observou-se que quando se trabalha com sistemas de informações geográficas, é fundamental que seja levado em consideração a disponibilidade da base de dados em escala satisfatória, compatível com objetivo do trabalho. Por isso, todos os resultados da rede de drenagem gerados para a área menor apresentaram incompatibilidade durante a sobreposição do shape de hidrografia, disponível na net, ao mapa gerado no trabalho.

Para evitar tal problema, durante a geração do modelo de elevação de terreno satisfatório à estudos da rede de drenagem, específico para uma área menor dentro

da Sub-Bacia do Rio Belém, possivelmente deverá ser organizada uma nova base de dados constituída a partir da coleta de pontos cotados através de GPS para posterior elaboração das curvas de nível que serão utilizadas como base de dado para a geração do modelo digital de elevação para estudos hidrológicos da sub-bacia.

10.2 – Determinação da Ordem das Vertentes da Sub-Bacia do Rio Belém

As características físicas de uma bacia hidrográfica podem ser representadas por todos os parâmetros de sua superfície, os quais podem ser extraídos de forma direta ou indireta de mapas e produtos de sensoriamento remoto. Dentre os parâmetros da rede de drenagem, por exemplo, a ordem dos cursos de água é obtida por um método que permite seu enquadramento em uma sequência numérica dentro de uma rede de drenagem. Para este trabalho a ordenação dos cursos de água da Sub-Bacia do Rio Belém, foi obtida através da execução de procedimentos a partir da geração de um modelo de triangulação irregular de elevação (TIN) que foi posteriormente convertido para o formato raster (DEM) pelo software Arc Gis 9.3.1, possibilitando a confecção de um mapa de vertentes ordenadas como pode ser visualizado na (figura 16.)

Através do modelo de elevação gerou-se o mapa indicando que a sub-bacia apresenta uma rede de drenagem local de oitava ordem de acordo com Horton (1932). Na sequência de trabalho, para a uma melhor apresentação do ordenamento hídrico, utilizando-se da ferramenta CON (condição) do software Arc Gis, optou-se pelo refinamento dos dados e exposição dos tributários a partir da quarta ordem de drenagem, (figura 16).

De relevada importância para estudos hidrológicos, no mapa, é possível a visualização do rio principal, Rio Belém, que drena a sub-bacia, bem como, a classificação que reflete o grau de bifurcação da drenagem existente. A ordenação deste rio, classifica a sub-bacia como sendo uma bacia de oitava ordem. As vertentes das ordens iniciais (primeira, segunda e terceira ordem), foram suprimidas do mapa por ocorrerem em grande número na sub-bacia, o que conseqüentemente proporcionou uma visualização inadequada no mapa sendo necessária a aplicação do procedimento de refinamento.

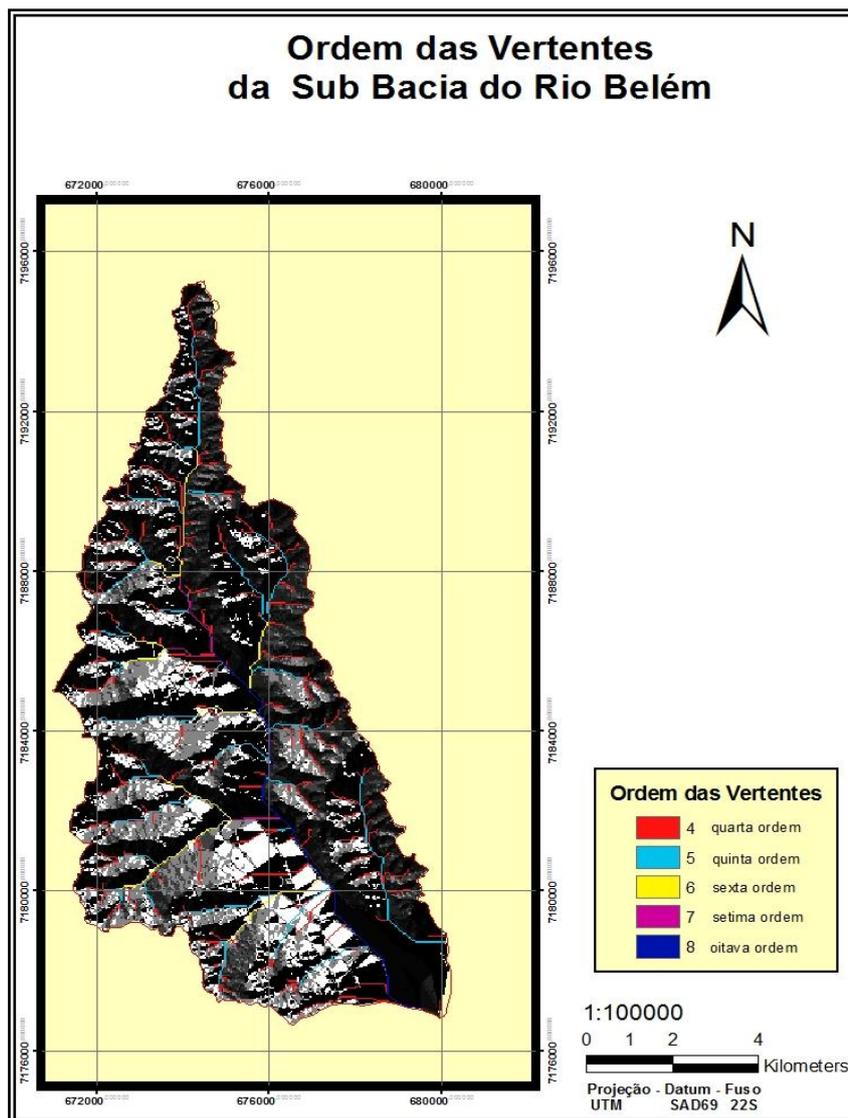


Figura 16 - Mapa de ordem das vertentes da Sub – Bacia do Rio Belém.

No entanto, o número total de vertentes tem sua importância no contexto da visão de gestão de uso e ocupação de bacias hidrográficas. As vertentes de primeira ordem, por exemplo, correspondem segundo Horton, (1940) às nascentes onde o volume de água ainda é baixo. As vertentes de segunda ordem correspondem ao encontro de duas ou mais de primeira ordem e as de terceira ordem à junção de duas de segunda ordem e assim sucessivamente formando uma hierarquia hídrica até o resultado observado no mapa da (figura,16). De maneira geral, de acordo com o autor, quanto maior for a ordem do rio principal, maior será a quantidade de rios ou vertentes existentes conforme observa-se, também, neste trabalho.

Esta condição é importante do ponto de vista do funcionamento hidrológico da bacia, uma vez que, de acordo com Lima (2008), constitui fator relevante para o

enquadramento de uma bacia hidrográfica quanto ao tamanho, onde são enquadradas em grandes ou pequenas não apenas com base na sua superfície total, mas também nos efeitos de fatores que predominam com a geração de deflúvio: as sub-bacias são, de acordo com o autor, sensíveis a chuvas de alta intensidade com curta duração devido as características de sua rede de drenagem, já as grandes bacias respondem de maneira diferente em relação à intensidade da chuva e sua duração, pois tem um pronunciado efeito de armazenamento de água ao longo dos canais de sua rede de drenagem, não respondendo ou perdendo a sensibilidade à chuvas de alta intensidade e de curta duração.

Sob este aspecto o comprimento dos canais que compõem a rede de drenagem deste trabalho pode ser visualizado na (tabela 1). As cinco ordens apresentadas, somam 164,99 km de comprimento, tendo o menor canal, o de quarta ordem, o maior comprimento de drenagem da sub-bacia com 80,82 km, já o canal de maior ordem, o que representa o Rio Belém, apresenta o menor comprimento de drenagem, 12 km.

Ordem dos Canais de Drenagem	Comprimento em (Km)
4	80,82
5	47,85
6	19,55
7	4,77
8	12,00
Total	164,99

Tabela 1 – Comprimento dos Canais de Drenagem da Sub-Bacia do Rio Belém

Para Lima (2008), a rede drenagem apresenta variações em relação à forma em que corre o fluxo de água em uma bacia hidrográfica: considerando-se a fase terrestre do ciclo da água, pode se dizer que ela procura evadir-se da terra para o mar. Deste modo ela se organiza em sistemas de drenagem que refletem a estrutura geológica do local. Ainda na (figura 16) pode ser observado o padrão da drenagem

da sub-bacia deste estudo o que de acordo com o mesmo autor, enquadra-se ao padrão dendrítico, (figura 17) que predomina na natureza derivando da relação clima-geologia, principalmente nas regiões de litologia homogênea.

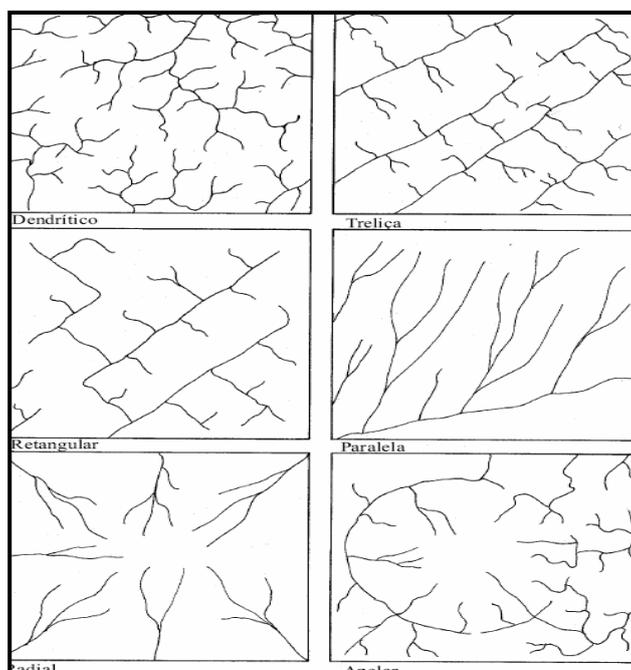


Figura17 - Padrões de rede de drenagem
(Fonte: CRISTOFOLETTI, 1974)

10.3 - Altimetria da Sub-Bacia do Rio Belém

A variação de altitude e também a altitude média de uma bacia hidrográfica são importantes fatores que influenciam na temperatura e na precipitação local, (Lima 2008). No estudo da Sub-Bacia do Rio Belém, observa-se na (figura 14), as diferentes altitudes representadas em cores na sub-bacia. Na figura, é possível observar que as maiores altitudes encontram-se ao norte da área, com uma amplitude variando de 999 a 870 metros entre a maior e a menor altitude.

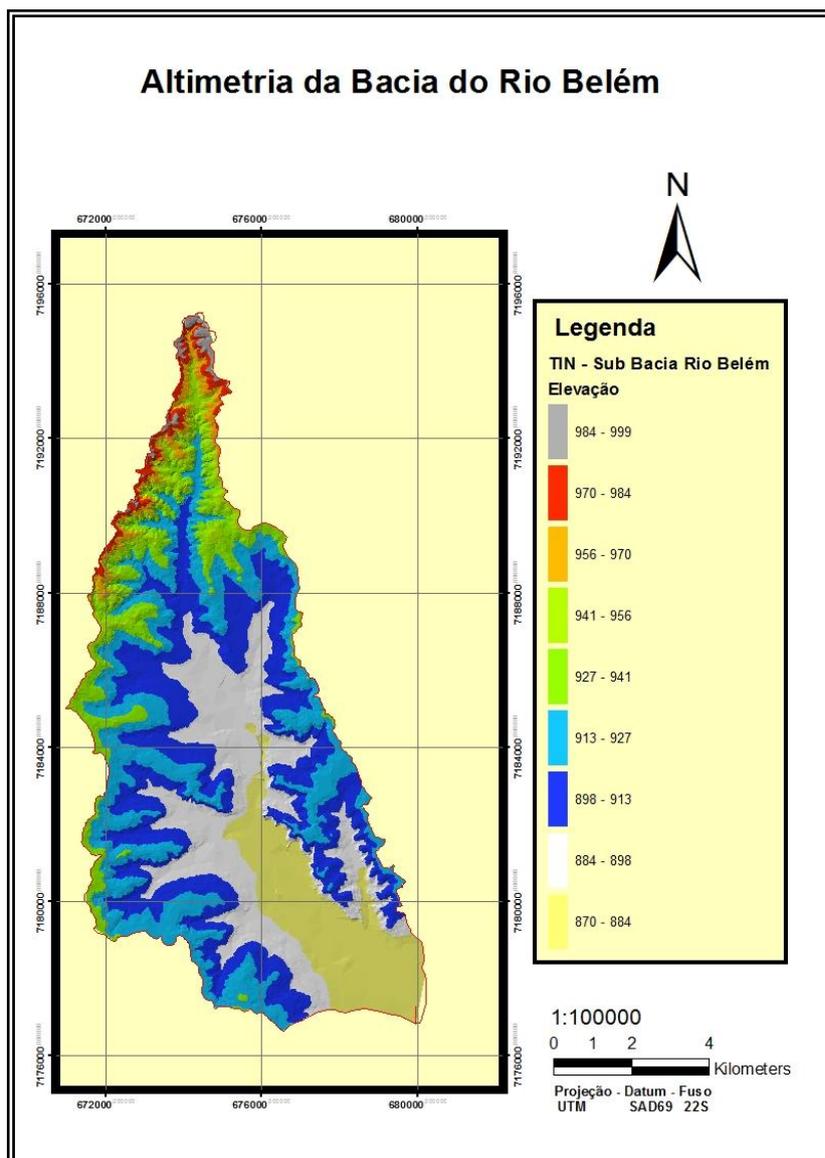


Figura18 - Altimetria da Sub-Bacia do Rio Belém.

A importância na determinação do mapa de altimetria vem facilitar avaliações no manejo de determinadas áreas, de bacias hidrográficas, que de acordo com Rodrigues *et. al*, (2008), são consideradas unidades e trabalho. Por exemplo, o estudo das altitudes, torna-se fundamental na análise de diferentes elementos climáticos e de diferentes áreas de acúmulo, principalmente de água e locais de grandes erosões, (RECKZIEGEL, E.W.& ROBAINA, L.E.S, 2006). Pode ser observada na (figura 18), outra condição fisiográfica importante que são as formas de relevo. Para Trentin e Robaina (2005) o mapa hipsométrico tem grande importância na análise da energia do relevo onde é possível serem indicadas as áreas de maiores altitudes propícias a uma maior dissecação do relevo e as áreas

de menor altitude consideradas áreas de acumulação, principalmente de água da chuva.

Na tabela 2, observa-se que a maior altitude apresentada no terreno corresponde a 999 metros ocorrendo na porção norte da sub-bacia. A menor altitude é verificada na porção sul, com 927 metros. O maior intervalo de altitude corresponde a uma área de apenas 7,9 ha ocupando apenas 0,09% da área total.

É possível observar que o menor intervalo de altitude ocupa a maior parte da área de estudo com 3.392,8 ha o que corresponde a 38,82% do total da área. Com esta observação é possível verificar que trata-se de uma bacia de baixas altitudes na qual, de acordo com Trentin e Robaina (2005) há o predomínio de relevo de baixa energia formado por áreas sujeitas a acumulações e inundações.

Os intervalos de altitudes encontrados para a Sub-Bacia do Rio Belém, podem ser observados, também, através do histograma da (figura 19), onde a suavização do terreno começa a ser significativa a partir de altitudes em torno dos 920 metros.

Tabela 2 – Quantificação das Áreas das Altitudes da Sub-Bacia do Rio Belém

Altitudes	Área (ha)	%
984-999	7,9	0,09
970-984	53,5	0,61
956-970	151,2	1,73
941-956	356,4	4,07
927-941	676,9	7,75
913-927	1000,4	11,44
898-913	1448,5	16,57
884-898	1651,4	19,89
870-884	3392,8	38,82

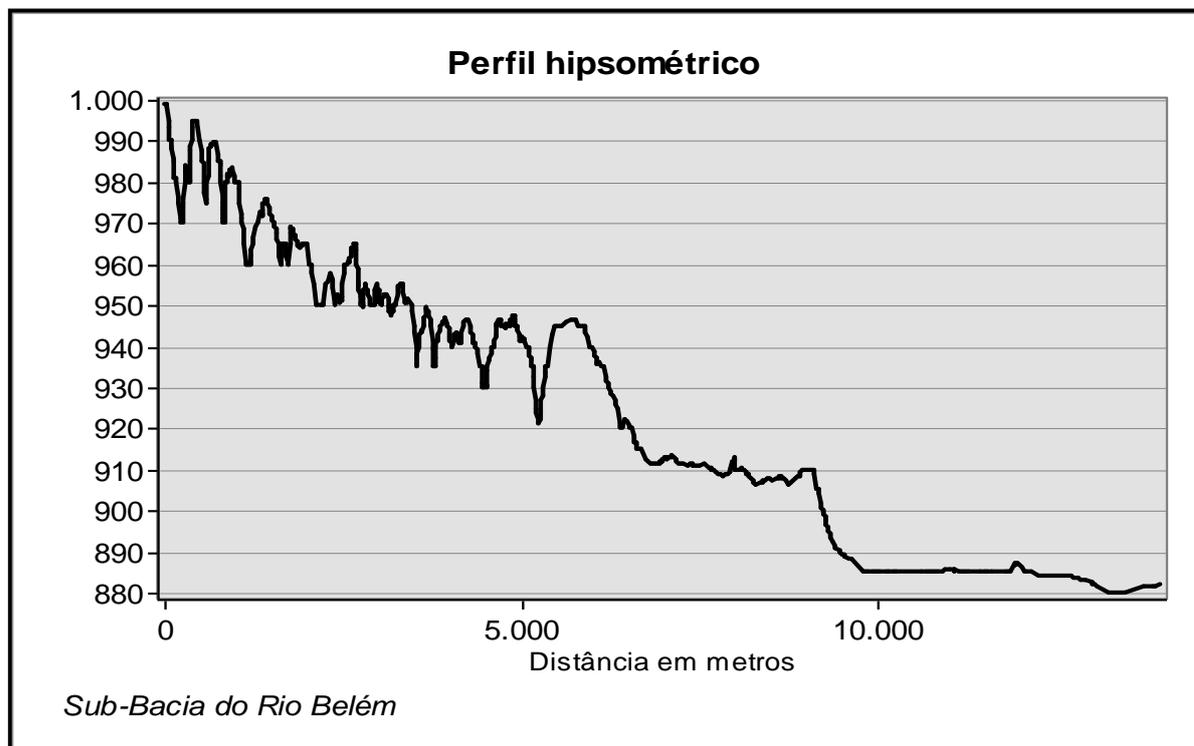


Figura 19 – Histograma do perfil hipsométrico da Sub-Bacia do Rio Belém.

10.4 - Classes de Declividade da Sub-Bacia do Rio Belém

Para os estudos hidrológicos na gestão de bacias hidrográficas é necessário o conhecimento da topografia da região, pois no processo hidrológico de geração de escoamento superficial e de perda da infiltração de água no solo, é de fundamental importância a determinação das áreas com características de declividade que potencializem esses fenômenos. Portanto, um dos fatores fisiográficos que indica áreas com maior risco de estabelecimento destes processos é a declividade, pois as áreas com declividade acentuada são caracterizadas por terem solos poucos profundos e pelo escoamento superficial apresentar maior velocidade, (ARAÚJO, 2006). Neste estudo, a declividade é observada na (figura 20) e quantificada na (figura 21). A área da bacia apresenta o predomínio de classes de declividade abaixo de 20%. (tabela 04).

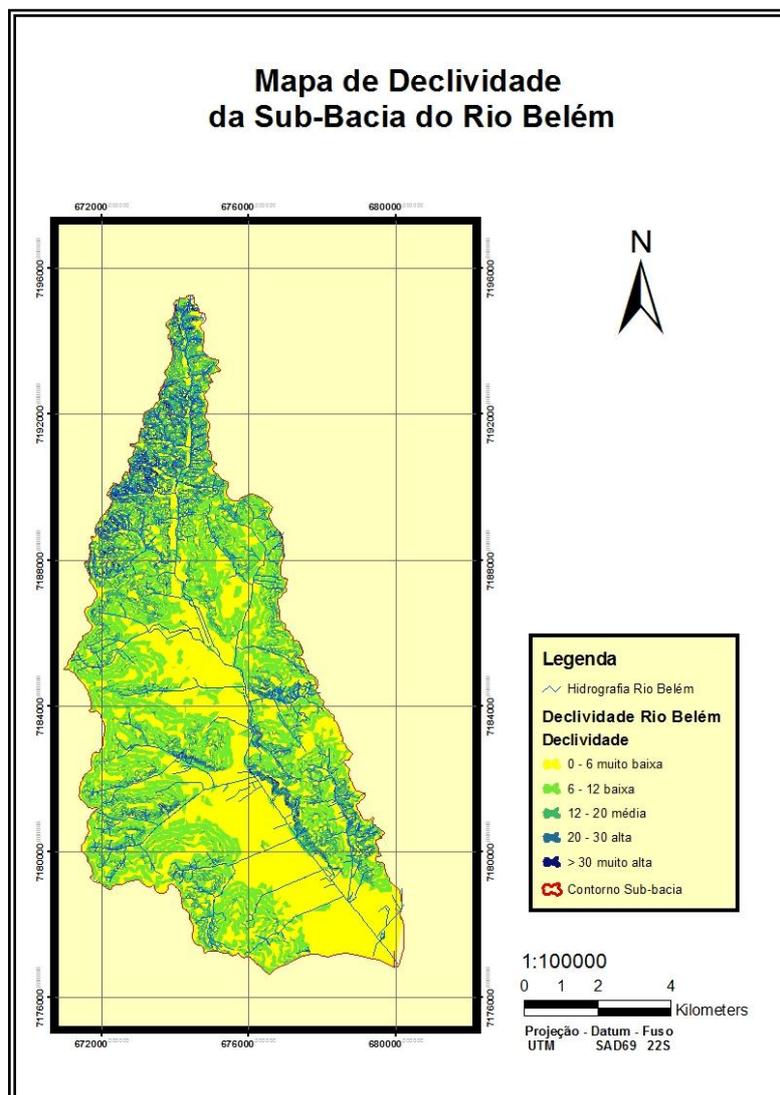


Figura 20 – Mapa de Declividade da Sub-Bacia do Rio Belém.

Consequentemente, não apresenta características de uma bacia declivosa, a visualização, no mapa, apresenta a ocorrência de poucas áreas com declividade superiores a 30%, e que segundo a metodologia proposta por Ross, (2000), são consideradas áreas pertencentes à categoria de declividade muito forte (tabela 03).

Tabela 03 – Categorias de Classes de Declividade

Categoria da Declividade	Declividade (%)	Representação Temática
Muito fraca	até 6%	Amarelo claro
Fraca	de 6 a 12%	Verde claro
Média	de 12 a 20%	Verde escuro
Forte	de 20 a 30%	Azul claro
Muito forte	acima de 30%	Azul escuro

(Fonte: Adaptado de ROSS, 2000).

As características físicas como o relevo da rede de drenagem de bacias hidrográficas tem sido, desde a metade do século XX, muito utilizada em estudos de hidrologia superficial. Contudo a obtenção de parâmetros como o relevo era até pouco tempo considerado um processo demorado e trabalhoso tratando-se de uma atividade tipicamente manual, CHAVES (2002). Entretanto, neste tempo, havia um questionamento do uso de modelos ou métodos que requeriam medidas precisas das características da superfície (WANG e YIN, 1997). Neste estudo, a determinação das classes de declividade, como característica de superfície, fundamentais para avaliações hidrológicas, foram determinadas de maneira prática, através da geração do modelo de superfície da Sub-Bacia do Rio Belém gerado pelo método de triangulação irregular, trabalho executado pelos recursos do software Arcgis 9.3.1, com rapidez proporcionando economia de tempo e de mão de obra.

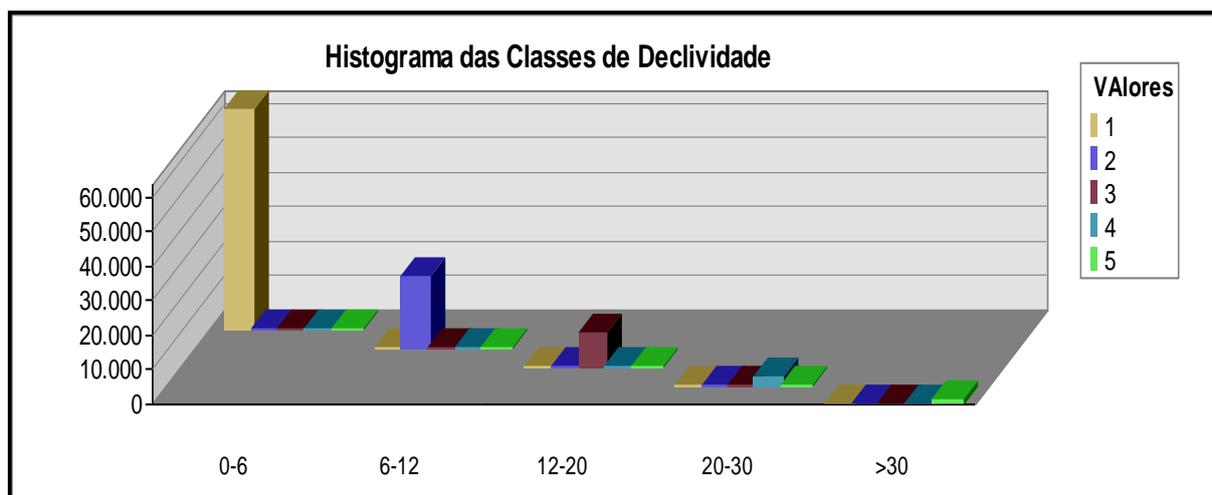


Figura 21 – Histograma de Classes de Declividade

Tabela 04 – Área em (há) das Classes de Declividade

Valores	Nº de Cél./Classe	Intervalos (%)	Área(ha)	Área (%)
1- muito fraca	63.470	0-6	5712,3	65,4
2- fraca	20.400	6-12	1836	21,0
3- média	9.429	12-20	848,6	9,71
4- forte	2.600	20-30	234	2,68
5- muito forte	1.195	>30	107,5	1,23

Conclusões

A proposta de averiguação da possibilidade de uso de Sistema de Informação Geográfica na obtenção de atributos fisiográficos para estudos em bacia hidrográfica obteve resultados parcialmente satisfatórios:

- O principal problema encontrado foi em relação à base de dados para a geração do modelo digital do terreno. Inicialmente tentou-se gerar, sem sucesso, gerar um modelo para uma área menor do que a da Sub-Bacia do Rio Belém. Também houve incompatibilidade na sobreposição do shape de hidrografia da base de dados com a malha hidrográfica gerada pelo software Arc Gis
- Em relação aos problemas encontrados, acredita-se que possam ser resolvidos pela geração de uma nova base de dados através da coleta de pontos cotados adquiridos com GPS na área de interesse localizada dentro da Sub-Bacia do Rio Belém.
- Positivamente o uso de SIG foi observado com os resultados obtidos, para a Sub-Bacia do Rio Belém, onde a base de dados foi satisfatória em virtude da escala (1:10000) e o tamanho da área da sub-bacia (87,80km²).
- A obtenção dos dados referentes à drenagem desta bacia, a princípio, foram positivos, contudo acredita-se que haverá diferença se o trabalho for repetido utilizando-se de uma base de dados configurada em uma escala maior que 1:10000, o que possivelmente possibilitaria maior visualização de detalhes da área.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, P.R.; PINESE, J.P.P. (2006). "Planejamento Ambiental em Microbacias Hidrográficas: aplicação de uma matriz de impacto ambiental na microbacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia, Zona Norte de Londrina/Pr." In: **Anais do IV Seminário Latinoamericano de Geografia Física** – geografia física: novos paradigmas e políticas ambientais, UEM, Maringá, 2006 (CDROM)..

BAND, L. E. Topographic of watershed with digital elevation models. Water Resource Research. Washington, v. 22, n.1. p. 15-24, 1986.

BOTELHO, R. G. M. ; Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. In GUERRA, mA.J.T; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs). Erosão e conservação dos solos, conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BONGESTABS, D. H. Clima, conforto & arquitetura em Curitiba. Curitiba:1983.

CAVALLARI, R. L.; TAMAE, R. Y.; ROSA, A. J.. A importância de um sistema de informações geográficas no estudo de microbacias hidrográficas. Revista Científica Eletrônica de Agronomia. N.11, 2007

CHAVES, M. A. Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica. 115 f. Tese de doutorado (doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2002.

CHOROWICZ, J.C.; ICHOKU, S.; RIAZANOFF, Y. J.; CERVELLE ,K. B. A bacia hidrográfica. Disponível em: [http //etg.ufmg.br/tim1/baciahidrografica](http://etg.ufmg.br/tim1/baciahidrografica). Acesso em: junho 2012.

CHRISTOFOLETTI, A., 1974. Geomorfologia. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP.149 p.

CHOW, V. T.; Applied Hidrology, McGraw – Hill Internacional Editions(Civil Engineering Series). Madrid,1998

COELHO, A. L. N. Aplicações de Geoprocessamento em Bacias de Médio e Grande Porte. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Florianópolis, Brasil. INPE. p.2437-2445, 2007. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.17.41/doc/2437-2445.pdf>. Acessado em: junho 2012.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T.; A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 248 p. 2003.

COMEC – COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA, 2002.

ELESBON, A. A. A. Utilização de sistemas de informação geográfica na regionalização de vazões-estudo de caso: bacias dos rios Mucuri, Itaúnas e São Mateus. Dissertação de mestrado. 129f. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

Environmental Systems Research Institute (ESRI). Help on line. Disponível em: <<http://resources.esri.com/arcgisdesktop/>>. Acesso em: abril, 1996.

Exercício de Auxílio para Estudo de Bacia Hidrográfica. Universidade Federal de Minas Gerais. HDS 10. Disponível em:

www.etg.ufmg.br/tim1/baciahidrografica2007.doc). Acesso em: junho, 2010.

FERRAZ, M. I. F.; SÁFADI, T.; LAGE, G. Uso de modelos de séries temporais na previsão de séries de precipitação pluviiais mensais no município de Lavras, MG. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.7, p.259-267, 1999.

GARBRECHT, J.; MARTZ, L. W. Modelo de Elevação Raster e limite da Sub-Bacia do Rio Belém. II Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste Campo Grande, 2002

Disponível em: http://www.abrh.org.br/novo/ii_simp_rec_hidric_centro_oeste_campo_grande

HORTON, R.E., An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Science Society of America. p. 399-417, 1940.

LIMA, W. P.; Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Departamento de Ciências Florestais. São Paulo.2008. p. 253.

LUIZ, S.; SANTOS, A.R.S.; BRENNER, T.L. Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS. Anais, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 581-587, 2007.

NAMIKAWA, L. M. Um método de ajuste de superfície para grades triangulares considerando linhas características. Inpe, São José dos Campos, 1995.

MAACK, Reinhard. Geografia física do estado do Paraná. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1981. p. 392-409

MAIDMENT, D. R. Gis and Hydrologic Modeling – An Assessment of Progress. In: Third International Conference on GIS and Environmental Modelling, Santa Fé, New

Mexico, 1996. Disponível em: http://ncgia.ucsb.edu.conf./SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/maindment/gishyd97/class/wshed.html. Acesso em: junho, 2012.
MARK, D. M. Automatic detection of drainage networks from digital elevation models. Cartográfica. Toronto, v.21. n.3. p. 168-178. 1984.

MENDES, C. A. B & CIRILO, J. A. Geoprocessamento em Recursos Hídricos Princípios, Integração e Aplicação. 1. ed. Porto Alegre ABRH, 2001. 536p.

MONTGOMERY, D. R. Predicting landscape-scale erosion using digital elevation models. Comptes Rendus Geoscience, v. 335, p.1121-1130, 2003.

O'CALLAGHAN, F. J., MARL, D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. Computer Vision, Graphics and Image Processing. V. 28, p. 324-444. 1994.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. e BOTELHO, R. G. Erosão e Conservação dos Solos Conceitos Técnicas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 57-99. 1999.

OSAKI, F. Micorbacias: Práticas de conservação de solos. Curitiba – Pr, 1994. 630p.

PINTO, S. Um sistema de representação de relevo. 64 f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.DCC/ICEX. Belo Horizonte, 1994.

PISSARRA, T.C.T.; BORGES, M.J.; GALBIATTI, J.A.; RODRIGUES, F.M. & POLITANO, W. Análise morfométrica da microbacia hidrográfica do córrego rico, região nordeste do Estado de São Paulo. Científica, v.34, p. 170-177, 2006.

PORTO, M. F. A.I; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas. Estudos Avançados**, v. 22, p. 43-60, 2008.

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

RECKZIEGEL, E. W.; ROBAINA, L. E. S. Estudo de Parâmetros Morfométricos do Relevo e da Rede de Drenagem da Área Situada entre os Rios Jaguari e Ibicuí no Município de São Vicente do Sul. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology, 6., 2006. Rio Grande do Sul. Anais. Rio Grande do Sul, 2006. 11. p.

RODRIGUES, F. M.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, C. Caracterização morfométria da micro bacia hidrográfica do Córrego da Fazenda da Glória do Município de Taquaritinga- SP. Irriga. Botucatu. v. 13, n.3, p. 310-322, 2008.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Aplicada aos EIA`s-RIMA`s. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (orgs.). Geomorfologia e Meio Ambiente. 3ª ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2000.

RIBEIRO, C. A. A. S.; CHAVES, M. A.; SOARES, V.P. EUCLYDES, H. P. Modelos Digitais de Elevação Hidrológicamente Consistentes para a Amazônia Legal. Revista Científica Eletrônica de Agronomia. Faep. 11 ed. 2007.

SANTOS, P.R.A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L.C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. Revista Brasileira de Cartografia. Rio de Janeiro, v.58, n.1, p. 101-107, 2008.

TALON, G. C. Delimitação da rede de drenagem utilizando dados SRTM, e sua utilização como uma ferramenta de Gestão Ambiental, na gestão de bacia hidrográfica. 52.f. Monografia. Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, junho, 2011.

TUCCI, C. E. M.. Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004. 943p.

TRENTIN, R. ROBAINA, L. E. S. Metodologia para mapeamento geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 6. 2005. São Paulo. Anais. São Paulo, 2005. p. 3606-3615.

VALERIANO, M. M.; ABDON, M. M. Aplicação de dados SRMT a estudos do Pantanal. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 59. n.1, p. 63-71, 2007.

WALKER, J. P.; WILLGOOSE, G. R. On the effect of DEM accuracy on hydrology and geomorphology models. Water Resource Research. Washigton, v.357, n. 7, p. 2259-2268, 1999.

ZANETTI, S. S.; Modelagem Hidrológica em Microbacia Hidrográfica da Bacia do Rio Piraíba do Sul. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de Janeiro, 2007.