

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL

GUNTER ASSIS MORAES

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ESTUDO DOS
RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA URBANA DE GOIÂNIA**

Goiânia

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

GUNTER ASSIS MORAES

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ESTUDO DOS
RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA URBANA DE GOIÂNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. José Vicente Granato de Araújo, Ph.D.

Goiânia

2007

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gunter Assis Moraes

TÍTULO: Geotecnologias aplicadas ao estudo dos recursos hídricos na área urbana de Goiânia

GRAU: Mestre **ANO:** 2007

É concedida à Universidade Federal de Goiás permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)

M827g Moraes, Gunter Assis.
Geotecnologias aplicadas ao estudo dos recursos hídricos na área urbana de Goiânia / Gunter Assis Moraes. – 2007.
151 f.: il., color., figs., qds., tabs.

Orientador: José Vicente Granato de Araújo

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2007.

Bibliografia: f.96-101.
Inclui listas de figuras, quadros, tabelas e de abreviaturas e siglas.
Anexos.

1. Recursos hídricos – geotecnologia. 2. Sensoriamento remoto. 3. Escoamento superficial – coeficiente. 4. Bacia hidrográfica – área urbana. I. Araújo, José Vicente Granato de II. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil III. Título.

CDU:624.13:628.1(817.3)(043.3)

GUNTER ASSIS MORAES

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ESTUDO DOS
RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA URBANA DE GOIÂNIA**

Dissertação defendida e aprovada em 31 de agosto de 2007, pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. José Vicente Granato de Araújo, Ph.D. - UFG
Orientador

Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga - UFG
Examinador Interno

Prof. Dr. Néstor Aldo Campana - UnB
Examinador Externo

Ao Bruno
Aos meus pais
As minhas irmãs
A minha namorada
Ao avô Sebastião Quirino (in memoriam)
Aos meus tios Darci e Milton (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Ao meu amigo e orientador Professor José Vicente, pela paciência, afincos, e companheirismo nas horas boas e ruins.

Aos professores Luiza, Alfredo, Klebber, Orlene e Eduardo pela inestimável sabedoria, amizade e profissionalismo ao compartilhar seus conhecimentos.

Aos professores Néstor e Nabil da UnB e professor Laerte do LAPIG-IESA-UFG, que mesmo não fazendo parte do programa, foram essenciais pelas ferramentas e demais subsídios necessários para a pesquisa, além de seus vastos conhecimentos em sensoriamento remoto.

Ao professor Ruben Laina Porto pelas informações prestadas a respeito do programa ABC6, enviadas via correio eletrônico.

Ao LAPIG-IESA-UFG pelos subsídios fornecidos tanto de natureza física, material e didática: disponibilização do laboratório, softwares, imagens e arquivos vetoriais e matérias desenvolvidas pelo doutorado CIAMB, quanto profissional ao disponibilizar a experiência e apoio de seus técnicos: professores Laerte e Manoel, Acashi, Lorena, Mônica, Rafael, e demais colegas.

Aos colegas Frederico, Viníciu, Rôsani, Osmar, Rogério, Paulo de Tarso e Tânia, que se não ficaram do meu lado o tempo todo, pelo menos tiveram comigo convivência harmônica na grande maioria desta longa caminhada.

A Escola de Engenharia Civil da UFG e em especial ao curso de Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente pela oportunidade de realização pessoal e profissional.

A SANEAGO S/A, na pessoa do professor José Vicente Granato de Araújo, e COMDATA, através do Flávio Yuasa, pelo fornecimento do mapa urbano básico digital de Goiânia, MUBDG versão 20.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e ao Ministério da Ciência e Tecnologia através do Fundo Setorial de Recursos Hídricos - CT-Hidro, pelo financiamento em parte dessa pesquisa através do edital 014/2005 “Casadinho”.

E a todos os que de qualquer forma participaram direta ou indiretamente desse trabalho, que consiste em um importante degrau na consolidação da formação do profissional na busca do saber visando cada vez mais à especialização e qual a melhor forma de compartilhar os conhecimentos adquiridos.

“Nasceste no lar que precisavas, vestiste o corpo físico que merecias, moras onde melhor
Deus te proporcionou, de acordo com teu adiantamento.

Possuis os recursos financeiros coerentes com as tuas necessidades, nem mais, nem menos,
mas o justo para as tuas lutas terrenas.

Teu ambiente de trabalho é o que elegeste espontaneamente para a tua realização.

Teus parentes e amigos são as almas que atraíste, com tua própria afinidade,
portanto, teu destino está constantemente sob teu controle.

Tu escolhes, recolhes, eleges, atraís, buscas, expulsas, modificas
tudo aquilo que te rodeia a existência.

Teus pensamentos e vontade são a chave de teus atos e atitudes
e são as fontes de atração e repulsão na tua jornada vivência

Não reclames nem te faças de vítima.

Antes de tudo, analisa e observa. a mudança está em tuas mãos.

Reprograma tua meta, busca o bem e viverás melhor.

Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um

NOVO FIM.”

CHICO XAVIER

RESUMO

A localização e a distribuição geográfica de recursos naturais, relevo, ocupação populacional, uso do solo, dentre outros, sempre foi objeto de geração de mapas e cartas pelo homem, em função de sua necessidade de controle e exploração do meio em que vive. Com o crescimento acentuado verificado nos espaços urbanos esta tarefa tem se tornada cada vez mais complexa e dispendiosa devido a grande quantidade e diversidade dos dados envolvidos. A presente pesquisa teve como objetivo geral o desenvolvimento de uma metodologia para o estudo de bacias hidrográficas urbanas com o uso de Sensoriamento Remoto - SR e outras ferramentas de geoprocessamento, visando contribuir para a minimização dos custos na obtenção de índices físicos que caracterizam micro-bacias urbanas. Como objetivos específicos esta pesquisa visou: estabelecer procedimentos para delimitar automaticamente micro-bacias urbanas por meio de SIG; determinar o percentual de áreas impermeabilizadas por meio de SR; determinar de forma precisa o coeficiente de escoamento superficial e realizar simulação para avaliar a quantidade de água escoada em resposta a um evento hidrológico na área de estudo. A metodologia proposta foi dividida em quatro macro etapas. A primeira refere-se à aquisição de dados, com a identificação e pré-seleção de informações da área de estudo e criação de um SIG. A segunda consiste no pré-processamento digital das imagens, através de realce, recorte, compatibilização das projeções, seleção da bacia hidrográfica e geração de modelo digital de terreno – MDT. A análise e interpretação das imagens realizada na terceira etapa compreendem a identificação das áreas de ocupação antrópica, classificação da imagem e obtenção dos índices físicos de caracterização da bacia hidrográfica em estudo. Na etapa final estuda-se o comportamento do escoamento superficial por meio de um simulador de evento hidrológico utilizando os dados físicos da bacia obtidos nas etapas anteriores. Os resultados obtidos mostraram que imagens de satélite de alta resolução espacial e espectral apresentam alto nível de detalhamento das várias assinaturas espectrais dos alvos envolvidos. Ficou evidenciando também certa confusão em assinaturas espectrais muito próximas como é o caso de solo exposto e telhado, bem como de asfalto e determinados tipos de vegetação. Entretanto, essa imprecisão não chegou a comprometer o resultado final onde foi constatado um ganho na obtenção de informações de caracterização de bacias urbanizadas. A metodologia proposta mostrou-se adequada para a obtenção de índices físicos de caracterização de micro-bacias amplamente antropizadas, por meio de SR e ferramentas de geoprocessamento como o coeficiente de escoamento superficial. Os resultados desta pesquisa servirão para subsidiar a implantação de SIG voltados para estudo de bacias urbanas, além de contribuir para a divulgação da quantidade de informações já disponíveis, como o Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia – MUBDG, constituindo em um grande potencial para aplicações que visem o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos na área urbana da capital do estado de Goiás.

Palavras-chave: recursos hídricos, sensoriamento remoto, bacia hidrográfica urbana.

ABSTRACT

The location and geographical distribution of natural resources, relief, population, among others, were always responsible for the generation of maps and charts by men, due to the need to control and explore their living environment. With the huge increase in urbanization it has become a complex and costly task due to the quantity and complexity of the variables involved. The main objective of this research was the development of a methodology for the study of urban watersheds using Remote Sensing - SR techniques and other geoprocessing tools, seeking to contribute to the reduction of the costs involved in the determination of the physical indexes used to characterize urban watershed. The specific objectives were: to delimit urban watershed micro-basin in an automated way by using Geographical Information System – GIS; to determine the percentage of impervious areas by means of SR; to determine a more realistic value for the coefficient of runoff and to simulate the runoff in the basin as a response of an hydrological event occurred in the area of interest. The proposed methodology was organized in four major steps. The first was the acquisition of data, comprising the identification and selection of the available information about the studying area and the creation of a GIS. The second was a digital pre-processing of the images, which was made through enhances, cuts, transformations of the Datum used for projections, selection of the watershed, generation of the digital modeling of terrain – DMT and automatic delimitation of the watershed in study. The analysis and the interpretation of the images were accomplished in the third step and it consisted in the identification of the areas of human occupation, along with the obtaining of physical indexes for characterization of the watershed. The fourth step was the development of a hydrological simulation of a rainfall event to study how it affects the runoff in the basin using information obtained in the previous steps. Results of this research showed that space and spectral high resolution satellite images had presented a high level of detail in several spectral signatures of the involved targets. Certain confusion was noticed in very close spectral signatures as observed in exposed soil and roof, as well as, in asphalt and certain types of vegetation. However, that imprecision didn't compromise the results and a gain was verified in obtaining information for characterization of urbanized watersheds. The proposed methodology proved to be suitable for obtaining physical indexes for characterizing human occupied micro-watershed by means of SR and geoprocessing tools, as the runoff coefficient. The results of the research can subsidize the implantation of GIS for the study of urban watersheds. Also they show the quantity of information already available, as the Digital Basic Urban Map of Goiânia - MUBDG, which constitutes a great potential for use in applications that seek the planning and management of the water resources in the urban area of the capital of the state of Goiás.

Key words: water resources, remote sensing, urban watershed.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Balanço Hídrico	11
Figura 2.2: Alteração no Hidrograma	12
Figura 2.3: Resposta do escoamento	12
Figura 2.4: Espectro eletromagnético.....	15
Figura 2.5: Matriz de pixel - DN.....	17
Figura 2.6: IFOV – Campo de visada instantâneo	17
Figura 2.7: Grade retangular	20
Figura 2.8: Grade triangular	20
Figura 2.9: Parte central das montanhas de Oman	21
Figura 2.10: Tela principal do ArcVIEW 3.2	25
Figura 2.11: Extensão HEC-GeoHMS, sendo incluída em projeto no ArcView.....	26
Figura 2.12: Fluxo de aplicação da extensão HEC-GeoHMS.....	27
Figura 2.13: Janela principal do projeto com as views MainView e ProjectView	27
Figura 2.14: Menus Terrain Processing e HMS Project Setup	28
Figura 2.15: Modelo Digital de Terreno - MDT	28
Figura 2.16: Tela inicial do programa Arcv2CAD	29
Figura 2.17: Tela inicial do programa CAD2Shape.....	31
Figura 2.18: Arquivo importado do CAD, no arcview	32
Figura 2.19: ENVI: Ler, processar, explorar e analisar imagens	33
Figura 2.20: Tela inicial do ENVI 4.1.....	34
Figura 2.21: Simulação de uma bacia no ABC6	35
Figura 3.1: Mapa de Londres com os órbitos (ponto) e poços (cruz).....	39
Figura 3.2: Sistema de triangulação do GPS.....	40
Figura 3.3: Satélites do sistema GPS	41
Figura 3.4: Estrutura geral de um sistema de informação geográfica	43
Figura 3.5: Paradigma dos quatro universos	44
Figura 3.6: Mapa de vegetação e declividade	45
Figura 3.7: Mapa cadastral – Países sul-americanos.....	45
Figura 3.8: Elementos de rede.....	46
Figura 3.9: MNT - Isolinhas de topografia	47
Figura 3.10: Composição das bandas 3, 4 e 5 TM-Landsat - Manaus-AM	48
Figura 3.11: Tipos de sistemas de projeções.....	49

Figura 3.12: Divisão do Globo em zonas UTM.....	51
Figura 3.13: Zona de Mercator em Quadriculas	52
Figura 3.14: Classificação de cartas topográficas	53
Figura 3.15: Carta Internacional ao Milionésimo (CIM).....	54
Figura 4.1: Fluxograma - Metodologia da pesquisa.....	58
Figura 4.2: Localização do Brasil/Goiás/Goiânia.....	60
Figura 4.3: Avenida Independência c/ Marginal Botafogo	60
Figura 5.1: Ladeira e ocupação desordenada	66
Figura 5.2: Caule das árvores	66
Figura 5.3: Img QuickBird 2001	66
Figura 5.4: Pavimentação ao redor do tronco	66
Figura 5.5: QuickBird 2001, (LAPIG).....	67
Figura 5.6: CBERS 2004, (INPE)	67
Figura 5.7: Classificação imagem QuickBird	68
Figura 5.8: Classificação imagem CBERS	68
Gráfico 5.9: Níveis de cinza da imagem CBERS - 2004	69
Gráfico 5.10: Níveis de cinza da imagem QuickBird - 2001	69
Figura 5.11: Imagem QuickBird, com ROI	70
Figura 5.12: Classificação da QuickBird	70
Figura 5.13: Imagem QuickBird	71
Figura 5.14: Classificação imagem CBERS	71
Figura 5.15: Bacia delimitada manualmente.....	73
Figura 5.16: Bacia delimitada com auxílio do HEC-GeoHMS.....	73
Figura 5.17: Composição RGB Clube de Engenharia.....	75
Figura 5.18: Classificação Clube de Engenharia	75
Figura 5.19: Área classificada indevidamente como Vegetação Alta.....	76
Figura 5.20: Desmoronamento na Marginal Botafogo, Março de 2003	78
Figura 5.21: Avenida Independência c/ Marginal Botafogo	79
Figura 5.22: Avenida Independência c/ Marginal Botafogo	79
Figura 5.23: Curvas de nível com falhas, por causa de uma passagem de nível.....	80
Figura 5.24: Imagem demonstrando passagem de nível	80
Figura 5.25: MDT com as devidas correções, passagem de nível	81
Figura 5.26: MDT Goiânia, curvas selecionadas e hidrografia.....	82

Figura 5.27: Delimitação do projeto com o Outlet	82
Figura 5.28: Delimitação automática da área de estudo.....	83
Figura 5.29: Falha na geração do shapefile.....	83
Figura 5.30: Tela do ENVI 4.1, com o menu Apply Mask ativo.....	84
Figura 5.31: Imagem TIF recortada	85
Figura 5.32: Imagem TIF classificada	85
Figura 5.33: Zoom da imagem, praça Botafogo	87
Figura 5.34: Zoom da classificação, praça Botafogo	87
Gráfico 5.35: Hidrograma de saída da seção de controle.....	91
Figura 5.36: Seção do canal da Marginal Botafogo.....	91
Figura 5.37: Seção do canal em dia normal	92
Figura 5.38: Seção do canal em dia chuvoso	92
Figura 5.39: Marginal interdida	93
Figura 5.40: Anhanguera interdida.....	93
Figura 5.41: Av Milão interdida.....	93
Figura 5.42: Precipitação de 20 a 23/03/2007.....	93
Figura 5.43: Precipitação de 17 a 20/03/2007.....	93
Figura 5.44: Precipitação de 29 a 31/03/2007.....	93
Figura A.1: DEM	104
Figura A.2: Formulário de preenchimento de vazios – FillSinks	105
Figura A.3: GRID resultante do preenchimento de vazios – FillSinks.....	105
Figura A.4: Posicionamento da direção de escoamento.....	106
Figura A.5: Formulário de direção de escoamento	106
Figura A.6: GRID resultante da direção dos fluxos – FlowDirection.....	107
Figura A.7: Formulário de acumulação de escoamento.....	107
Figura A.8: GRID resultante da acumulação de fluxos – FlowAccumulation	108
Figura A.9: Formulário de propriedades da view	109
Figura A.10: Formulários de definição de escoamento – Stream	109
Figura A.11: GRID resultante de definição de escoamento – Stream	110
Figura A.12: Formulários de ligação do escoamento – LinkStream.....	110
Figura A.13: GRID resultante da ligação dos escoamentos – StreamLink.....	111
Figura A.14: Formulário delimitação da bacia – WaterShed Deliniation	111
Figura A.15: GRID resultante da delimitação da bacia – WaterShed Deliniation	112

Figura A.16: Formulário processamento dos polígonos da bacia – WaterShed Polygon	112
Figura A.17: GRID - processamento dos polígonos da bacia - WaterShed Polygon.....	113
Figura A.18: Formulário processamento dos segmentos do escoamento – Stream Segment	113
Figura A.19: GRID - Processamento dos segmentos do escoamento - Stream Segment	114
Figura A.20: Formulário que une as micro-bacias – WaterShed Merge.....	114
Figura A.21: GRID resultante da união das micro-bacias – WaterShed Merge	115
Figura A.22: Formulários de criação de novo projeto – Basic Study Area	116
Figura A.23: Shapefile resultante da delimitação do projeto B.....	117
Figura C.1: MDT Goiânia, curvas selecionadas e hidrografia.....	122
Figura C.2: GRID BBotaf10	123
Figura C.3: GRID BBotaf10 com aplicação de Fill Sinks.....	123
Figura C.4: GRID Flow Direction	124
Figura C.5: GRID Flow Accumulation.....	124
Figura C.6: GRID Stream Definition.....	124
Figura C.7: GRID Stream Segmentation	124
Figura C.8: GRID Watershed Deliniation	125
Figura C.9: GRID Watershed Segment	125
Figura C.10: Delimitação do projeto com o Outlet.....	125
Figura C.11: Delimitação automática da área de estudo.....	126
Figura C.12: Falha na geração do shapefile.....	126
Figura D.1: ABC6 – Dados da Bacia	129
Figura D.2: ABC6 – Dados de Precipitação – Curvas IDF.....	130
Figura D.3: ABC6 – Dados de Infiltração – SCS Curve Number.....	130
Figura D.4: ABC6 – Manning composto	131
Figura D.5: ABC6 – Tempo de concentração	131
Figura D.6: ABC6 – Precipitação	132
Figura D.7: ABC6 – Hidrograma da Bacia.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Valores comuns do coeficiente de escoamento.....	14
Tabela 2.2: Satélites - Sensores.....	18
Tabela 3.1: Exemplo de análise espacial.....	39
Tabela 5.1: Níveis de cinza da imagem CEBERS - 2004.....	68
Tabela 5.2: Níveis de cinza da imagem QuickBird - 2001	68
Tabela 5.3: Áreas da imagem CBERS - 2004.....	69
Tabela 5.4: Áreas da imagem QuickBird - 2001.....	70
Tabela 5.5: Valores das áreas de estudo	73
Tabela 5.6: Áreas obtidas com auxílio do HEC-GeoHMS.....	74
Tabela 5.7: Classificação para cálculo de C	77
Tabela 5.8: Classificação para cálculo de C com correção.....	77
Tabela 5.9: Matriz de erros de classificação	86
Tabela 5.10: Classificação das classes pelo Spring	88
Tabela 5.11: Áreas Impermeabilizadas	89
Tabela 5.12: Características da área de estudo	89
Tabela 5.13: Dados utilizados no programa ABC6	90
Tabela 5.14: Hidrograma de saída da seção de controle	90
Tabela 5.15: Limites aconselháveis para a velocidade média em canais.....	92
Tabela A1: Grupo de acordo com o tipo do solo e condições de ocupação	119
Tabela A2: Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.....	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

A	Área
C	Coefficiente de escoamento superficial - RUNOFF
CAP LTER	Central Arizona-Phoenix Long Term Ecological Research
CBERS	China-Brasil Earth Resources Satellite
CELG	Centrais Elétricas de Goiás S/A
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CT-Hidro	Fundo Setorial de Recursos Hídricos
DEM	Digital elevation model
DH	Densidade habitacional
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GPS	Global Positioning System
HEC-GeoHM	Geospatial Hydrologic Modeling Extension
HEC-HMS	Software: Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Model System
IAG	International Association of Geodesy
IESA-UFG	Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás
IFOV	Campo de visada instantâneo
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LABSID	Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
LANDSAT	EUA-NASA-USGS Satellite
MAXVER	Método estatístico de Máxima Verossimilhança - SPRING
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDT	Modelo digital de Terreno
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS
ROI	Region of interest - ENVI
SANEAGO	Saneamento de Goiás S/A
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas DPI-INPE
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SSD ABC	Sistema de Suporte a Decisões Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas
TELEBRÁS	Telecomunicações Brasileiras S/A
TELEGOIÁS	Telecomunicações de Goiás
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USACE HEC	Centro de Engenharia Hidrológica do Exército dos EUA
VI – MODIS	Produto do satellite MODIS – Vegetation Index
WMS	Watershed Modeling System
Φ	Latitude
λ	Longitude

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	2
1.1	JUSTIFICATIVA	3
1.2	OBJETIVOS	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	USO DE GEOPROCESSAMENTO PARA O GERENCIAMENTO URBANO	5
2.2	OUTRAS APLICAÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO	6
2.3	SENSORIAMENTO REMOTO.....	8
2.3.1	Classificação de Imagens.....	8
2.4	SUPERFÍCIES IMPERMEABILIZADAS	10
2.4.1	Quantificação de Superfície Impermeável	13
2.4.2	Identificação de Áreas Impermeáveis.....	14
2.5	IMAGENS DE SATÉLITE	15
2.5.1	Radiação Eletromagnética - Sensores.....	15
2.5.2	Satélites Utilizados em Nível Orbital	17
2.5.3	Aquisição e Processamento de Imagens de Satélite	19
2.6	MODELO DIGITAL DE TERRENO	20
2.7	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	23
2.8	APLICATIVOS DE INTEGRAÇÃO.....	24
2.8.1	ESRI - Environmental Systems Research Institute	24
2.8.2	HEC - Hydrologic Engineering Center.....	26
2.8.3	Guthrie CAD/GIS Software.....	28
2.8.4	RSI.....	32
2.8.5	SSD ABC - Versão 6	35
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	37
3.1	GEOPROCESSAMENTO.....	37
3.1.1	Histórico Internacional	37
3.1.2	Histórico no Brasil	37
3.1.3	Dados Geográficos	38
3.1.4	Sistemas de Informações Geográficas - SIG	42
3.1.5	Modelagem do Espaço Geográfico	43
3.1.6	Representação Geográfica	44

3.2	PROJEÇÕES GEOGRÁFICAS	48
3.3	DATUM.....	54
4	METODOLOGIA.....	57
4.1	AQUISIÇÃO DE DADOS	59
4.1.1	Escolha da Área de Estudo	59
4.1.2	Dados Cartográficos	60
4.1.3	Imagem de Alta Resolução de Goiânia	61
4.1.4	SIG – Micro-Bacia do Córrego Botafogo	61
4.1.5	Dados Temáticos	62
4.2	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM.....	62
4.2.1	Realce da Imagem de Alta Resolução	63
4.2.2	Recorte da Área de estudo	63
4.3	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM	63
4.3.1	Identificação das Áreas de Ocupação Antrópica.....	63
4.3.2	Classificação da Área de Estudo	64
4.3.3	Avaliação da Classificação	64
4.4	SIMULAÇÃO DE EVENTO HIDROLÓGICO	64
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	65
5.1	ANÁLISE DE ÁREA IMPERMEABILIZADA.....	65
5.2	OBTENÇÃO DO COEFICIENTE C - RUNOFF, ATRAVÉS DE SR.....	72
5.3	CARACTERIZAÇÃO DE MICRO-BACIA URBANA.....	78
5.4	SIMULAÇÃO DE EVENTO HIDROLÓGICO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO.....	90
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
	ANEXOS.....	102
	ANEXO A – PROCEDIMENTO PARA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIA	104
	ANEXO B – MÉTODO DO SCS CURVE NUMBER.....	119
	ANEXO C – APLICAÇÃO DE DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO.....	122
	ANEXO D – SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO.....	129

1 INTRODUÇÃO

A localização e distribuição geográfica de recursos naturais: animais, plantas, minerais dentre outros, e de ações antropogênicas: estradas, cidades, propriedades, etc., sempre foram objetos de geração de mapas e cartas para controle, desenvolvimento e exploração. Essas importantes atividades, embora complexas, até a década de 70 eram realizadas apenas em documentos e mapas de papel. Isto dificultava, e de certa forma limitava, as análises que combinassem diversos dados coletados. Com o desenvolvimento da microinformática, a partir dos anos 60, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambientes computacionais, abrindo espaço para o aparecimento do geoprocessamento, que é a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente distribuídos ou extrair informações desses, quando são observados por um sistema sensor (MOREIRA, 2004).

As ferramentas computacionais existentes atualmente para uso em geoprocessamento, permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes que foram organizados em bancos de dados georeferenciados, isto é, que possuem coordenadas de latitude, longitude e altitude, formando um sistema de informação geográfica, SIG. “Se onde é importante para seu negócio, então geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho” (CÂMARA, 2001). Os três principais produtos gerados através de um SIG, são: desenvolvimento de um banco de informações georeferenciadas, análise espacial de fenômenos geográficos e produção de mapas.

O uso do geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente, em um país de dimensões continentais como o Brasil, que tem uma grande carência de informações adequadas para dar suporte aos tomadores de decisões sobre os problemas ambientais seja nas regiões urbanas, com nas rurais (op cit.).

Com o êxodo rural, nas décadas de 60 e 70, houve um aumento populacional significativo nos aglomerados urbanos. As cidades foram se adequando para suportar populações maiores e como conseqüência, aumentou-se drasticamente o índice de impermeabilidade das bacias que possuíam regiões urbanizadas. A falta de consciência ecológica e sustentabilidade que dominava as comunidades até pouco tempo, aliado a falta de legislação ambiental mais severa, permitiu os desmatamentos de nascentes, ocupações de várzeas muitas vezes acompanhadas pela retificação e canalização de cursos d'água, contribuindo para agravar o cenário de aumento das ondas de cheia.

Um dos fatores mais impactantes, relacionado com as atuais ondas de cheias e alagamentos nas regiões mais urbanizadas das cidades de médio e grande porte, é o alto grau de impermeabilização das superfícies. Alterando diretamente o tempo de concentração da bacia hidrográfica, este aumento de impermeabilização incrementa o escoamento superficial, ultrapassando em muito os valores utilizados no dimensionamento das galerias pluviais, que por si só estariam subdimensionadas em relação à realidade da época de implantação do projeto.

Além disso, áreas impermeabilizadas provocam alterações diretas no ciclo hidrológico, uma vez que impedem a infiltração no subsolo de água para recarga de aquíferos e diminuem a evapotranspiração potencial.

Os impactos causados pela impermeabilização das superfícies, não refletem somente na quantidade de água pela alteração do ciclo hidrológico, mas também na sua qualidade. Sedimentos, saponáceos, ácidos graxos, detergentes, dentre outros, são carregados para os corpos d'água em maior quantidade e concentração, através do aumento do escoamento superficial.

Os estudos de bacias hidrográficas se valem de modelos hidrológicos que permitem simular os principais processos e os impactos da antropização do uso do solo, especialmente em bacias urbanas, visando compreender e criar cenários para que posteriormente, possam ser tomadas ações mitigadoras, ou até mudança no planejamento pelo gestor público. Visando essa simulação, se mostra necessário a obtenção de informações de forma a caracterizar as variáveis envolvidas, dentre elas a porcentagem de áreas impermeabilizadas, bem como área da bacia e demais características físicas, tipos e uso de solo, etc. A obtenção precisa dessas informações pode tornar às vezes inviável o desenvolvimento de estudos e projetos. Com o uso do sensoriamento remoto, pode se obter com relativa acurácia e a baixo custo as informações necessárias para uma boa simulação.

Um dos grandes problemas encontrados é a falta de precisão e a complexidade da obtenção de características físicas através do uso do sensoriamento remoto, principalmente por causa das interações ocorridas na obtenção das diversas classes utilizadas na classificação. Em áreas urbanas largamente antropizadas, a dificuldade na classificação de imagens digitais é elevada. As variações das assinaturas espectrais dos alvos incrementam a precisão das classificações, principalmente em imagens de alta resolução espectral.

Através da classificação de imagens de alta resolução, é possível extrair características que permitam ser identificadas como áreas impermeabilizadas como as

superfícies de telhado, concreto, asfalto, calçamento, dentre outras. Da mesma forma, torna-se possível identificar as superfícies consideradas permeáveis como campos de grama, vegetação alta, média, e baixa, solo exposto, etc.

1.1 JUSTIFICATIVA

A determinação de áreas impermeáveis por meio de topografia convencional, medição em aerofotografias ou utilizando-se de técnicas de sensoriamento remoto, depende da acurácia desejada, custos envolvidos e finalidades a que se destinam esses estudos. Uma vez escolhido o processo a ser utilizado, fatores como precisão do trabalho, área de estudo e disponibilidade de recursos humanos e financeiros, influenciarão diretamente e deverão ser considerados para auxiliar a determinação de viabilidade do projetos de engenharia, onde a variável Área Impermeável seja considerada importante.

Portanto, faz-se necessário avaliar a potencialidade do uso de sensoriamento remoto na determinação do coeficiente de escoamento superficial – C , e desenvolver uma metodologia adequada por meio de ferramentas de geoprocessamento, para que se possa delimitar bacias hidrográficas e modelar o escoamento superficial através de simulação hidrológica.

Os resultados obtidos podem colaborar com a redução dos custos na obtenção de características físicas das bacias hidrográficas urbanas que beneficiariam tanto a comunidade pública como a privada. Estes resultados visam também integrar parâmetros dos meios físicos como declividade, áreas impermeabilizadas, área da bacia, etc., que possam auxiliar os estudos de avaliação da disponibilidade hídrica através do conhecimento e previsão do escoamento superficial.

1.2 OBJETIVOS

Essa pesquisa tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma metodologia para o estudo de bacias hidrográficas urbanas, com o uso do sensoriamento remoto e outras ferramentas de geoprocessamento. Desta forma, visa colaborar com a integração de dados dos índices físicos de caracterização de bacias como declividade, área da superfície da bacia, áreas impermeabilizadas, etc., por meio de sistemas de informação geográfica e utilizá-los como parâmetros de entrada em modelos de simulação de escoamento superficial.

Como objetivos específicos da pesquisa, pode-se citar:

- caracterização de bacias hidrográficas urbanas, através da obtenção de índices físicos, de forma automatizada por meio de uso de geoprocessamento;
- determinação do percentual de áreas impermeabilizadas por meio de sensoriamento remoto - SR;
- determinação do coeficiente de escoamento superficial;
- integração de diversos formatos de arquivos para o uso em modelos de simulação;
- delimitação automática de micro-bacias urbanas, através de SIG;
- simulação de escoamento superficial, utilizando o programa SSD ABC;
- estudo de caso em micro-bacia do córrego Botafogo, no município de Goiânia, visando atestar a metodologia proposta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USO DE GEOPROCESSAMENTO PARA O GERENCIAMENTO URBANO

Para um eficiente gerenciamento urbano, torna-se necessário uma base de informações vasta e confiável. A falta de informação contribui para problemas como a implantação de programas e atividades de desenvolvimento urbano ineficazes, investimentos mal planejados, discrepância dos mercados de terra e conseqüentemente impostos sobre propriedade, serviços públicos e de transporte com inconsistência nos valores, além de se desconsiderar os impactos ambientais advindos do desenvolvimento da população (PAULSSON, 1992).

Em muitas cidades dos países em desenvolvimento, os gestores de políticas públicas municipais são os responsáveis por elaborar estratégias para a proteção ambiental, promover o desenvolvimento e manutenção de infra-estrutura e administrar os usos e cobrar impostos sobre a ocupação do solo. Além disso, devem responder às pressões específicas de crescimento anual da população em até 10% e de expansão da área urbana na ordem de 50 a 100% a cada dez anos em média. Essas atribuições são realizadas, normalmente, sem que tenham acesso a mapas cadastrais atualizados e informações sistemáticas sobre a extensão desse povoamento, padrões de uso da terra, problemas ambientais e instalações de infra-estrutura (op cit.).

Tradicionalmente, a gestão é realizada colocando sobre a mesa mapas cadastrais e traçando as estratégias, para que depois em loco, sejam averiguadas as informações. Essa técnica de visitar todo traçado para conferir a ocupação e uso do solo é demorada, cara, além de incômoda. Métodos convencionais de fotografia aérea são muito caros para os limitados orçamentos municipais, e até que os mapas sejam finalmente produzidos estão freqüentemente obsoletos necessitando ser revisados (op.cit.).

A necessidade de novas soluções para atualização de dados cadastrais e conseqüente melhora no desempenho da administração direta, vem impulsionado o crescente desenvolvimento de ferramentas de aquisição e processamento de imagens de satélite, através do sensoriamento remoto (SR). Além disso, sistemas de informações geográficas (SIG) estão sendo utilizados de forma a integrar dados cadastrais às imagens adquiridas.

Durante os anos de 1970 a 1990, as imagens adquiridas via SR eram usualmente utilizadas para confeccionar mapas na escala 1:250.000, visando principalmente o planejamento regional de pequena escala. Entretanto, com o desenvolvimento de novas

tecnologias, o uso potencial de imagens de satélite em aplicações urbanas foi consideravelmente aumentado. Atualmente, as imagens de satélite têm maior resolução que permitem produzir mapas mais detalhados, escala de 1:5.000. Os computadores estão ficando cada vez mais baratos e com capacidade de processamento maior, levando a difundir e tornar mais acessível essa tecnologia, e proporcionando o surgimento de profissionais com experiência em SR nos países em desenvolvimento, além do estabelecimento de novos centros regionais e nacionais de treinamento e aplicação em SR (op cit.).

Por causa destes novos desenvolvimentos, SR pode regularmente manter atualizada a um custo relativamente baixo e com certo grau de imprecisão, uma base de informações sobre temas como cobertura e uso da terra, assuntos ambientais, instalações de infra-estrutura e por deixar os mapas em dia (op cit.). Além disso, conforme Sawaya et al. (2003) o potencial das imagens de alta resolução para mapeamento e análises de recursos ambientais, cobertura de solo e água, em escala local podem ser estendidos para três tipos de aplicações:

- classificação da transparência da água de pequenos lagos;
- mapeamento das áreas urbanas impermeáveis;
- análise da vegetação aquática dos grupos de plantas que florescem na superfície e submersas.

Estes estudos podem servir para modelar e estimar mais precisamente, através de acompanhamento contínuo de variáveis como turbidez da água e áreas impermeáveis. Algumas limitações são impostas pelas sombras, que podem influenciar nas características das classificações. Dados de SR com alta resolução podem se estender muito além do que poderia se fazer com fotografias aéreas, colaborando para que estimativas sejam mais precisas para os gestores (SAWAYA et al., 2003).

2.2 OUTRAS APLICAÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO

Yu et al. (1999) propõem a simulação através de softwares de resposta hidrológica, HEC-HMS, para eventos de precipitação, utilizando os métodos de particionamento da chuva superficial da Soil Conservation Service Curve Number - SCS-CN e Green-Ampt. Em ambos, se faz necessário o estudo das características da bacia estudada, como geomorfologia, cobertura do solo e percentagem de áreas impermeáveis, que podem ser estimadas através de imagens de SR de alta resolução, disponíveis nos dias atuais.

O mapeamento do desmatamento em áreas de florestas tropicais primárias via dados de SR, propiciou a Carreiras et al. (2006) a avaliação de áreas de pastagem e agricultura e florestas de sucessão secundária na Amazônia Legal Brasileira, utilizando imagens multitemporais. Ficou demonstrado também que ocorre a mistura de classes com pixels de níveis de cinza parecidos, e que mesmo assim houve uma precisão global de 0.92.

Stefanov et al. (2001) estudaram a distribuição espacial e temporal de cobertura do solo. Nesse intento, foi usado um sistema especialista com imagens Landsat para obter a classificação de uso da terra para a porção metropolitana do parque da pesquisa ecológica de longa duração no semi-árido de Phoenix, Central Arizona - CAP LTER. Sistemas especialistas permitem a integração de dados obtidos remotamente com outras fontes de informação georeferenciados, como dados de uso da terra, textura e modelação de elevação digital e obter com maior precisão, a classificação das classes propostas. Regras lógicas de decisão foram utilizadas com os dados selecionados de forma a valorar cada classe para cada pixel. Além disso, um outro sistema especialista foi construído para executar a pós-classificação que ordena a classificação inicial de cobertura de terra e usa dados adicionais previamente selecionados como textura, uso do solo, outorga de água, limites de cidade e limites de reserva dos nativos americanos, reclassificando através de regras lógicas de decisão em 12 classes. A precisão global desta técnica foi de 85%. A precisão das classes individuais variou de 73 a 99%, com a exceção da classe de materiais de indústria e comércio, que teve pobre classificação, precisão de 49%, devido à semelhança de seus pixels com os de outras classes.

Outra utilização de SR investigada por Ferreira Júnior et al. (2004), foi uso do índice de vegetação -VI-MODIS, visando o monitoramento da alteração de cobertura de solo no bioma Cerrado, a maior região de savana neotropical do mundo e mais ameaçado bioma do Brasil. Ainda acerca do cerrado, o segundo maior bioma da América do Sul, Ferreira et al. (2004) afirmam que 60% da cobertura vegetal nativa foram convertidas e que o monitoramento dessa fronteira agrícola deve ser feito com dados de sensoriamento remoto.

Segundo Cacela Filho et al. (2007), através de mapas digitais e dados hidrológicos, o programa Watershed Modeling System, WMS, forneceu um ambiente detalhado da região hidrográfica do sistema da bacia do Tucunduba, localizada em Belém do Pará.

Atualmente, pesquisas na área de geoprocessamento utilizam-se da aquisição de imagens através de sensoriamento remoto para mapear a vegetação abaixo dos substratos marinhos de forma a obter um controle quantitativo das comunidades bentônicas que

demonstram o status atual do meio ambiente costeiro marinho (VAHTMAE, 2006).

Shao (1997) utilizou um modelo que relaciona a umidade do solo com os padrões de cobertura do mesmo. Moraes et al. (2006a, 2006b), analisaram a eficiência na obtenção de áreas impermeabilizadas utilizando imagens de alta resolução e baixa resolução, além de um comparativo de custo x benefício. Assuntos distintos que demonstram a larga escala de uso de SR como ferramenta de auxílio à obtenção de índices que demonstrem o real estado do meio ambiente.

Uma consideração a ser feita, é a de que SR não deve ser isoladamente utilizado sem a devida complementação e comparação com outras fontes de informação ou utilização de outras técnicas de mapeamento (PAULSSON, 1992).

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto tem sido definido como um conjunto de atividades que tem por objetivo caracterizar as propriedades dos objetos através da detecção, registro e análise do fluxo radiante por eles emitido ou refletido (MOREIRA, 2004). A essência desta atividade fundamenta-se na identificação e na discriminação de alvos, onde a radiação recebida pelo sensor torna-se a base de todo o processo. Entretanto, o mecanismo de aquisição destes dados apresenta limitações, uma vez que entre o sensor e a superfície existe um meio extremamente dinâmico: a atmosfera. A atmosfera interage com a radiação eletromagnética, provocando significativas alterações no fluxo radiante proveniente do alvo (op cit.).

A informação espectral de uma cena pode ser representada pelos pixels de coordenadas espaciais x , y e a coordenada espectral E , que representa a radiância de um alvo no intervalo de comprimento de onda de uma banda espectral (CÂMARA, 2001).

2.3.1 Classificação de Imagens

Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos (op cit.). Os métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais. Segundo Sano et al. (2005), produtos gerados por sensoriamento remoto, como o VI MODIS, e radares, podem ser utilizados na discriminação de fisionomias do cerrado brasileiro. Moraes e Araújo (2006a) analisaram a eficiência de imagens de alta e baixa resolução, na identificação de áreas impermeabilizadas no município de Goiânia. Nesse caso, apesar de distintas ambas as imagens, as classificações chegaram a resultados próximos após a correção

dos resultados, sendo possível então a utilização da obtenção tanto de área impermeabilizada quanto a área total da bacia, serem utilizadas em estudos preliminares que necessitem dessas variáveis.

Existem diversos processos de classificação de imagens, dentre eles podemos dividir os classificadores pixel a pixel e classificadores por regiões, que estão implementados no ambiente Spring. Esses classificadores tratam a informação espectral isoladamente, visando delimitar regiões homogêneas. Uma forma de potencializar os resultados é a utilização de métodos estatísticos, aqueles que utilizam regras da teoria de probabilidade, e determinísticos. Já os classificadores por regiões utilizam, além de informação espectral de cada pixel, envolvem a relação entre os pixels vizinhos.

Os resultados de uma classificação digital por classes espectrais, são geralmente a representação de áreas com características espectrais semelhantes, como mapeamento de uso do solo urbano e identificação de áreas impermeabilizadas. Essas classificações são conhecidas como produto.

Cada produto dependerá da demanda gerada pelo usuário. Vale ressaltar que Stefanov et al. (2001), Carreiras et al. (2006) e Small (2006) afirmam que existe uma mistura nas assinaturas espectrais, resultando classificações confusas. Se o interesse for mapear áreas residenciais e industriais, há de se tomar cuidado, uma vez que estas classes dificilmente são caracterizadas por uma única assinatura espectral, principalmente devido aos diferentes tipos de alvos presentes como vegetação, prédios, pavimentação, dentre outros. Diante desta dificuldade, em uma classificação, o usuário deve considerar a relação entre a resposta espectral dos alvos e a classe que deseja mapear (SPRING, 2005).

Deve se utilizar então, o processo conhecido como classificação multiespectral. Utilizado para realçar as características físicas que se deseja, em sensores que tem exatamente aquela banda onde a assinatura espectral do objeto a ser identificado seja sua especialidade (op cit.).

As técnicas de classificação multiespectral pixel a pixel, implementadas no Spring, versão 4.3.3, são: Máxima verossimilhança - MAXVER e Distância mínima. O primeiro passo em um processo de classificação multiespectral é o treinamento, ou coleta de amostras. Podem ser ainda classificados como: Supervisionado e não-supervisionado (op cit.). O primeiro é realizado com o auxílio do usuário e deve ser levado em conta o conhecimento da região de estudo. Esse método é o mais comum em classificações realizadas dentro do ambiente Spring. Recomenda-se que o usuário adquira mais de uma área de treinamento,

utilizando o maior número de informações disponíveis, visto que mesmo dentro de alvos com a mesma assinatura espectral, ocorrem diferenças, principalmente em imagens de alta resolução (MORAES et al., 2006a e 2006b).

MAXVER vem do método estatístico de Máxima Verossimilhança, e é um dos três classificadores do tipo pixel a pixel, que estão implementados no ambiente Spring. É o método de classificação mais comum e considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. De forma a obter uma classificação por máxima verossimilhança mais precisa, será necessário um número razoavelmente elevado de coleta de pixels no treinamento. Esses definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento (SPRING, 2005).

Existe ainda o limiar de aceitação, que indica a porcentagem pixels da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente à classe selecionada. Um limite de 99%, por exemplo, indica que 99% dos pixels serão considerados e que 1% será ignorado, desses, os que tem menor probabilidade dentro da distribuição. Compensando assim a possibilidade de que pixels com assinaturas muito próximas sejam introduzidos no treinamento por engano desta classe, ou ainda, estarem no limite entre duas classes próximas, como vegetação rasteira e vegetação de cerrado, por exemplo. Isso não garante que o processo se dê com sucesso, mas melhora a classificação (op cit.).

Visando diminuir a confusão entre as classes, é aconselhada a aquisição de amostras significativas de alvos distintos com assinaturas bem diferentes, como asfalto e concreto (op cit.).

2.4 SUPERFÍCIES IMPERMEABILIZADAS

Áreas constituídas de material, natural ou artificial, que impeçam a infiltração através dos interstícios do solo de água, são conhecidas como superfícies impermeabilizadas (ARNOLD e GIBBONS, 1996). Pode-se atribuir a essa definição a áreas urbanas como: superfícies de concreto, telhados, estacionamentos, vias, etc., o conceito de áreas impermeabilizadas. É sabido que mesmo as superfícies mais densamente compactadas, sejam naturais como os afloramentos rochosos e os artificiais como vias pavimentadas, podem ainda permitir infiltração, mesmo que uma parcela muito pequena. As áreas impermeabilizadas, segundo Schueler (1994 apud ESTEVES, 2006) podem ser divididas em dois grupos: sistemas viários, como: ruas, calçadas, praças, estacionamentos, dentre outros e as coberturas, telhados

e lajes.

Em estudos de bacias, conhecer o uso do solo e principalmente as áreas impermeabilizadas, é fator essencial. Modelos hidrológicos são ferramentas úteis que permitem, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2000e). Essas ferramentas usam modelação matemática dos processos hidrológicos, é necessário então a caracterização da bacia, obtendo variáveis físicas como: área total, declividade média, canais de drenagem, relevo da bacia, uso e cobertura do solo, e principalmente a porcentagem de áreas impermeáveis (RAGAN e JACKSON, 1975). Campana (1992 apud ESTEVES, 2006) recomenda ainda, o conhecimento dos dados hidrológicos tais como vazão, precipitação e evapotranspiração.

A impermeabilização de superfícies se relaciona com outros impactos físicos e ecológicos. Sua utilização como parâmetro indicador de qualidade dos recursos hídricos urbanos, é apontada por Schueler (1994 apud Esteves, 2006).

Com a impermeabilização das superfícies na área urbana, há uma alteração do ciclo hidrológico local (TUCCI e BERTONI, 2003). O volume de escoamento superficial aumenta, enquanto diminuem a infiltração e a evapotranspiração, conforme a Figura 2.1.

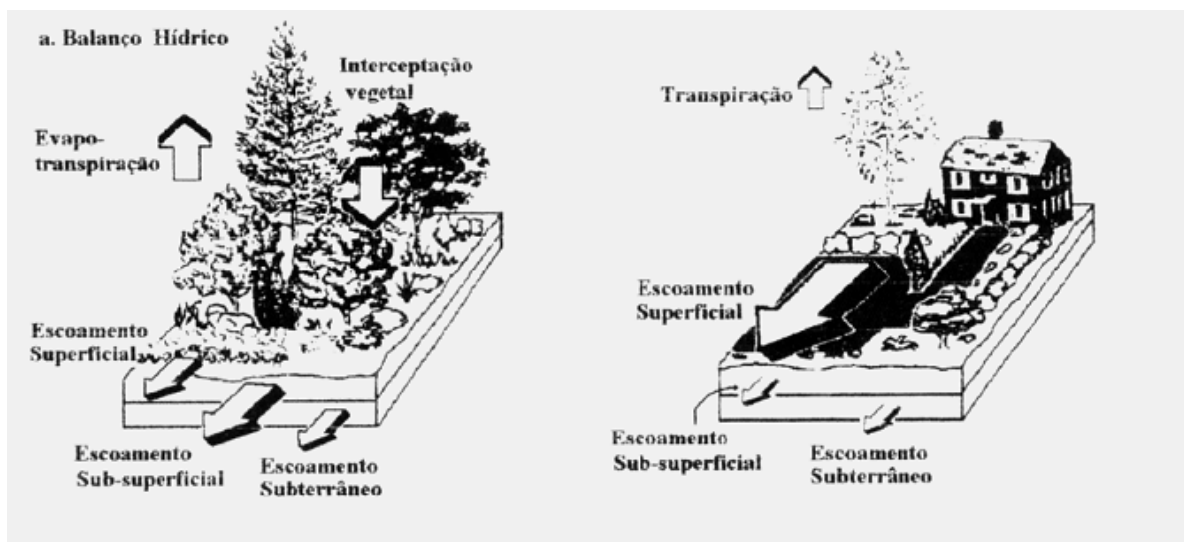


Figura 2.1: Balanço Hídrico
Fonte: Tucci e Bertoni (2003)

O aumento no escoamento superficial é provocado, dentre outros fatores, principalmente pelo desenvolvimento urbano. As superfícies impermeabilizadas, além de impedir a infiltração, também apresentam menos obstáculos a retenção e a velocidade do escoamento superficial aumenta. Em razão disso, a onda de cheia é mais volumosa, a vazão de pico se eleva e conseqüentemente, reduz-se o tempo de concentração da bacia (op cit.).

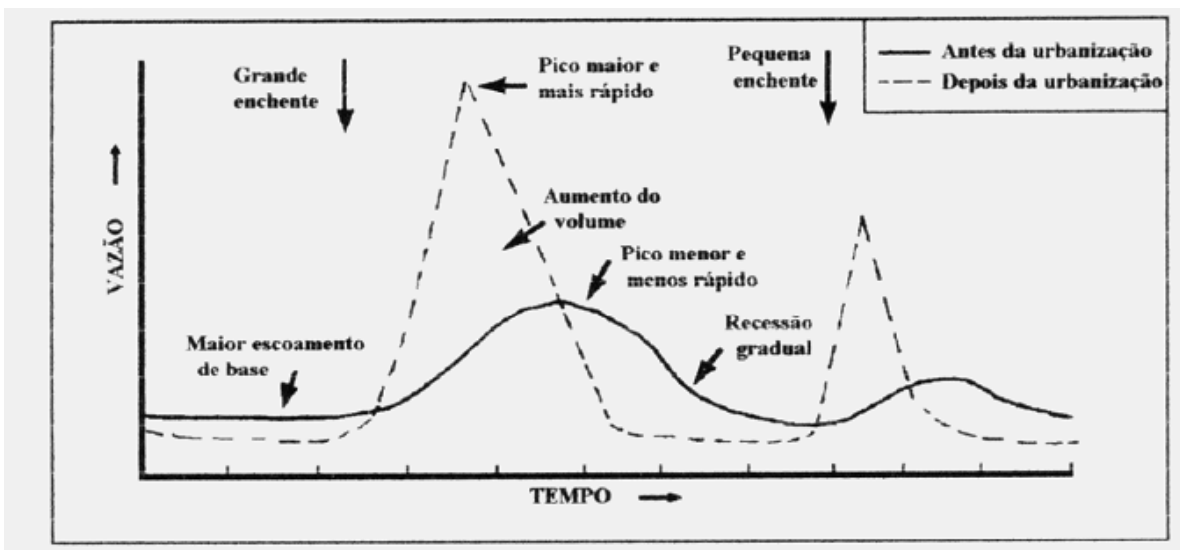


Figura 2.2: Alteração no Hidrograma
Fonte: Tucci e Bertoni (2003)

As Figuras 2.2 e 2.3, mostram as situações de antes e depois da urbanização.

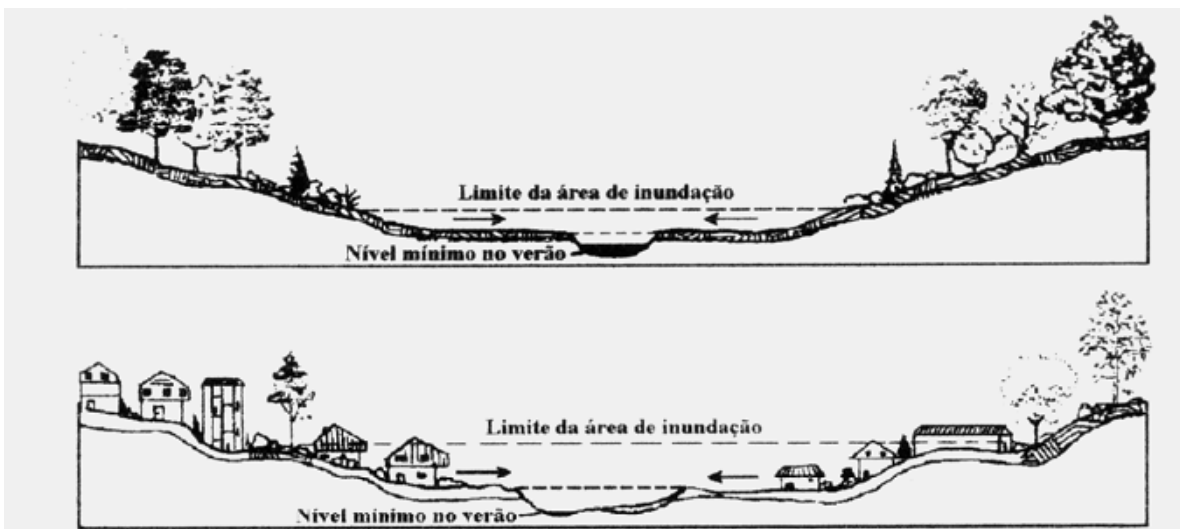


Figura 2.3: Resposta do escoamento
Fonte: Tucci e Bertoni (2003)

Ainda segundo Tucci e Bertoni (2003), a urbanização, e o conseqüente aumento das superfícies impermeabilizadas, altera os seguintes fatores:

- redução da infiltração do solo;
- volume que não infiltra, aumenta o escoamento superficial;
- diminuição do lençol freático, por falta de recarga nos aquíferos;

- redução da evapotranspiração¹, pela substituição da cobertura natural;
- aumento da temperatura, produzindo ilhas de calor urbano;
- aumentos de sedimentos e material sólido, provocando assoreamento;
- transporte de poluentes agregados ao sedimento, contaminando as águas pluviais;
- dentre outros.

Outro ponto a ser levado em conta, é que a impermeabilização das superfícies gera impactos relacionados à qualidade da água. Essas áreas impermeabilizadas também são repositórios de poluentes atmosféricos gerados principalmente pela dinâmica dos ventos e do tráfego de veículos automotores (op cit.).

2.4.1 Quantificação de Superfície Impermeável

Uma das formas mais tradicionais de determinação de áreas impermeáveis, é a medição direta, aerofotogrametria, em fotografias aéreas com escalas entre 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000. Realizado manualmente, o método apresenta boa acurácia, mas dependendo da extensão da área a ser estudada, o melhor mesmo é realizar avaliação dos custos x benefícios. Segundo Sleavin et al. (2000 apud Esteves 2006) a determinação de áreas impermeáveis a partir de fotografias aéreas é mais prática do que a maioria dos métodos que utilizam dados de satélites.

Segundo Garcia et al. (1977), a aerofotogrametria é a técnica de obtenção de medidas de aerofotos, sobre-vôos, aproveitando-se de suas propriedades físicas, geométricas, fisiológicas e psicológicas. Fisicamente, a aerofoto dependerá da interação da radiação eletromagnética com o meio ambiente, alvo inclusive, e com o conjunto sensor utilizado. Quanto a sua geometria, vai depender da natureza e posição do filme ou da câmara utilizada. O caráter fisiológico se deve a visão, mono e binocular, que desempenha papel importante na utilização das fotos. A percepção e o reconhecimento dos alvos constitui um complexo sistema cognitivo envolvendo memória e lógica, que serão essenciais ao sucesso dos objetivos planejados (GARCIA et al., 1977).

Vários autores, Ragan e Jackson (1975), Phinn et al. (2002) e Hung e Ridd (2002), utilizaram as fotografias aéreas para analisar visualmente a exatidão de outros métodos de determinação de extração de informação, como as classificações realizadas em imagens de

¹ Áreas urbanizadas são mais quentes, e em precipitações de baixa intensidade tendem a provocar maior evaporação.

satélite.

Uma outra forma de quantificar as áreas impermeabilizadas é a aplicação de coeficientes, que se relacionam com os usos e coberturas dos solos, sendo utilizados na modelação matemática de bacias hidrográficas (TUCCI, 2000d). A forma mais prática de obtenção de coeficientes se dá através de tabelas que relacionam os usos das classes de solo, como concreto, asfalto, cobertura do solo, etc., com os valores médios dos referidos coeficientes, bastando que para isso se identifique então as áreas de cada classe de uso e ocupação do solo. Dependendo dessa identificação e a metodologia empregada, a utilização de tabelas padronizadas, podem gerar erros significativos e comprometer os resultados obtidos, conforme Tabela 2.1.

Entretanto, a utilização desses coeficientes em áreas com características diferentes daquelas onde eles foram determinados pode levar a resultados diferente dos esperados. Outros estudos realizados, Tucci et al. (2000a), Campana e Tucci (1994), tentaram também relacionar a impermeabilidade à densidade populacional.

Tabela 2.1: Valores comuns do coeficiente de escoamento

TIPO DE SUPERFÍCIE	VALOR MÉDIO	Ci
Cimento e Asfalto	0,95	0,90 – 0,95
Paralelepípedo	0,60	0,58 – 0,81
Blockets	0,78	0,70 – 0,89
Concreto e Asfalto Poroso	0,03	0,05
Solo Compactado	0,66	0,59 – 0,79

Fonte: Tucci (2000a)

2.4.2 Identificação de Áreas Impermeáveis

Em se tratando de extrair índices físicos para caracterização, monitoramento e controle de grandes áreas, atualmente, o SR está sendo bastante empregado (VAHTMAE et al., 2006; SAWAYA et al., 2003; SMALL, 2005; STEFANOV et al., 2001; CARREIRAS, 2006). Dentre esses métodos, podemos destacar também os que utilizam imagens de satélite para determinar superfícies impermeáveis.

O problema é a escolha da melhor metodologia de classificação das imagens, onde tem de ser observado o tipo de imagem disponível, se alta ou baixa resolução espectral e espacial, dentre outras. Além disso, outro fator que deva ser considerado é o aplicativo onde vá se realizar a classificação.

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, desenvolveu um software de livre distribuição, o Spring, onde rotinas de classificação como a MAXVER, já

estão implementadas. Outra facilidade é que dentro do mesmo órgão existe a DGI, Divisão de Geração de Imagens, que é responsável pela recepção, processamento e distribuição de imagens adquiridas pelos satélites LANDSAT e CBERS de sensoriamento remoto. Essa divisão disponibiliza para o público brasileiro as imagens CBERS.

2.5 IMAGENS DE SATÉLITE

A observação do planeta pelo espaço é foco de diversos programas espaciais. Atualmente, diversos países estão investindo recursos no desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o monitoramento de seu espaço geográfico, através da aquisição de imagens através de sensor, genericamente denominados radiômetros. Essas imagens são formadas por meio da interação entre a radiação eletromagnética e o alvo na superfície terrestre.

2.5.1 Radiação Eletromagnética - Sensores

A radiação eletromagnética interage com a superfície terrestre podendo ser absorvida, refletida, transmitida e emitida (MOREIRA, 2004). A principal fonte de emissão de radiação eletromagnética que alcança a terra, é o sol. Considerado estrela de quinta grandeza, é constituído de uma massa gasosa com 71% de hidrogênio e 26% de gás hélio. A temperatura média de sua superfície é 5.770 °K. Outra fonte de radiação eletromagnética é a própria terra com 255 °K de temperatura em média (op cit.). O sol emite radiações eletromagnéticas com diferentes intensidades radiantes, sendo as de maiores intensidades na região do visível, destacados nas cores azul, verde e vermelho, e infra-vermelho próximo, conforme o espectro eletromagnético na Figura 2.4.

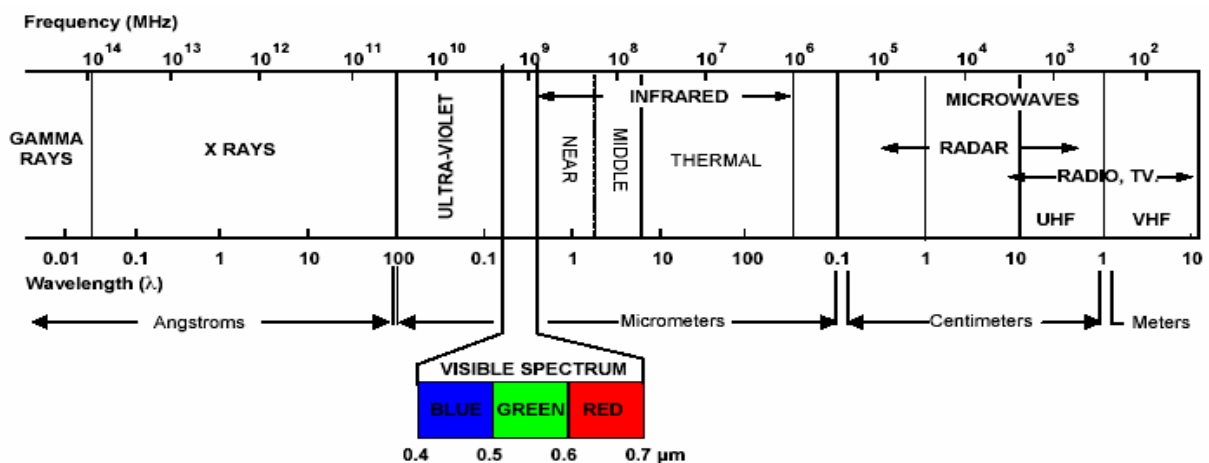


Figura 2.4: Espectro eletromagnético
Fonte: Moreira (2004)

As imagens obtidas pelos sensores remotos, como fonte de dados da superfície terrestre, são cada vez mais utilizadas para a elaboração de diferentes tipos de mapas (FLORENZANO 2002, apud FERNANDES, 2005).

As imagens digitais obtidas por satélite são formadas por um conjunto de pixels, células de tamanho fixo, que correspondem a uma determinada área do terreno e dependem da resolução espacial do sensor. Essa representação gera uma matriz, Figura 2.5, onde cada pixel é referenciado por coordenadas e está associado a um valor numérico de níveis de cinza chamado de digital number – DN. Esse nível de cinza, variando de 0 a 255, representa a energia refletida pela média de todos os alvos pertencentes a esse pixel, numa determinada faixa do espectro eletromagnético.

Os sensores podem ser do tipo ativo e passivo. Os ativos são aqueles que emitem sua própria radiação e a capturam, como exemplo tem-se o radar. A grande maioria dos sensores atuais são os passivos, ou seja, registram a radiação que provém dos alvos nas faixas do espectro eletromagnético. As características de cada sensor em geral, são expressas por quatro domínios de resolução (MOREIRA, 2004):

- espectral - é a quantidade de bandas, faixas espectrais, onde se registra o DN;
- espacial ou geométrica - refere-se a área vista por um dado sensor sobre a superfície da Terra dentro de um ângulo sólido, Figura 2.6;
- temporal - depende da plataforma onde o sensor está embarcado e indica o intervalo de tempo em que voltará a cobrir a área novamente;
- radiométrica - capacidade de discriminação de alvos que apresentam pequenas diferenças de radiação refletida ou emitida no espectro eletromagnético.

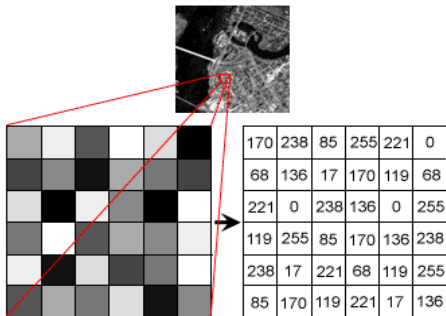


Figura 2.5: Matriz de pixel - DN
Fonte: Moreira (2004)

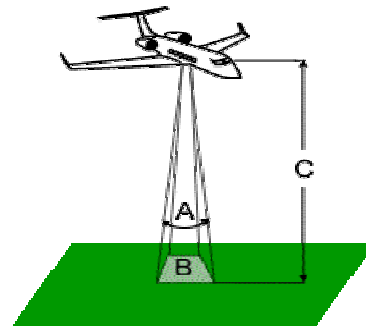


Figura 2.6: IFOV – Campo de visada instantâneo
Fonte: Moreira (2004)

Sensores que registram a radiação eletromagnética em mais de uma banda espectral são chamados de sensores multiespectrais.

O procedimento de aquisição de dados pelos sensores pode ser realizado em três níveis:

- terrestre - instalados em mastros, barcos, bóias, etc.;
- sub-orbital - aerotransportados por meio de aeronaves;
- orbital - empregam-se os balões e satélites não tripulados.

2.5.2 Satélites Utilizados em Nível Orbital

Os sensores transportados em satélites não tripulados são os mais utilizados para a aquisição de informações sobre a superfície terrestre. Neste conceito se destacam os de natureza militar, público e privado. A Tabela 2.2 mostra os principais dados dos sensores que atualmente se encontram em atividade.

Tabela 2.2: Satélites - Sensores

Satélite	Ano ²	Informações	Resolução	Área ³	Aplicações/Produtos
Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	1.999	Banda Pancromática com resolução espacial de 15m	EsA, EpM, EtM, ErA	185 x 185km	Mapas na escala 1:25.000, medição relativa de temperatura radiante, temperatura absoluta, tipos de vegetação, uso e ocupação do solo e morfologia.
IKONOS II	1.999	Banda PAN e PSM com 1m de resolução	EsA, EpA, EtA, ErA	13 x 13km	Mapas na escala 1:2.500, discrimina objetos até 1 m ² de área, cobertura vegetal, sombra e de corpos d'água.
QuickBird	2001	Banda Pancromática com resolução espacial de 61 cm	EsM, EpA, EtA, ErM	16,5 x 16,5km	Mapas na escala 1:2.500, cadastro urbano, demarcação de pequenas glebas, uso do solo (áreas urbanas), laudos periciais em questões ambientais.
ASTER	1.999	3 telescópios distintos: VNIR, SWIR e TIR	EsA, EpA, ErA	60 x 60km	Mapas na escala 1:25.000, radiações e reflexões espectrais, temperatura, mapas digitais de terreno, mapas da vegetação e uso do solo e desastres naturais.
CBERS 2	2003	WFI com visada de 900km que cobre o planeta em 5 dias	EsM, EpM, EtA, ErM	113 x 113km	Gerenciamento de recursos terrestres, desmatamentos e queimadas na Amazônia Legal, monitoramento ambiental de florestas, meio físico e hidrologia.

Legenda – Resolução Espectral: EsA – Alta (>5 bandas), EsM – Média (4 a 5 bandas) EsB – Baixa (< 4 bandas); Resolução Espacial: EpA – Alta (< 15m), EpM – Média (15 a 30m), EpB – Baixa (> 30m); Resolução Temporal: EtA – Alta (< 14 dias), EtM – Média (14 a 26 dias), EtB – Baixa (> 26 dias); Resolução Radiométrica: ErA – Alta (> 8 bits), ErM – Média (8 bits–256 níveis), ErB – Baixa (< 8 bits).

2 Ano de lançamento ou de entrada em operação do satélite

3 Área imageada pelo satélite

2.5.3 Aquisição e Processamento de Imagens de Satélite

Visando a aquisição e conseqüentemente o processamento de imagens de satélite, um sistema de imagens digitais possui sensores ópticos e de meios de armazenamento. O primeiro responsável pela aquisição e digitalização da imagem, pode ser uma câmera de vídeo, um scanner, uma câmera digital, dentre outros e o segundo de armazenamento digital da imagem, se realizado por curto tempo utiliza-se o buffer memória e no disco duro - HD para os demais casos (SIQUEIRA, 1999).

Já no processamento das imagens de satélite, os procedimentos geralmente são expressos em forma de algoritmos que, na sua maioria, são implementados em software e cada um necessita de hardwares específicos. Processamento de imagens digitais é caracterizado por soluções específicas, com técnicas e procedimentos voltados a atender sua especificidade (op cit.).

A análise de imagens digitais é um processo de reconhecimento e identificação de padrões relevantes dos alvos a que se destina o processamento de imagens. Um padrão pode ser definido como um arranjo, um conjunto de elementos que seguem determinadas características, como coberturas de construções, pavimentação, solos expostos, etc.

Visando a avaliação de classificação de imagens de satélite, um dos métodos para a validação de exatidão de mapeamento é verificar se o mapa produzido atende os critérios mínimos de qualidade para produtos obtidos por SR. Essa exatidão no mapeamento das classes dos mapas gerados pode ser executada pelo método de amostragem por nível de aceitação (GINEVAN, 1979; ARONOFF, 1982 apud SIQUEIRA, 1999).

Através de funções de densidade de probabilidade binomial no processo de avaliação da exatidão, critérios de aceitação são estabelecidos através da determinação do risco do consumidor, que é a probabilidade de se aceitar um mapa com baixa exatidão ou rejeitar um mapa com exatidão acima da requerida pelo usuário. A partir desses limites são definidos os números máximos de erros aceitáveis no mapeamento das amostras (op cit.).

A exatidão de mapeamento da imagem classificada pode ser realizada também, por meio da experiência do usuário na área de estudo. Através de comparações de classificações, imagens de alta resolução espacial e visitas in-loco, é possível ser realizado um mapeamento de classes com certo grau de confusão, mas que atenda aos propósitos determinados, como a identificação de áreas impermeáveis.

2.6 MODELO DIGITAL DE TERRENO

Um modelo digital de terreno - MDT é utilizado para representar quantitativamente uma grandeza que varia continuamente no espaço, geralmente associado à altimetria (CÂMARA E MEDEIROS, 1998 apud SIQUEIRA, 1999).

A representação de um MNT pode ser por grade regular ou grade triangular. A grade regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares, Figura 2.7. A grade triangular é uma estrutura do tipo vetorial que representa uma superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas, Figura 2.8. Tanto a grade regular quanto a grade triangular podem ser geradas a partir de pontos ou isolinhas (op cit.).

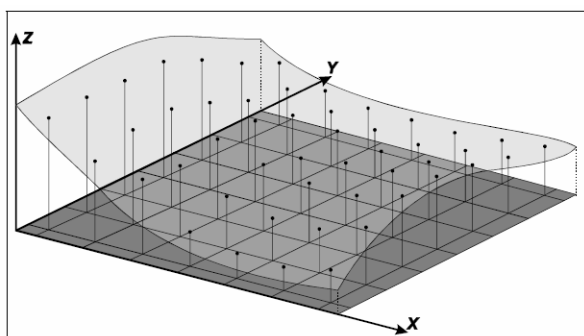


Figura 2.7: Grade retangular
Fonte: Namikawa (1995)

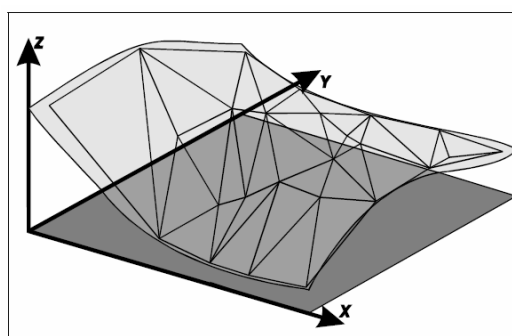


Figura 2.8: Grade triangular
Fonte: Namikawa (1995)

Uma das formas de se obter um modelo digital de terreno - MDT, é utilizando a forma mais tradicional com a aplicação das técnicas da ciência de topografia, por meio de diastímetros, taqueômetros e todos os demais equipamentos que se façam necessários a esse tipo de levantamento. Posteriormente, as informações coletadas devem ser tratadas e processadas em meio digital, visando à geração de MDT.

O uso de imagens coletadas por satélites tem servido como valiosa ferramenta para extração de dados para estudos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, etc. A distribuição geográfica de uma variável, como a altitude ou elevação do terreno, pode ser representada em SIG's visando o planejamento e implantação de projetos voltados à construção civil, barragens, estradas, dentre outros.

Outra forma é a utilização de sistemas sensores ativos como o InSAR - Interferometric Synthetic Aperture Radar da missão SRTM - Shuttle Radar Topography Mission, da NASA - National Aeronautics and Space Administration, que sobrevoou o

planeta Terra durante 11 dias a bordo da nave Endeavor em fevereiro de 2000, colhendo informações de toda a superfície da Terra. Também participaram dessa missão o JPL - Jet Propulsion Laboratory, NIMA - National Imaging & Mapping Agency americanos, além de DLR - German Space Agencies e ASI - Italian Space Agencies agências espaciais da Alemanha e Itália, respectivamente (LUEDELING et al., 2007; RABUS et al., 2003). O MDT gerado das medições da banda C desse sensor tem resolução de 30 m para todo os Estados Unidos, que foi considerada a melhor a nível global (ZYL V., 2001 apud LUEDELING et al., 2007). Para as outras áreas do planeta a resolução cai para 90 m.

Um dos problemas encontrados nos MDT's gerados pelo SRTM é o aparecimento de vazios. Esses ocorrem de duas maneiras. A primeira se dá através de superfícies muito lisas, como corpos d'água e a segunda por ocorrência de penhascos com grande declividade, como as montanhas de Oman que se localizam na parte oriental da península Arábica, Figura 2.9 (LUEDELING et al., 2007).

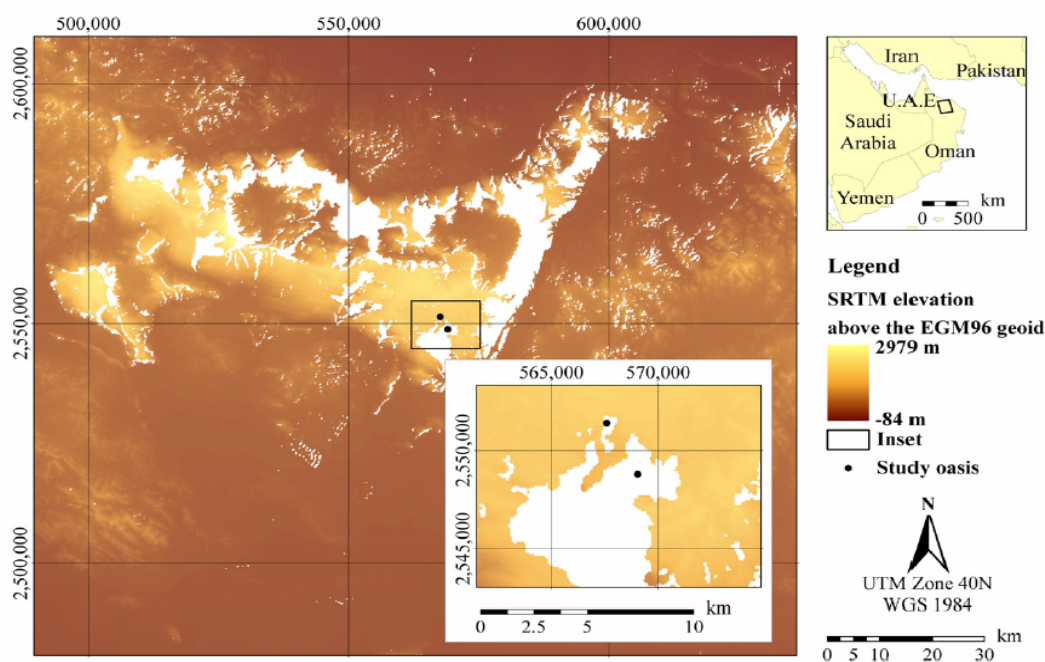


Figura 2.9: Parte central das montanhas de Oman

Fonte: Luedeling et al. (2007)

Mas um MDT pode ser gerado também por meio da digitalização de cartas cartográficas. Dentre outros métodos de obtenção, tem-se a vetorização semi-automática que é a digitalização de certa carta com a supervisão de um técnico. O MUBDG foi produzido em 1994 desta forma. Através de convênio entre a TELEGOIÁS, CELG, SANEAGO e a Prefeitura de Goiânia, uma empresa especializada nesse setor foi contratada e vetorizou as

cartas existentes com aerofotos de vôos realizados em 1977 e 1988, Figuras 2.10 e 2.11.

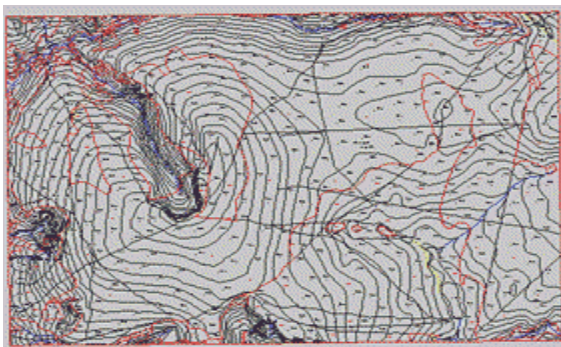


Figura 2.10: Planta altimétrica - DTM
Fonte: MUBDG (2007a)



Figura 2.11: Aerofoto – Mosaico digital
Fonte: MUBDG (2007a)

O MUBDG é formado pelos seguintes dados: contorno de logradouros, curvas de nível, divisas de bairro, divisas de distrito, elementos da rede de saneamento, elementos da rede elétrica, elementos de hidrografia, logradouros, lotes, meios-fios, pontos cotados de altimetria, pontos medidos de meios-fios, pontos notáveis, postes, quadras e contorno de logradouros.

Outros produtos são as aerofotos das praças Cívica, do Bandeirante, Universitária, Tamandaré e do Cruzeiro, Estádio Serra Dourada, Autódromo e Aeroporto Santa Geneveva, além dos mosaicos de toda a capital (MUBDG, 2007a).

A utilização do MUBDG depende do tipo de software disponível, sendo disponibilizados os seguintes formatos:

- SHP - Shapefile;
- DXF - Drawing eXchange Format (sem informações alfanuméricas);
- SEQ/DBF - Formato do MaxiCAD
- JPG - Imagens do Mosaico Aerofotogramétrico Digital (MUBDG, 2007a).

Atualmente, a CONDATA está implementando a versão 21 do MUBDG (YUASA, 2007) que será constituído da aquisição de ortofotos com as seguintes características:

- câmara métrica RMK A 15/23;
- distância focal de 153,198 mm;
- quadro de exposição 23x23 cm;
- recobrimento;
 - 60% longitudinal e 30% lateral;
- aeronave;

- Embraer Seneca II modelo 810C;
- 9 faixas de vôo (N-S);
- cobertura de Goiânia com área de 896,80 km², município completo;
- 1 km de buffer em torno do município;
- data - 23 de julho de 2006;
- escala de vôo: 1:30.000;
- escala de compatibilidade cartográfica - 1:5.000 e PEC classe A;
- CE 90% 5m;
- RMSE 2,5m;
- cobertura de nuvens tendendo a 0%;
- sistema geodésico;
 - SAD69;
 - SIRGAS 2000 (Assunto do item 3.3 dessa dissertação).

A exatidão cartográfica do novo MUBDG versão 21 será classe A na escala 1:10.000. A geração dessa nova versão está marcada para o primeiro trimestre de 2008 (YUASA, 2007).

2.7 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Definido como a parcela da precipitação que esco superficialmente, gerado por precipitações (TUCCI, 2000d), O coeficiente de escoamento superficial ou runoff – C, pode ser obtido através da seguinte equação:

$$C = \frac{C_p A_p + C_i A_i}{A_t} \quad (1)$$

Onde Cp é o coeficiente de escoamento da área permeável da bacia e Ap a área permeável da bacia, Ci é o coeficiente de escoamento da área impermeável da bacia e Ai a área impermeável da bacia e At a área total da bacia (WILKEN, 1978; TUCCI, 2000d).

Segundo Tucci (2000d), “O coeficiente de escoamento deve variar com a magnitude da precipitação, já que a medida que aumenta a precipitação as perdas iniciais e a capacidade de infiltração é atendida, desta forma o escoamento superficial aumenta o que resulta num maior coeficiente de escoamento.”

Estudos realizados demonstraram que o coeficiente de escoamento pode ser relacionado linearmente com a quantidade de áreas impermeabilizadas (SILVEIRA, 1999;

SANTOS et al.,1993; DIAS E TUCCI, 1987; GERMANO, 1998; apud TUCCI, 2000d).

Além disso, Campana e Tucci (1994), também relacionaram o coeficiente de escoamento com a densidade habitacional - DH, utilizando dados de Curitiba, São Paulo e Porto Alegre. Segundo Moraes et al. (2006c), é possível a obtenção do coeficiente de escoamento superficial - C, através de imagens de sensoriamento remoto.

2.8 APLICATIVOS DE INTEGRAÇÃO

No desenvolvimento desse trabalho, foram encontrados diversos obstáculos que foram devidamente superados, com auxílio de ferramentas em softwares share ou mesmo livres. No intuito de repassar o conhecimento adquirido, será realizado um breve comentário das funções dos aplicativos envolvidos.

2.8.1 ESRI - Environmental Systems Research Institute

A ESRI foi fundada com o nome de Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais - Environmental Systems Research Institute, Inc., em 1969. Como uma firma de consultoria, se especializou em projetos de análise de uso do solo. A sede mundial de ESRI fica em Redlands, Califórnia - USA.

A missão inicial da empresa era focar nos princípios de organizar e analisar informação geográfica. Durante os anos oitenta, a ESRI dedicou seus recursos ao desenvolvimento de ferramentas que poderiam ser aplicadas em ambientes computacionais a fim de criar Sistemas de Informação Geográfica - SIG.

Em 1982, lançou seu primeiro software de SIG comercial o ARC/INFO. Combinava exibição de características geográficas, como pontos, linhas, e polígonos, com uma ferramenta de administração de banco de dados por nomear atributos a estas características em ambientes computacionais.

Na década de 90, a presença global de ESRI cresceu com o lançamento de ArcView, uma ferramenta de cartografia fácil de ser usada e vendeu 10.000 cópias nos primeiros seis meses de 1992, fato sem precedentes.

Em maio de 2004, foi lançado o ArcGIS 9, a próxima geração de produtos de softwares integrados para implementação de SIG.

Atualmente os produtos de SIG estão crescendo e novas inovações em tecnologia de computador estão permitindo executar operações de SIG mais sofisticadas. Os

computadores mais baratos, processadores mais potentes, dados publicados eletronicamente e a facilidade de utilização das ferramentas, estão contribuindo para um crescimento rápido. Empresas públicas e privadas estão adotando tecnologia de SIG como uma ferramenta de apoio a decisões.

2.8.1.1 ARCVIEW 3.2

Criado na década de 90, o ArcView é um sistema de informação geográfico feito para computadores de mesa - DESKTOP. Podem-se criar mapas inteligentes e dinâmicos que utilizem dados de qualquer fonte por meio de computadores mais populares. Essas ferramentas permitem trabalhar de uma vez só com mapas, banco de dados, quadros e gráficos. Pode ser acrescentada também multimídia, visando adicionar sons e vídeos aos mapas. A Figura 2.10 mostra a tela principal do programa ArcVIEW 3.2.

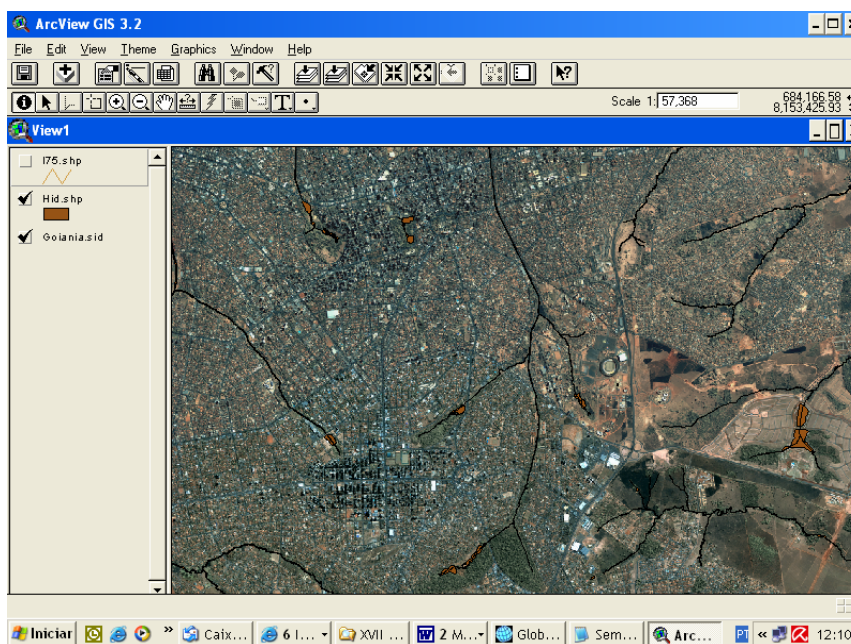


Figura 2.10: Tela principal do ArcVIEW 3.2

Com o ArcView, a integração de dados geográficos facilita a localização de endereços, a seleção de locais, coordenação de resposta a emergências, visualização e análise de dados, dentre outras funções. Além disso, com a implementação de extensões por usuários e órgãos que visam à utilização do programa para seus fins, a gama de aplicação de um SIG pode ser largamente ampliada. A extensão HEC-GeoHMS é um exemplo dessa integração. Ela possibilita a obtenção de muitas características físicas de bacias hidrográficas, como a sua delimitação, declividade, comprimento de talude, etc.

2.8.2 HEC - Hydrologic Engineering Center.

O Corpo de engenheiros do Centro de Engenharia Hidrológica do Exército Norte-Americano – USACE HEC, foi formado em 1964 para institucionalizar as perícias técnicas que subseqüentemente foram conhecidas como engenharia de hidrologia. O HEC foi estabelecido dentro da Divisão de Engenharia do distrito de Sacramento - USACE. As Principais atividades foram organizar, apresentar e implementar o desenvolvimento de aplicativos que depois vieram a se tornar a família de softwares HEC. Atualmente, está classificado como um escritório de apoio a trabalhos civis, dentro do Instituto de Recursos Hídricos e organizado em um escritório executivo e três divisões: Hidrologia e Tecnologias Hidráulicas, Sistemas de Recursos Hídricos e Sistemas de Gerenciamento de Águas.

2.8.2.1 HEC-GeoHMS - Geospatial Hydrologic Modeling Extension

A extensão Geospatial Hydrologic Modeling Extension - HEC-GeoHMS, é um aplicativo para uso com o ArcView em conjunto com a extensão Spatial Analyst, Figura 2.11. São utilizadas para o desenvolvimento de modelagem de sistemas hidrológicos e uso do solo. HEC-GeoHMS indica os fluxos de drenagem e obtém os limites da bacia hidrográfica em uma estrutura de dados que pode vir a representar a resposta da bacia para determinados eventos de precipitação. Além das estruturas de dados hidrológicos, incluem também a obtenção de informações físicas da bacia, baseados em GRID, que servem de modelo para simulações no software HEC-HMS, Figura 2.12.

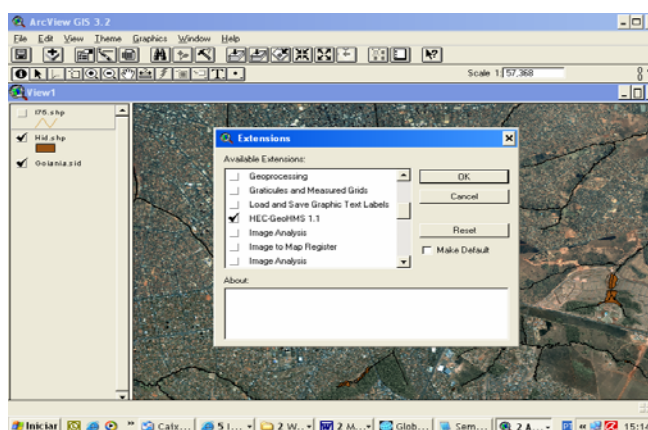


Figura 2.11: Extensão HEC-GeoHMS, sendo incluída em projeto no ArcView

Não existe somente a extensão HEC-GeoHMS como ferramenta auxiliar na obtenção de características físicas de micro-bacias hidrográficas, segundo Cacela Filho (2007), através de mapas digitais e dados hidrológicos, o programa Watershed Modeling

System - WMS, forneceu um ambiente detalhado da região hidrográfica do sistema da bacia do Tucunduba, localizada em Belém do Pará.

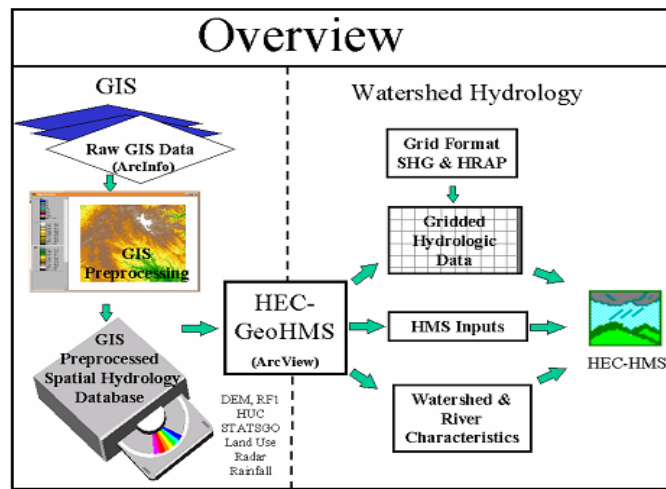


Figura 2.12: Fluxo de aplicação da extensão HEC-GeoHMS
Fonte: HEC (2003)

A HEC-GeoHMS, quando ativada no ArcView, os menus Terrain Processing e HMS Project Setup, Figura 2.13, são disponibilizados em uma nova View, chamada de MainView que fica localizada na janela principal do projeto, Figura 2.13.

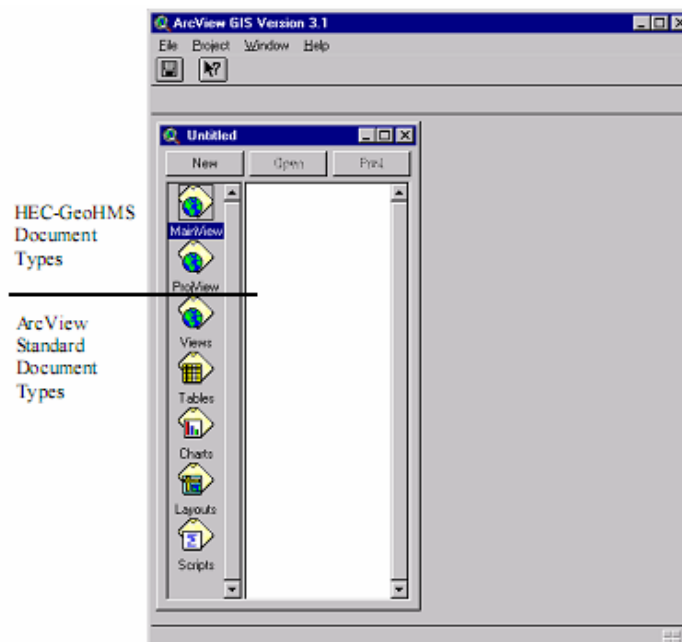


Figura 2.13: Janela principal do projeto com as views MainView e ProjectView

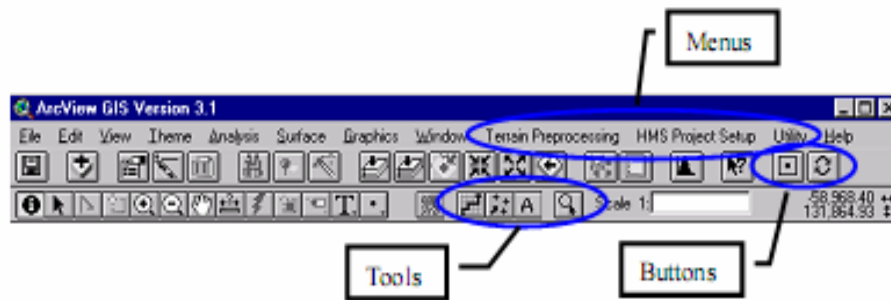


Figura 2.14: Menu Terrain Processing e HMS Project Setup

A partir desse momento e de posse de um bom MDT, é possível então a geração de um GRID, Figura 2.15, que deverá ser copiado da janela View do projeto para a janela MainView do ArcView 3.2 onde a HEC-GeoHMS está sendo executada. Após, pode se dar início a delimitação automática de bacia, conforme Anexo I.

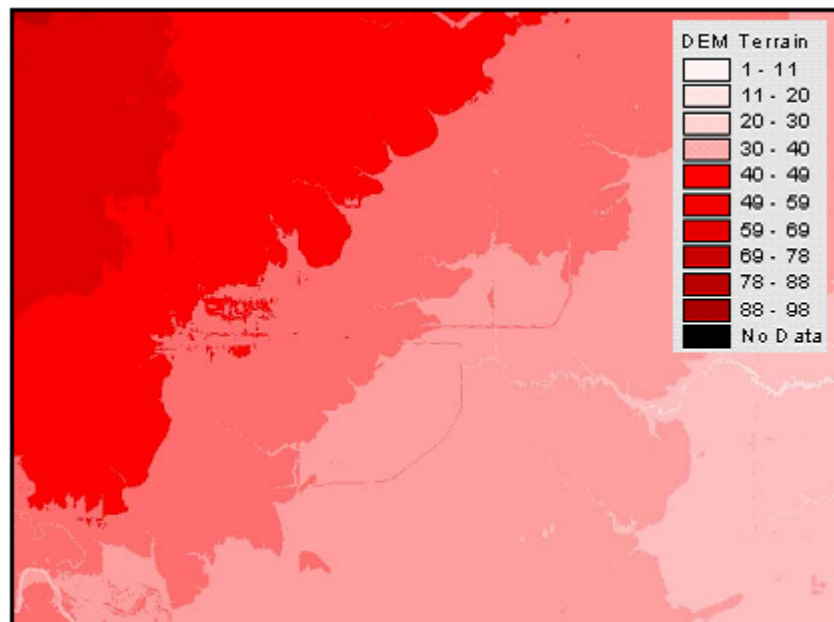


Figura 2.15: Modelo Digital de Terreno - MDT

2.8.3 Guthrie CAD/GIS Software

A empresa Guthrie CAD/GIS foi fundada em 1995 por Paul Guthrie, após 10 anos de experiência na indústria de desenvolvimento de software CAD. Em junho de 2003 Guthrie CAD/GIS Software Pty Ltda foi registrada como empresa privada, desenvolvendo softwares padrões e customizados nas áreas de CAD e GIS, abrangendo:

- software de conversão de dados CAD e GIS;
- arquivos AutoCAD nos formatos: DXF, DWG, SHX e SHP;
- software de conversão ArcView/ESRI Shapefile;

- customização de Programas.

A empresa se localiza em Adelaide, ao sul Austrália, é a capital estadual e conta atualmente com população ao redor 1.100.000 habitantes.

2.8.3.1 Arcv2CAD – Converte arquivos ArcVIEW em AutoCAD

Arcv2CAD, atualmente na versão 5.0, converte arquivos no formato ArcVIEW da ESRI em arquivos AutoCAD, DXF e DWG. Disponibilizado para teste por 30 dias após a instalação, junto ao sitio: <http://www.guthcad.com/arcv2cad.htm>, o programa permite a total integração entre shapefiles e todos softwares de CAD, como AutoCAD, MicroStation, CivilCAD, DesignCAD, Visio, além de outros softwares gráficos como CorelDraw, Surfer e World Construction Set, Figura 2.16.

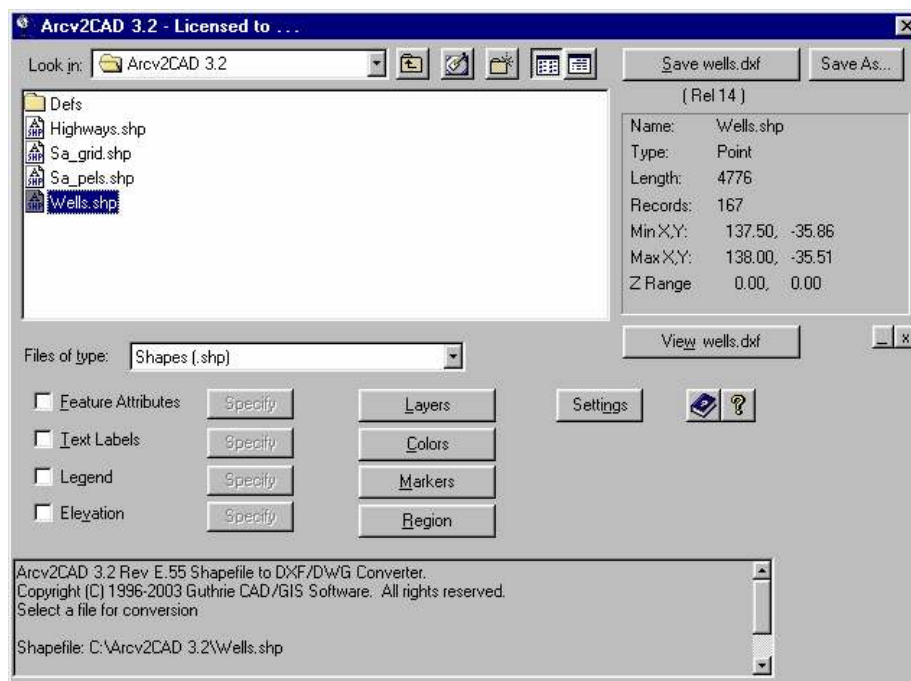


Figura 2.16: Tela inicial do programa Arcv2CAD

Fonte: Guthrie (2007)

As principais características do programa são:

- Aplicar cores correspondentes aos atributos das características selecionadas;
- Entidades de saída sobre os layers correspondentes aos seus atributos;
- Polígonos preenchidos com cor;
- Produz text labels com as características dos dados;

- Transfere tabela de dados via atributos DXF e DWG ou definições de dados estendidos - XData;
- Produz dados de altimetria, real 3D, coordenadas de Z;
- Modo de linha de comando para operações batch;
- Standalone conversor, não requer ArcView;
- Saída de legendas;
- Converte para todos as versões de programas DXF e para todos as versões AutoCAD, até Release;
- Suporta todos os tipos de 3D Shapefile como: PointZ, PolylineZ, PolyGonZ, MultiPatch, etc.;
- Suporta para Swegis TIN shapefiles;
- Controla as propriedades dos atributos, ATTRIBs, como: tamanho, posição, cor, etc.;
- Extrai polígono 2D de objetos 3D;
- Ajuda de contexto online;
- Preparado para qualquer 3D shapefiles;
- Compatível com todas as versões do ArcGIS e ArcView.
- Compatível com AutoCAD 2007 e 2008 nos formatos DXF e DWG;
- Produz saídas de cor e layer através de BYBLOCK e BYLAYER.

2.8.3.2 CAD2Shape 3.0 - Converte arquivos AutoCAD em ArcVIEW

O programa CAD2Shape, versão atual 3.0, realiza a operação inversa do Arcv2CAD. Ele converte arquivos no formato AutoCAD, DXF e DWG em ArcVIEW da ESRI, shapefile. Também tem uma versão para teste por 30 dias, disponibilizada pela Guthrie CAD/GIS Software Pty Ltda no site: <http://www.guthcad.com/cad2shape.htm>.

Através desse programa, o círculo se completa, permitindo a integração de todos softwares de CAD com os que usam shapefiles como o ArcVIEW e ArcGIS, Figuras 2.17 e 2.18.

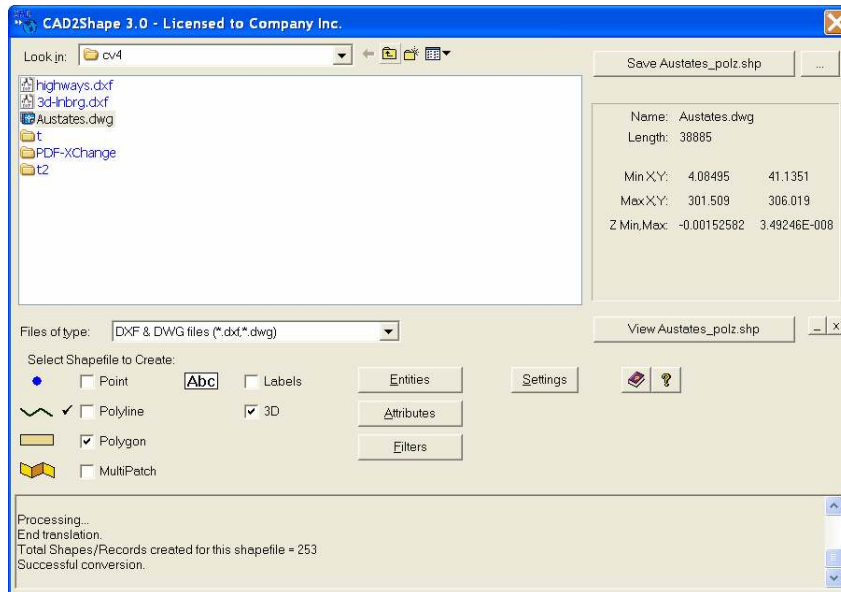


Figura 2.17: Tela inicial do programa CAD2Shape
Fonte: Guthrie (2007)

Na versão 3.0, tem se suporte para todas as versões do AutoCAD, até a mais recente release 2008.

Suas características são:

- Não necessita do CAD para converter arquivos DWG e DXF para Shapefile;
- Suporta todas as versões de arquivos AutoCAD DWG e DXF, até as mais recentes 2007 e 2008;
- Opcionalmente, converte para shapefiles 2D ou 3D;
- Amarra a coordenada Z como de Elevação;
- Texto para labels theme;
- Opção de texto para explodir polyline;
- Conversão de atributos. ;
- Converte buracos, ilhas e roscas originais de CAD para polígonos de shapefile de Polígono;
- Conversão de entidade de dados estendidos, Xdata;
- Converte superfícies 3D para arquivos multipatch shapefile;
- Opção de saída para arquivos RAW;
- Filtrp por layer, área, Cor e entidade;
- Dados prontos para importação para Google Earth Profissional (shapefiles) e Google Earth Plus (CSV).

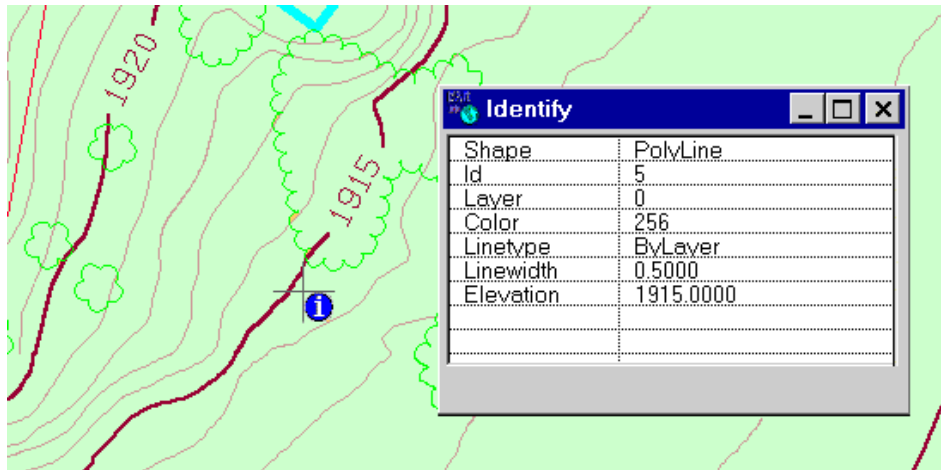


Figura 2.18: Arquivo importado do CAD, no arcview
Fonte: Guthrie (2007)

2.8.4 RSI

Trabalhando na Universidade do Colorado, com os dados da missão espacial NASA's Mars Mariner 7 e 9, no laboratório de espaço físico e atmosférico, ITT, o fundador David Stern iniciou um trabalho que mais tarde se tornaria eventualmente o IDL, uma linguagem de programação nova para visualização e análise de dados. O ITT era conhecido formalmente como Research Systems Inc - RSI, foi o primeiro a se interessar pelo trabalho de Stern e em 1977, depois de vários protótipos o IDL foi lançado comercialmente (STERN, 2007). A NASA, através da Goddard and Ball aerospace, foi um dos primeiros clientes.

Em 1981, o IDL foi reescrito em linguagem assembly e FORTRAN para VAX/VMS, um sistema popular então entre os cientistas, por causa de seu revolucionário sistema de memória virtual de 32-bits.

O IDL foi utilizado para processar virtualmente todas as imagens do Cometa Halley em 1986 e também usado para consertar o telescópio Hubble e processar virtualmente as imagens até seu conserto em 1991. Em 1995, IDL foi colocado a bordo de uma nave espacial para estudar radiação ultravioleta. Os recursos de IDL também se expandiram a outros campos de estudo inclusive pesquisa e desenvolvimento, ciência, imagens médicas e engenharia (op cit.).

Durante este período, RSI ofereceu o ENVI, uma aplicação de processamento de imagens escrita com IDL. A primeira versão do ENVI foi lançada em 1994.

Como as informações de sensores cresceram e se tornaram mais complexas, havia a necessidade de extrair respostas através do tratamento de imagens, com isso o IDL e ENVI continuaram a se expandir.

Em setembro de 2000, a companhia Eastman Kodak adquiriu o RSI como subsidiária de seu Grupo de Sistemas Comerciais e Governamentais. Já em 2003, o RSI Serviços Globais estava presente em numerosos projetos, inclusive a comercialização de um produto da Kodak que usava uma transmissão de imagem revolucionária, a compressão JPEG 2000 (op cit.).

Recentemente, março de 2004, o RSI junto com o Remote Sensing Systems – RSS, divisão da companhia Eastman Kodak, foram vendidos ao ITT Corporation. Foram então anexados ITT e RSS com o GOES/POES e GPS, que faziam parte da divisão de defesa da ITT, para formar o novo grupo de Sistemas Espaciais. O RSI passou a ser chamado então como ITT Soluções de Informação Visuais em maio de 2006 (op cit.).

2.8.4.1 ENVI 4.1

Como software de visualização, análise, e apresentação de todos os tipos de imagem digital, o ENVI disponibiliza ferramentas para integrar informações extraídas de imagens raster, obtidas através de sensoriamento remoto, Figura 2.19.

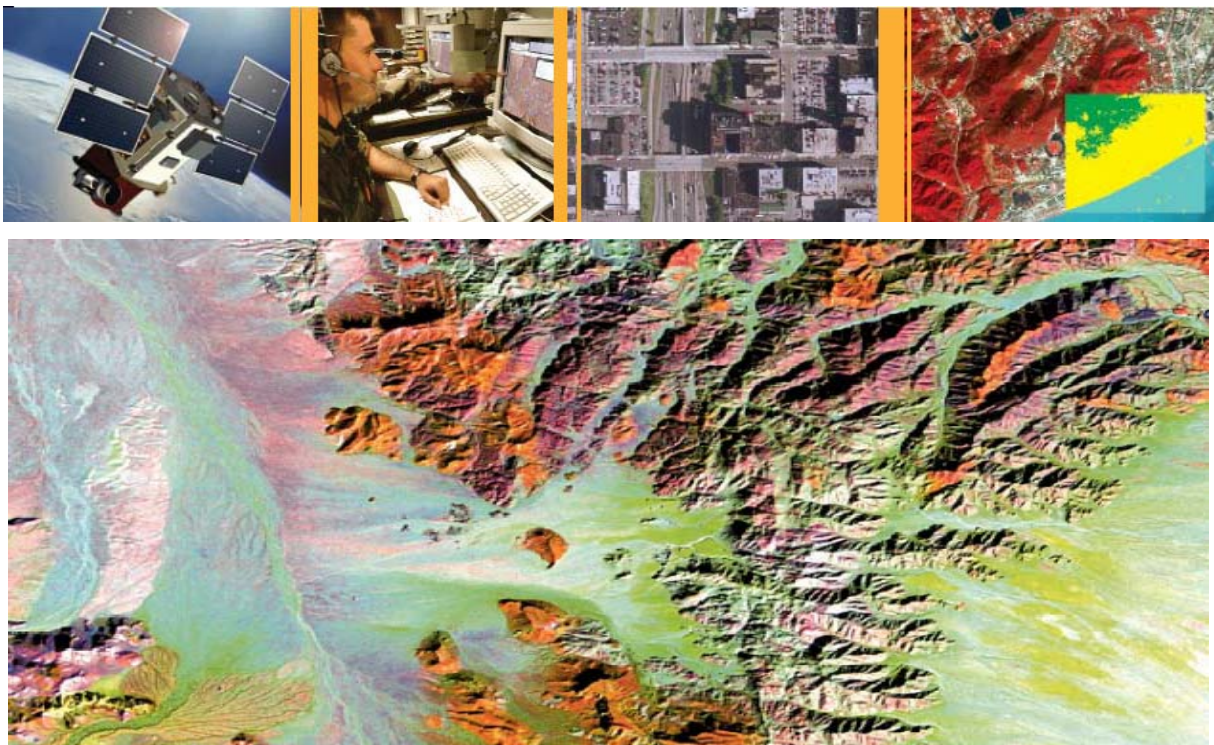


Figura 2.19: ENVI: Ler, processar, explorar e analisar imagens
Fonte: Stern (2007)

O ENVI suporta vários tipos de imagem de satélite, como a QuickBird da Figura 2.20, e sensores aerotransportados inclusive panchromatic, multispectral, hyperspectral, radar, térmico, lidar, dentre outras. É também compatível com formatos de dados que incluem HDF, GeoTIFF e suporta JITC certificado NITF. Disponibiliza também ferramentas de pré-processamento automatizadas, que permitem processar imagens para explorar ou analisar. Através delas é possível: Ortho-retificar, registrar, calibrar, corrigir distorções atmosféricas, identificar ROIs, criar DEMs, aplicar máscaras e mosaicar, redefinir, girar e converter.



Figura 2.20: Tela inicial do ENVI 4.1

Quanto à análise espectral, pode-se analisar as respostas de cada pixel a comprimentos de onda diferentes e obter informação sobre as assinaturas espectrais de cada um dos materiais dentro de cada pixel.

O ENVI possui ferramentas de análises de imagens que permitem:

- classificação de imagens nos métodos supervisionado e não supervisionado;

- identificar assinaturas espectrais armazenadas em bibliotecas;
- detectar e identificar alvos;
- identificar características de interesse;
- analisar materiais de mapa de interesse;
- realizar análises em pixels inteiros ou sub-pixels;
- usar ferramentas de pós-classificação para refinar os resultados;
- calcular situação da vegetação em florestas, dentre outras (op cit.).

2.8.5 SSD ABC - Versão 6

SSD ABC - Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas originou-se com finalidades didáticas, para atender a alunos de graduação e pós-graduação. Porém, no seu atual estágio de desenvolvimento, vem sendo utilizado profissionalmente devido às facilidades de utilização da sua interface gráfica e dos seus métodos de cálculo. Como idéia básica, adotou-se o uso de métodos sintéticos para o dimensionamento de vazões máximas em pequenas bacias sem dados, perfil tipicamente urbano e de pequenas bacias rurais, assim, facilitando muito o planejamento quando há escassez de dados ou quando não se têm informações específicas da região, e ainda pode-se utilizá-lo para auxiliar em estudos de pré-dimensionamento (OLIVEIRA et al., 1999).

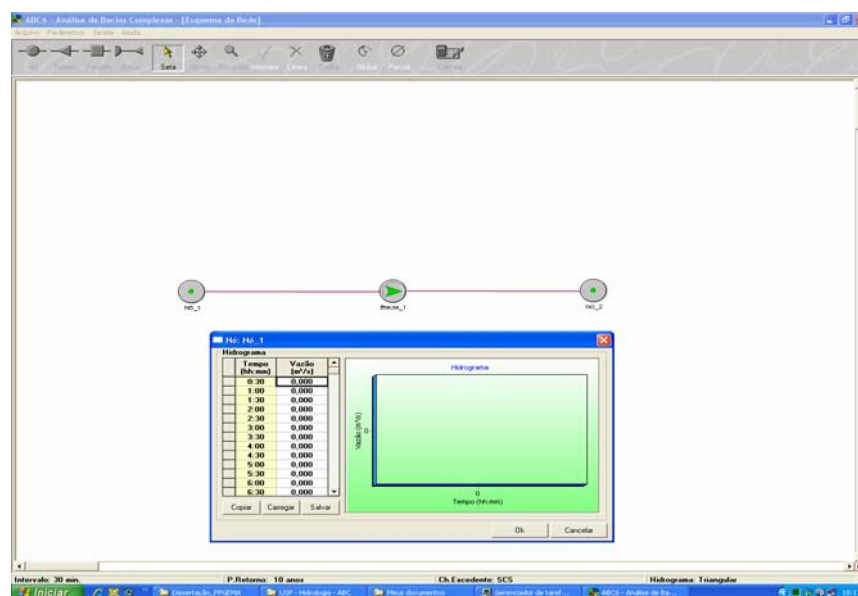


Figura 2.21: Simulação de uma bacia no ABC6

Utilizando-se de métodos sintéticos para o dimensionamento de vazões máximas em pequenas bacias, com escassez ou até quando não se tem dados específicos da região, o

ABC pode auxiliar em estudos de pré-dimensionamento. Conhecendo-se apenas a área da bacia, o programa consegue estimar o comprimento, o tempo de concentração, a velocidade e o coeficiente K de Muskingum e o tempo da onda de cheia (OLIVEIRA et. al, 1999).

A versão 6, deste sistema computacional de análise hidrológica de cheias, apresenta as seguintes características (op cit.):

- ferramentas estão dispostas na forma de ícones na barra de trabalho;
- interface gráfica que permite criar uma topologia esquemática na tela para análise de várias bacias hidrográficas interligadas com a presença de reservatórios ao longo do percurso;
- elementos esquemáticos, nós, bacia e reservatórios, em forma de botões, podem ser movidos e alinhados usando a opção de grade - GRID e receber nomes de até 256 caracteres;
- clicando no elemento, visualiza-se às suas propriedades ou resultados, e é possível selecionar ou desativá-lo;
- as telas ajudam na determinação de tormentas de projeto, distribuição espacial e temporal da precipitação, para os períodos de retorno fixados pelo usuário;
- os hidrogramas de cheia calculados a partir da tormenta de projeto em função das características físicas da bacia hidrográfica, podem ser importados ou exportados para arquivos, planilhas ou editores de texto;
- é possível acompanhar toda a composição e caminamento das ondas de cheia pelas bacias, canais naturais e artificiais, reservatórios e pontos de controle;
- os gráficos permitem ampliação, movimentação, cópia e de diferentes tipos e os relatórios parciais;
- métodos sintéticos permitem cálculos em função da preferência ou do tipo de dados disponíveis pelo usuário;
- fórmulas sintéticas são baseadas em casos brasileiros.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 GEOPROCESSAMENTO

3.1.1 Histórico Internacional

Os primeiros países a tentarem agrupar informações geográficas, a fim de automatizar processos, baixar custos e manutenção de mapas, além de caracterizar fenômenos espaciais, foram a Inglaterra e os Estados Unidos nos anos 50. Devido ao alto custo dos equipamentos, à mão-de-obra desqualificada, a precariedade da informática na época e a especificidade das aplicações desenvolvidas, como botânica na Inglaterra e estudos de volume de tráfego nos Estados Unidos, estes sistemas ainda não foram qualificados como “sistemas de informação”.

Na década de 60, o Canadá desenvolveu um programa governamental visando criar um inventário de recursos naturais. Naquela época, não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores eram caros, havia pouco espaço para armazenagem de dados, além da falta de mão-de-obra qualificada. Isso gerava sistemas caros de se implantar e difíceis de se usar. Como não existiam soluções comerciais prontas para uso, era necessário ainda, desenvolver seu próprio programa, o que aumentava ainda mais o custo e demandava maior tempo.

Somente nos anos 70, foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos de hardware, além de mais potentes e com maior capacidade de armazenamento de informação, tornando viável o desenvolvimento de sistemas comerciais de processamento de informações geográficas. Foi então que a expressão Geographic Information System, GIS, foi criada.

A década de 80 representou o momento que a tecnologia de sistemas de informação georeferenciados inicia um período de acelerado crescimento, seguindo o aumento do desempenho e capacidade de armazenagem de dados, concomitante com a baixa do custo dos microcomputadores, que dura até hoje.

3.1.2 Histórico no Brasil

O geoprocessamento no Brasil inicia-se em 1982 com a vinda ao Brasil do Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do primeiro SIG, Canadian Geographical Information System.

Alguns fatos relevantes:

- no início dos anos 80, o grupo do Laboratório de Geoprocessamento do departamento de Geografia da UFRJ, sob a orientação do professor Jorge Xavier, desenvolve o Sistema de Análise Geo Ambiental, SAGA;
- em meados dos anos 80, o setor de informática da AeroSul cria a empresa MaxiDATA e lança o MaxiCAD, um software para plataformas de hardware mais simples, tornando possível a popularização do desenvolvimento e uso de aplicações de SIG para usuários de médio e pequeno porte;
- no ano de 1984, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, estabelece um grupo específico para o desenvolvimento de tecnologia de geoprocessamento e sensoriamento remoto, a Divisão de Processamento de Imagens, DPI, que desenvolve o Sistema de Tratamento de Imagens, SITIM, e o Sistema de Informações Geográficas, SGI, para ambiente PC/DOS, além do Sistema para Processamento de Informações Geográficas, Spring, para ambientes UNIX e MS/Windows;
- em 1990, o centro de pesquisa e desenvolvimento da TELEBRÁS desenvolve o Sistema Automatizado de Gerência da Rede Externa, SAGRE.

3.1.3 Dados Geográficos

3.1.3.1 Análise Espacial

Uma das principais finalidades da organização dos dados geográficos em um sistema, está na capacidade deste sistema de realizar análises e cruzamento de informações, visando à obtenção de algum mapa temático. Aplicações dos processos de análise espacial típicos que visam responder a questões gerais, estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Exemplo de análise espacial

ANÁLISE	PERGUNTA GERAL	EXEMPLO
Condição	O que está ...	“Qual a população da cidade?”
Localização	Onde está ... ?	“Quais as áreas com declividade acima de 20%?”
Tendência	O que mudou ...?	“Esta terra era produtiva a 5 anos atrás?”
Roteamento	Por onde ir ...?	“Qual o melhor caminho para o metrô?”
Padrões	Qual o padrão ...?	“Qual a distribuição da dengue em Fortaleza?”
Modelos	O que acontece se ...?	“Qual o impacto no clima se desmatarmos a Amazônia?”

Fonte: E. Tufte (1983 Apud. CÂMARA, 2001)

Para ilustrar a aplicação da análise espacial, toma-se o caso da grave epidemia de cólera, em Londres no ano de 1854, doença que não se conhecia a forma de contaminação na época. Após a morte de mais de 500 moradores, o doutor John Snow teve a idéia de colocar no mapa da cidade a localização dos óbitos e dos poços de água, que naquele tempo era a principal fonte de abastecimento de água dos habitantes. O mapa obtido está mostrado na Figura 3.1.



Figura 3.1: Mapa de Londres com os óbitos (ponto) e poços (cruz)

Fonte: Câmara (2001)

Com a espacialização dos dados, o doutor John Snow notou que a maioria dos casos de óbitos estava concentrada em torno do poço da Broad Street e ordenou a sua lacração.

Essa ação contribuiu para debelar a epidemia. Através dessas evidências, veio a se comprovar mais tarde, que o vibrião colérico é transmitido por ingestão de água contaminada. O mapa do doutor John Snow passou para a estória por ser um dos pioneiros a mostrar o poder da análise espacial no auxílio à tomada de decisões.

3.1.3.2 Localização Geográfica e Atributos Descritivos

Dados geográficos apresentam natureza dual, ou seja, possuem uma localização geográfica expressa na forma de coordenadas e atributos descritivos que podem ser representados num banco de dados convencional, como população, tipo de solo, cobertura vegetal, dentre outros.

Desta forma a informação espacial está relacionada à existência de objetos com propriedades, que incluem sua localização no espaço e sua relação com outros objetos que podem incluir conceitos topológicos, métricos e direcionais de tal forma que espaço geográfico e informação espacial se complementam ao conceituar o objeto de estudo do geoprocessamento (op cit.).

3.1.3.3 GPS

O funcionamento do sistema GPS se baseia no princípio da triangularização, segundo o qual o observador conhece a posição de um conjunto de satélites em relação a um referencial inercial, base i , e a sua posição em relação a este conjunto, base j da Figura 3.2. Através dessas informações, calcula-se a posição relativa ao sistema de referência.

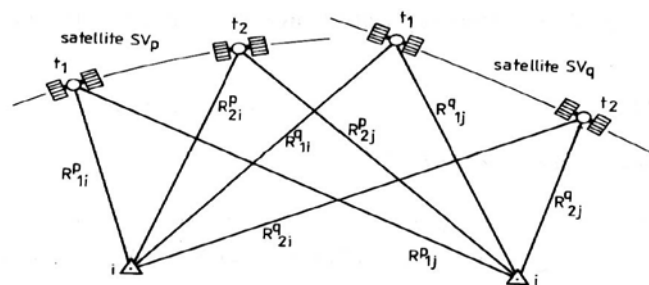


Figura 3.2: Sistema de triangulação do GPS
Fonte: MORAES et al. (2005)

O sistema de referência utilizado pelo GPS é o WGS. O GPS é dividido em três segmentos principais, assim constituídos:

- espacial: Os satélites;
- controle: As estações terrestres que controlam o desempenho e o funcionamento do sistema;
- usuário: Os usuários do sistema.

Os parâmetros básicos utilizados pelo GPS na determinação da posição do usuário são: Posição do usuário, posição do i -ésimo satélite, posição do usuário em relação ao i -ésimo satélite e o instante de transmissão T .

Assim, necessita-se dos dados de quatro satélites observados simultaneamente, para obter um sistema de quatro equações e quatro incógnitas.

É importante ressaltar que, dependendo da geometria relativa dos satélites, o sistema de equações pode não ter solução precisa. Além disso, se mais de quatro satélites são observados simultaneamente, existe um conjunto de quatro que fornece a solução com menor erro.

De modo a se ter um mínimo de quatro satélites visíveis simultaneamente 24 horas por dia, em posição conveniente, foi concebida inicialmente uma constelação de 27 satélites, sendo três reservas, Figura 3.3.

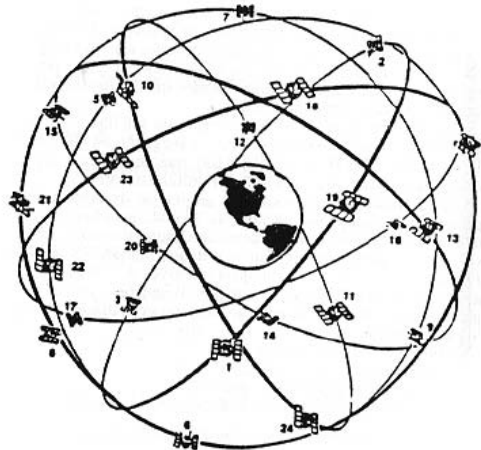


Figura 3.3: Satélites do sistema GPS
Fonte: MORAES et al. (2005)

3.1.3.4 Correlação Espacial entre os Dados Geográficos

Na modelagem dos fenômenos geográficos, o geoprocessamento visa estabelecer o inter-relacionamento entre as diversas informações espaciais que ao se distribuírem na

superfície terrestre, vão criando padrões que podem ser representados através das seguintes correlações:

- espacial: um fenômeno espacial, como a topografia, se relaciona com o entorno de forma tão mais intensa, quanto maior for a proximidade;
- temática: Características de um espaço geográfico, como clima, geomorfologia, relevo, solo, e vegetação, são moldadas por um conjunto de fatores que se inter-relacionam. Desta forma, a identificação de padrões pode ser realizada e constituir planos de informação;
- temporal: Geomorfologicamente falando, a superfície da Terra está em constante transformação, em ciclos variáveis para cada fenômeno como o transporte de sedimentos, a vazão dos rios, movimento de placas tectônicas, etc.;
- topológica: Para a representação computacional, as relações topológicas como adjacência, pertinência e intersecção, permitem estabelecer os relacionamentos entre os objetos geográficos que são invariantes à rotação, à translação e à escala.

3.1.4 Sistemas de Informações Geográficas - SIG

Sistemas de informações geográficas ou SIG é o termo aplicado para sistemas de informação que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial, conforme ilustra a Figura 3.4 (CÂMARA, 2001).

Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georeferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

O requisito de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma dualidade básica para SIG's. Para cada objeto geográfico, o SIG necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas.

As principais características de um SIG são:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;

- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georeferenciados (CÂMARA, 2001).

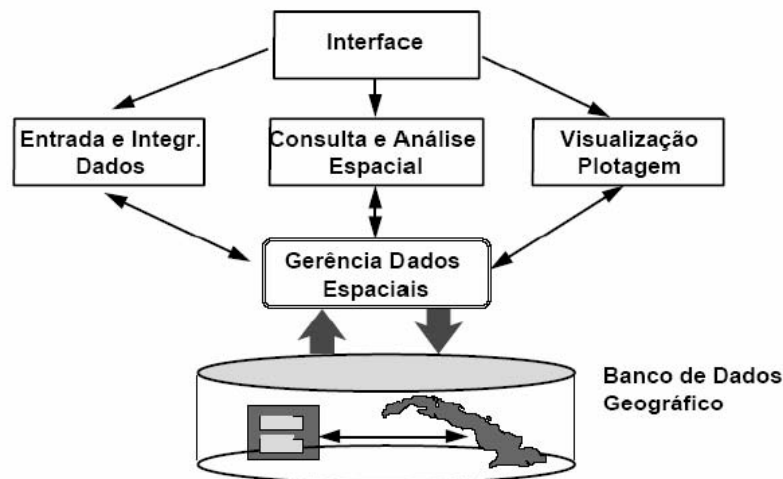


Figura 3.4: Estrutura geral de um sistema de informação geográfica
Fonte: Câmara (2001)

3.1.5 Modelagem do Espaço Geográfico

Na modelagem do mundo real para o ambiente computacional, Figura 3.5, uma das abordagens mais úteis é o chamado “paradigma dos quatro universos” (GOMES e VELHO, 1995 Apud. CÂMARA, 2001), que distingue os seguintes universos:

- mundo real: Inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema;
- matemático: Definições e modelagens matemáticas das entidades a serem representadas;
- representação: As diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas e alfanuméricas no computador;
- implementação: As estruturas de dados e algoritmos são implementados com base em considerações de desempenho, capacidade do equipamento e tamanho da massa de dados. É o nível da codificação.

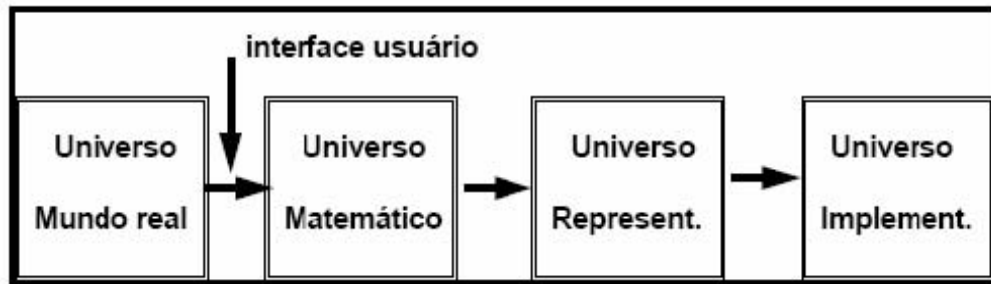


Figura 3.5: Paradigma dos quatro universos

Fonte: Câmara (2001)

3.1.6 Representação Geográfica

Os fenômenos do mundo real podem ser representados pelos seguintes dados geográficos: Temáticos, cadastrais, redes, modelos numéricos e imagens. Esses dados são plotados em bases cadastrais, formadas por vários planos de informação que se denominam mapas. Um mapa representa o mundo real, da seguinte forma:

- são modelos simplificados da realidade;
- utilizam uma representação, normalmente em escala, de uma seleção de entidades abstratas relacionadas com a superfície da Terra;
- são modelos de dados que se interpõe entre a realidade e a base de dados de um SIG (CÂMARA, 2001).

Essas informações acabam por impor limites geográficos arbitrados pelo homem, como por exemplo: Divisão política, separação entre tipos de solo e isolinhas ou linhas de cota, dentre outros. A seguir, serão detalhados os diversos tipos de mapas conforme o tipo de dados e a forma com que são apresentados.

3.1.6.1 Mapas Temáticos

Dados temáticos descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como os mapas de pedologia e a aptidão agrícola de uma região (CÂMARA, 2001). Mapa de vegetação e declividade, Figura 3.6, são exemplos de dados temáticos.

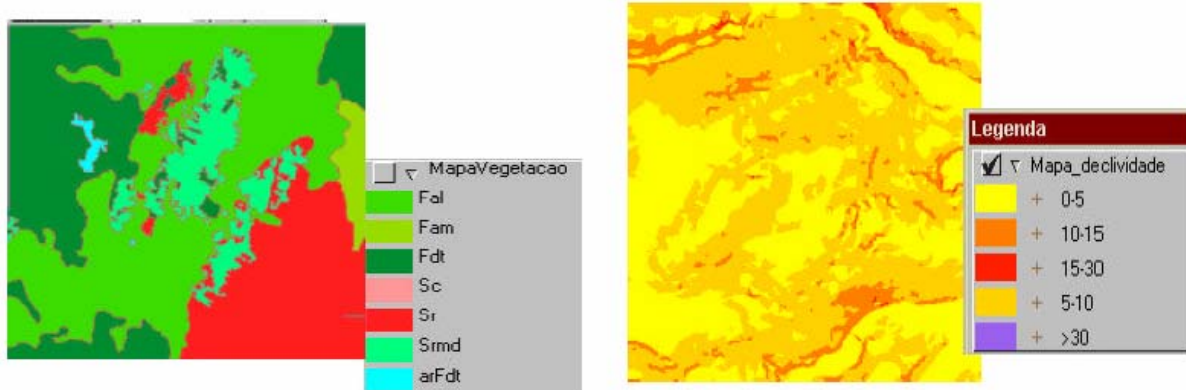


Figura 3.6: Mapa de vegetação e declividade
Fonte: Câmara (2001)

3.1.6.2 Mapas Cadastrais

Um mapa cadastral, Figura 3.7, permite a representação de objetos geográficos por pontos, linhas ou polígonos, sendo que estes possuem atributos descritivos e podem estar associados a várias representações gráficas. A parte gráfica dos mapas cadastrais é armazenada em forma de coordenadas vetoriais, com a topologia associada e os atributos estão armazenados normalmente num sistema gerenciador de banco de dados (CÂMARA, 2001).

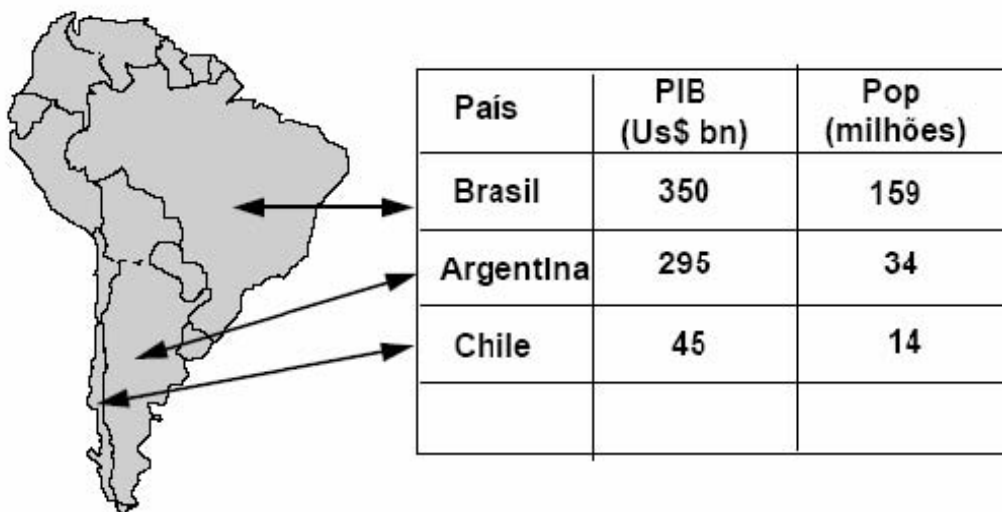


Figura 3.7: Mapa cadastral – Países sul-americanos
Fonte: Câmara (2001)

3.1.6.3 Redes

O conceito de rede denota as informações associadas aos seguintes tipos de dados: Serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone, redes de drenagem e rodovias (CÂMARA, 2001). Mapas de redes também tratam de objetos, porém as informações gráficas são armazenadas em coordenadas vetoriais, com topologia do tipo arco-nó. Os atributos de arcos incluem o sentido de fluxo e os atributos dos nós. A topologia de redes constitui um grafo, que armazena informações sobre recursos que fluem entre localizações geográficas distintas, Figura 3.8.

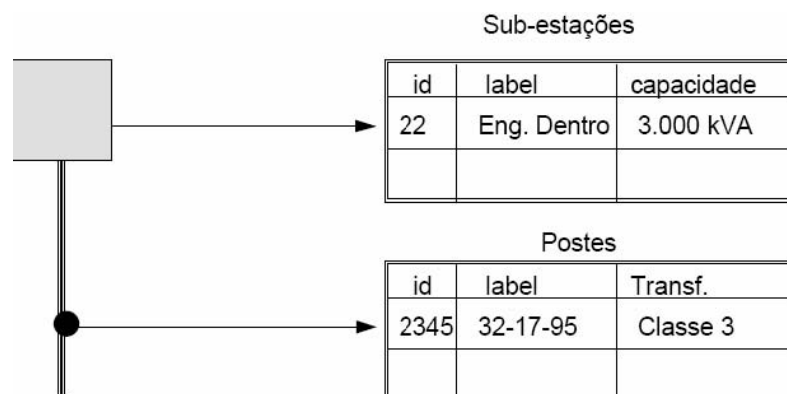


Figura 3.8: Elementos de rede
Fonte: Câmara (2001)

3.1.6.4 Mapas Numéricos

O termo modelo numérico de terreno, ou MNT é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço, como por exemplo, o mapa de isolinhas apresentado na Figura 3.9.

Dentre os usos de modelos numéricos de terreno, podem-se citar (Burrough, 1986 Apud. CÂMARA, 2005):

Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos, análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens, mapas de declividade e exposição para apoio a análises de geomorfologia e erodibilidade, dentre outros.

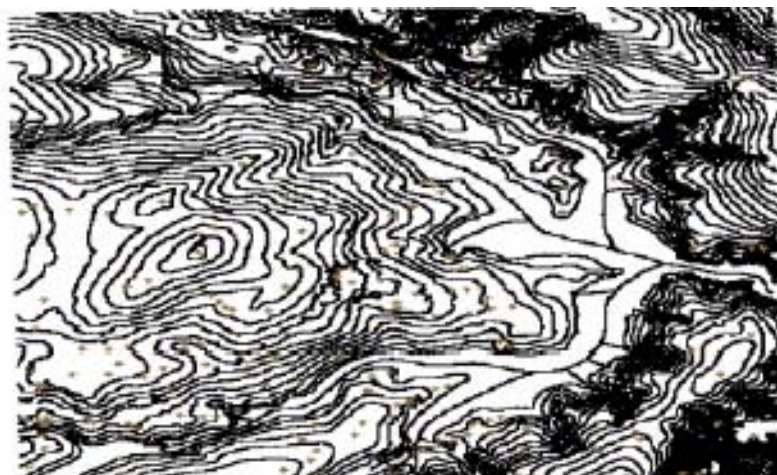


Figura 3.9: MNT - Isolinhas de topografia
Fonte: Câmara (2005)

3.1.6.5 Imagens

As imagens obtidas por satélites, fotografias aéreas ou sensores aerotransportados, representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada elemento da imagem denominado pixel, tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente. Pela natureza do processo de aquisição de imagens, os objetos geográficos estão representados em cada elemento da imagem, sendo necessário recorrer a técnicas de realce, foto-interpretação e de classificação para individualizá-los (op cit.).

A Figura 3.10 apresenta uma imagem da cidade de Manaus, obtida pelo Sensor TM do satélite Landsat, e é uma composição em vermelho, verde e azul das bandas 3, 4 e 5, respectivamente, que têm como comprimentos de onda, dentro do espectro visível da energia eletromagnética, os seguintes valores (CÂMARA, 2001):

Banda 3 – de 0,63 a 0,69 nm;

Banda 4 – de 0,75 a 0,90 nm;

Banda 5 – de 1,55 a 1,75 nm.

Essa composição, tem uma representação muito próxima do que o olho humano seria capaz de distinguir, se estivesse realmente na posição do Zenith do Satélite Landsat, com o devido contraste de algumas bandas.



Figura 3.10: Composição das bandas 3, 4 e 5 TM-Landsat - Manaus-AM
Fonte: Câmara (2001)

3.2 PROJEÇÕES GEOGRÁFICAS

Os mapas reproduzem em uma superfície plana, geralmente o papel, aquilo que na realidade é curvo, e desta forma sempre apresenta distorções. Mesmo assim dá-se preferência pelo uso de mapas em lugar de globos, que representam melhor a realidade, devido a uma série de vantagens que eles apresentam como: facilidade de manuseio, representar melhor a realidade em diferentes escalas, custo mais acessível, dentre outros.

De acordo com Anderson et al. (1982), existem três atributos imprescindíveis de qualquer carta ou mapa: um é a projeção, “que permite a representação em papel plano das coordenadas geográficas e de outras características da Terra esférica”. O segundo é a escala e o terceiro é a simbolização. Ainda de acordo com Anderson et.al (1982), sem as projeções, todas as representações da terra deveriam ser globos ou segmentos curvos. Para se transformar as superfícies curvas em planas é preciso usar as projeções.

Oliveira (1983 apud DUARTE, 1994) nos traz de forma clara o conceito de Projeção cartográfica,

“Projeção cartográfica. Traçado sistemático de linhas numa superfície plana, destinado à representação de paralelos de latitude e meridianos de longitude da Terra ou parte dela. Pode ser construído mediante cálculo analítico, ou traçado geometricamente. Frequentemente referido como projeção, o termo completo é aconselhado, a não ser que o contexto indique que claramente o significado.”

Quanto ao tipo de projeções elas podem ser: planas, cônicas ou cilíndricas, conforme Figura 3.11.

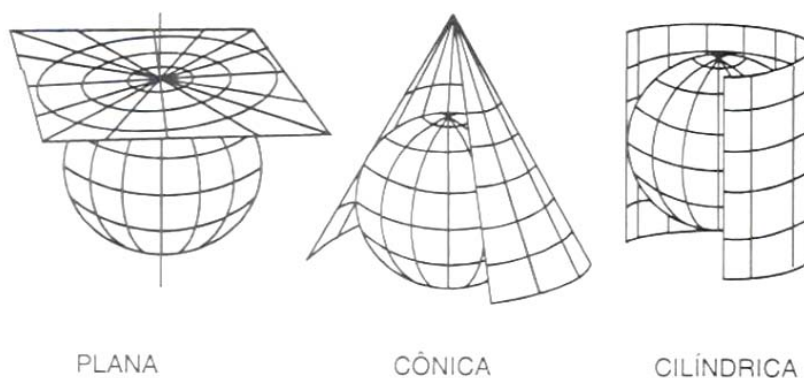


Figura 3.11: Tipos de sistemas de projeções
Fonte: Fitz (2000 apud Zimback, 2003)

Quanto à posição as projeções podem ser: equatorial, polar, transversa, oblíqua. Em relação às coordenadas geográficas, de acordo com Anderson et.al (1982) existem vários sistemas de coordenadas que permitem a localização precisa de um ponto na superfície terrestre, sendo que a mais usual é a das coordenadas geográficas, latitude e longitude.

“A rede de coordenadas geográficas consiste em um conjunto de linhas imaginárias traçadas de sul a norte, que unem os pólos, os meridianos, e um conjunto de linhas traçadas de oeste a leste, paralelas ao Equador, que é um círculo máximo, os paralelos” (Conceição e Souza, 2000).

Os meridianos são semicírculos máximos cujos extremos coincidem com os pólos norte e sul. O meridiano principal (0) é o meridiano que passa pelo observatório de Greenwich em Londres. Cresce para oeste e leste até 180°. Os paralelos são círculos completos formados por planos paralelos ao Equador, que cortam a Terra. O Equador é o paralelo principal de valor (0) crescendo para norte e sul até o valor de 90° e divide a Terra em dois hemisférios: norte e sul (Zimback, 2003).

A longitude (λ) de um lugar é o arco de paralelo, medido em graus, minutos e segundos entre esse lugar e o meridiano principal, Meridiano de Greenwich, que corresponde 0° de longitude. A longitude de qualquer outro ponto sobre o globo se mede de oeste ou leste a partir do meridiano de Greenwich e oscila entre 0° a 180°, para leste ou para oeste. A latitude (Φ) de um lugar é o arco de meridiano, medido em graus, minutos e segundos entre esse lugar e o Equador (0°), oscilam entre 0° no Equador e 90° sul e norte nos pólos (Conceição e Souza, 2000).

Uma projeção cartográfica é a base para construção dos mapas, pois ela se constitui numa rede de paralelos e meridianos, sobre a qual os mapas poderão ser desenhados. Todas as projeções sofrem distorções e tentam evitar outras.

A Terra para ser representada de forma plana sofre uma série de deformações, através do estudo das projeções cartográficas tenta-se solucionar este problema. São várias as propostas de projeções. Projeção de Mercator: provoca grandes deformações superficiais nas altas latitudes; Projeção Equidistante, Projeção Cilíndrica Equivalente: as regiões polares sofrem alterações na sua fisionomia, ficando muito achatadas; Projeção Senoidal: executado por Mercator, Sanson e Flamsted, mantém as dimensões superficiais reais deformando a fisionomia; Projeção Homolográfica de Mollweide e Projeção Borboleta.

A Projeção Universal de Mercator é a mais usada mundialmente e de acordo com Zimback (2003), foi proposta pelo cartógrafo Gerhard Kremer Mercator. Em 1947 foi modificada por Gauss e em 1951 adotada pela Associação Geodésica Internacional e chamada de Universal Transversal de Mercator – UTM.

De acordo com Oliveira (1993 apud Conceição e Souza, 2000), “a conhecida UTM não é uma projeção, mas um sistema de projeção transversa de Mercator e surgiu em 1947 para determinar as coordenadas retangulares nas cartas militares, em grande escala, de todo o mundo”.

Estabelece um sistema em que a Terra é dividida em 60 fusos de seis graus de longitude, os quais têm início no antimeridiano de Greenwich (180°), e que seguem de oeste para leste, até o fechamento neste mesmo ponto de origem. Quanto à extensão em latitude, os fusos originam no paralelo de 80°S até o paralelo de 84°N (OLIVEIRA, 1993 apud CONCEIÇÃO e SOUZA, 2000). Verificar Figura 3.12.

Para determinar as coordenadas UTM, de acordo com Zimback (2003), obedece as seguintes normas estabelecidas:

- Para a obtenção da latitude, estabeleceu-se o valor de 10.000.000m para o Equador, e esses valores crescem no sentido norte e decrescem para sul.
- Para a obtenção da longitude, estabeleceu-se o valor de 500.000m para cada meridiano central (MC), e os valores crescem no sentido leste e decresce no sentido oeste.

Conforme Figura 3.13.

Por exemplo, um ponto com coordenadas de 6.682.000m S e 476.000m WGR, significa que o ponto esta a: $10.000.000\text{m} - 6.682.000\text{m} = 3.318.000\text{m}$ do Equador e $500.000\text{m} - 476.000\text{m} = 24.000\text{m}$ a oeste do MC (Zimback, 2003).

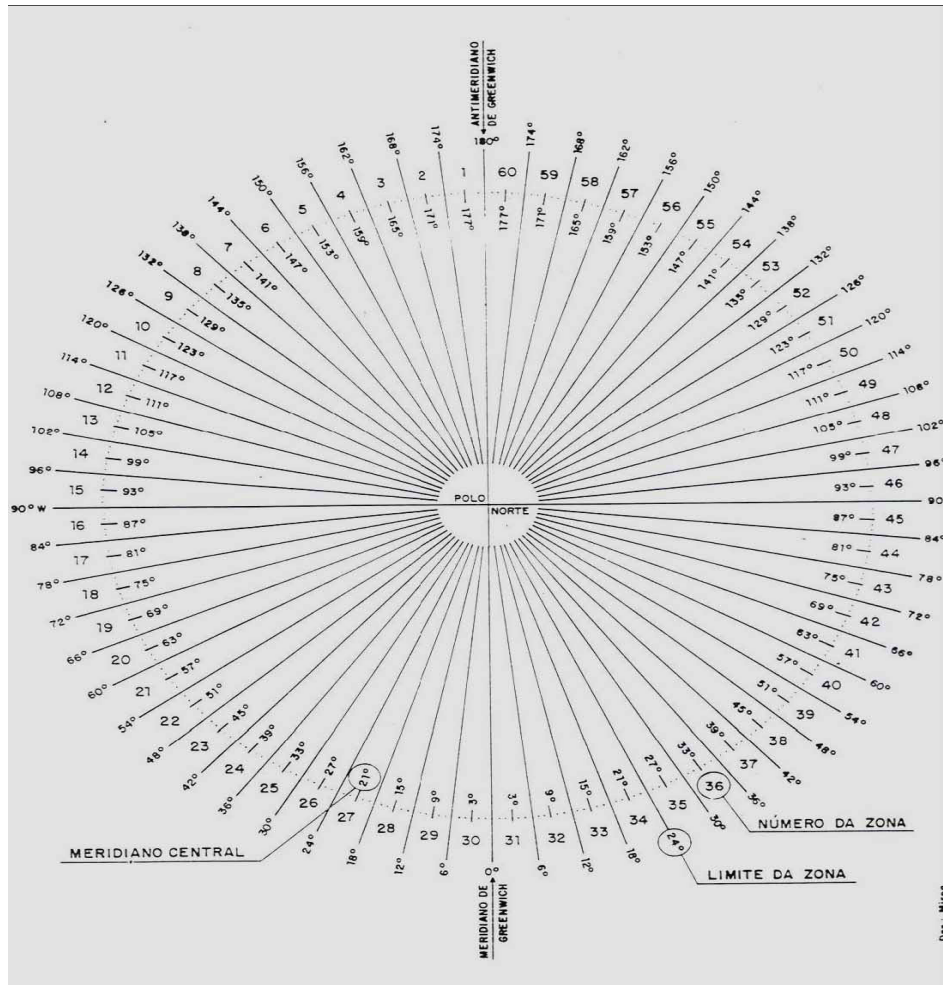


Figura 3.12: Divisão do Globo em zonas UTM
Fonte: Santos (1989 apud ZIMBACK, 2003)

De acordo com Anderson et.al (1982), baseado nas coordenadas geográficas e nas subdivisões dos fusos da UTM temos quatro sistemas de codificação das cartas topográficas brasileiras: Sistema UTM “Atual”; o Sistema “Antigo”; o Sistema “MI”; e o Sistema “Micro-divisões”.

O mais conhecido sistema de codificação das cartas topográficas brasileiras é o UTM Atual, no qual o Equador divide o mundo em hemisférios: Norte, codificado com N, e sul codificado com S. A partir do Equador, para cima e para baixo, os paralelos são divididos em faixas de 4 por 4 graus . Para cada faixa de 4 graus de latitude, para cima ou para baixo, é designada uma letra na ordem alfabética, antecedida de letras N ou S, conforme o hemisfério. A partir do antimeridiano de Greenwich, isto é, o meridiano de 180°, são designadas faixas de 6 por 6 graus, num total de 60 numerações no sentido de Oeste para Leste perfazendo 360°.

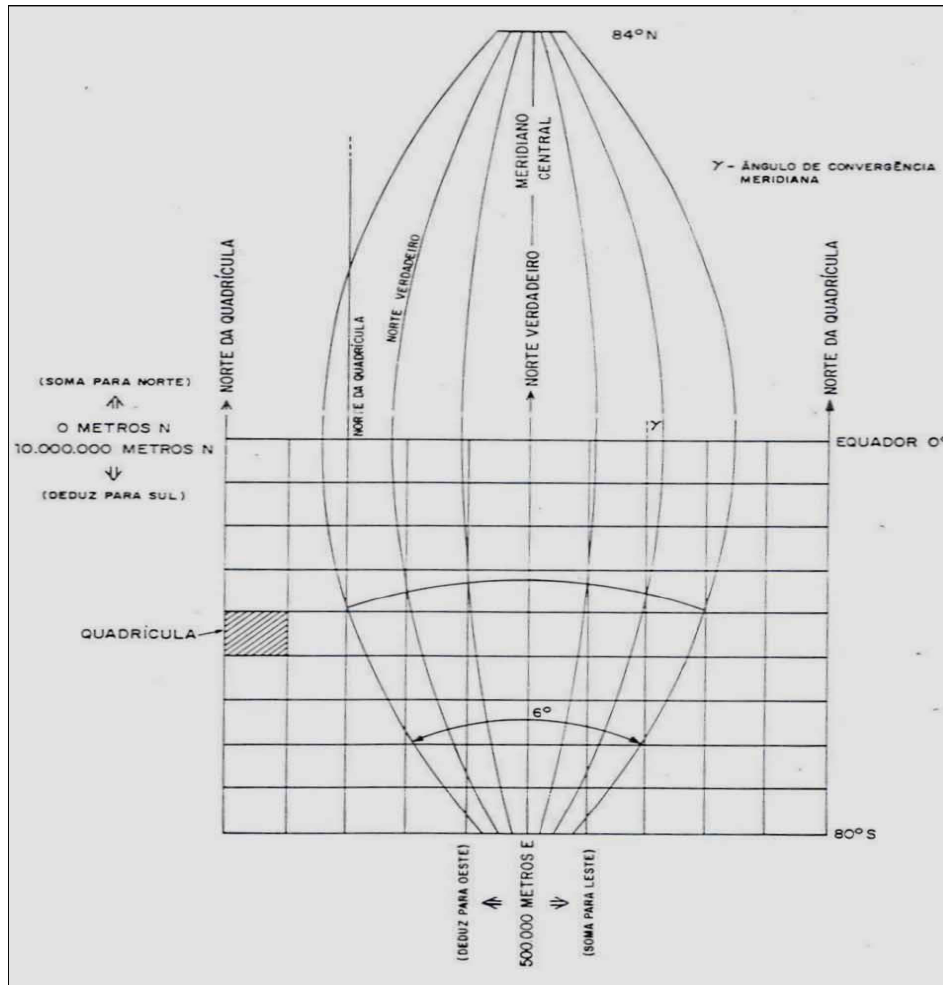


Figura 3.13: Zona de Mercator em Quadrículas
Fonte: Santos (1989 apud ZIMBACK, 2003)

Uma carta ao milionésimo é referida ao retângulo onde se encontra, e sua folha tem o tamanho de 6 por 4 graus. Assim, é possível localizar uma carta de escala 1:1.000.000, por exemplo, que tem como índice de nomenclatura o seguinte: SD 23, Figura 3.14. As cartas de 1:1.000.000 são divididas em 4 retângulos (VXYZ) de 3 por 2 graus na escala 1:500.000. Cada uma destas é dividida em 4 partes (A, B, C, D) de 1 grau e 30 minutos por 1 grau .

Por sua vez, retângulo correspondente a cada uma dessas letras é dividido em seis quadrados de 30 minutos, os quais são numerados com algarismos romanos de I à VI da esquerda para a direita, a escala da folha em destaque (IV) é de 1:100.000, e o seu índice de nomenclatura é SD-23-Y-C-IV, que é o da folha de Brasília.

A partir desse nível de classificação, escala 1:100.000, o sistema UTM Atual subdivide as folhas em quatro partes. Estas cartas são denominados com os algarismos 1, 2, 3, e 4, e têm formato de 15' por 15' na escala de 1:50.000. As cartas de 1:50.000 também são divididas em quatro partes, segundo as direções NO, NE, SO, SE da mesma forma que as

anteriores. A folha em destaque tem formato de 7,5' X 7,5' na escala de 1:25.000, e seu índice de nomenclatura é: SD-23-Y-C-IV-16.(ANDERSON et.al, 1982) conforme Figura 3.15.

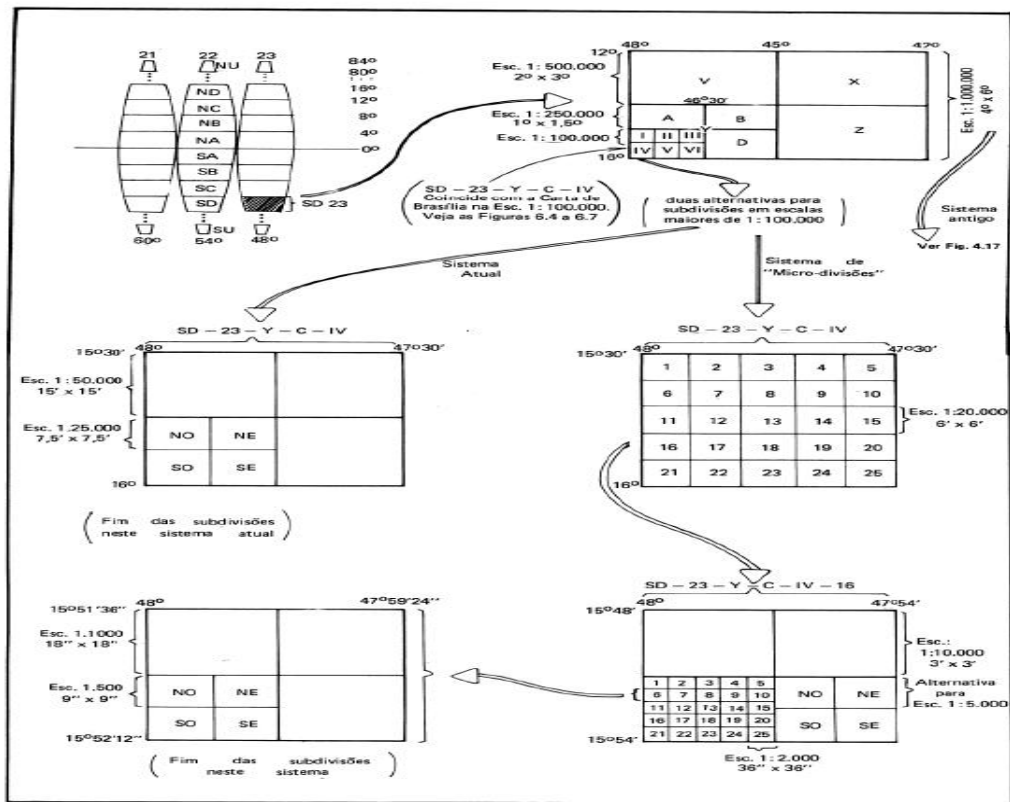


Figura 3.14: Classificação de cartas topográficas
Fonte: Anderson et al. (1982)

As nomenclaturas estão presentes quase sempre na parte superior esquerda das cartas. Como por exemplo: SF-23-Z-D-VI-4-SE-F significa:

- S – Sul;
- F – Faixa;
- 23 – Fuso;
- Z – 1/500.000;
- D – 1/250.000;
- VI – 1/100.000;
- 4 – 1/50.000;
- SE – 1/ 25.000;
- F – 1/10.000.

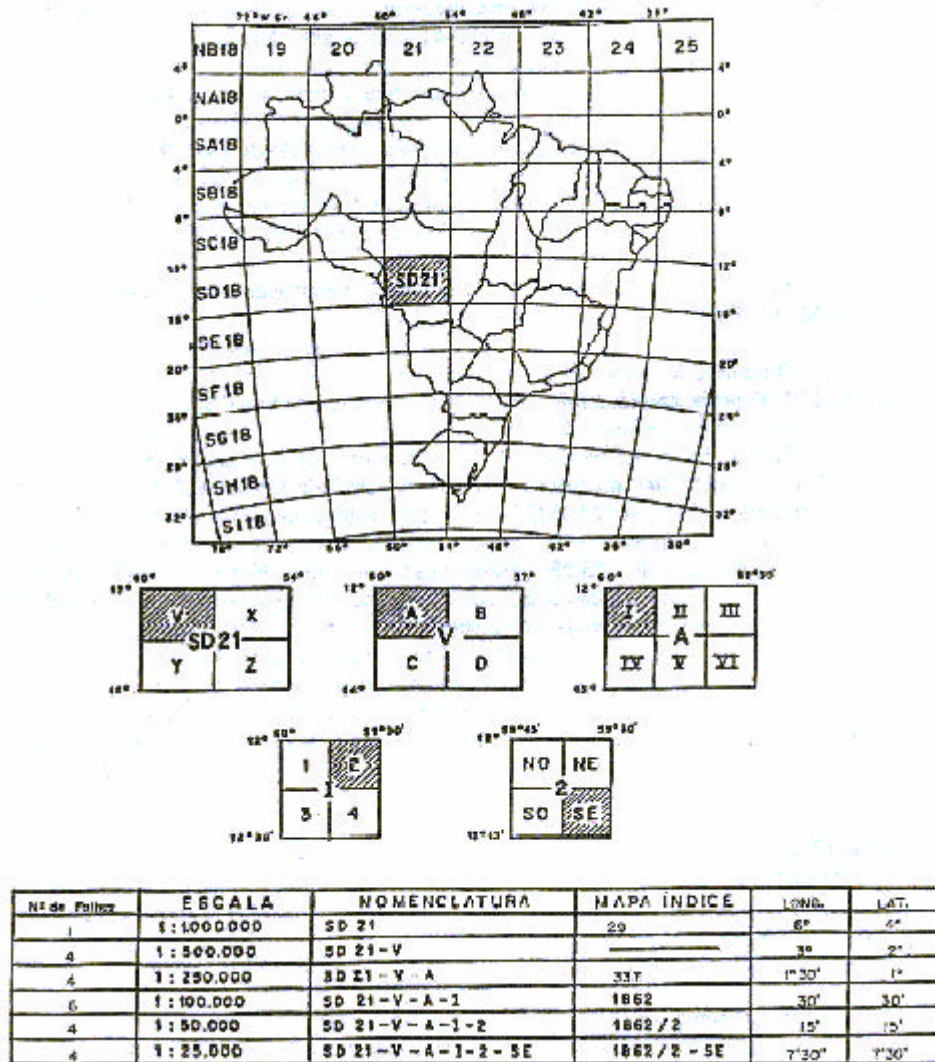


Figura 3.15: Carta Internacional ao Milionésimo (CIM).

Fonte: Melo(2003).

3.3 DATUM

Conforme Zimback (2003), “para se caracterizar um datum utiliza-se uma superfície de referência e uma superfície de nível”. A superfície de referência, datum horizontal, consiste em cinco valores: a latitude e longitude de um ponto inicial, o azimute de uma linha que parte deste ponto e duas constantes necessárias para definir o elipsóide de referência. Assim, forma-se a base para o cálculo dos levantamentos de controle horizontal no qual considera-se a curvatura da Terra. A superfície de nível, datum vertical, refere-se às altitudes. “Para a definição do datum escolhe-se um ponto mais ou menos central em relação à área de abrangência do datum” (op cit.).

No Brasil, os mapas mais antigos, da década de 70, adotam o datum de Córrego Alegre, elipsóide internacional recomendado na época. O datum planimétrico considerado para o sistema, foi um vértice de primeira ordem implantado em 1949, localizado no município de Frutal, Minas Gerais, com as seguintes coordenadas:

- latitude = $19^{\circ} 50' 15,14''$ S;
- longitude = $48^{\circ} 57' 42,75''$ W;
- altitude (NMM) = 683, 81m (SILVA e GRIPP JÚNIOR, 2007)

Os mapas mais recentes adotam com referencial o Datum SAD69. O South American Datum (SAD), foi estabelecido como sistema geodésico para o Brasil em 1969. Os parâmetros do SAD69 de acordo com Silva e Gripp Júnior (2007), são:

- Elipsóide SGR-67;
- Orientação geocêntrica:
 - Eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra;
 - Plano meridiano de origem no paralelo ao meridiano de Greenwich;
- Orientação topocêntrica: Considerado como Datum planimétrico, o Vértice Chuá da cadeia de triangulação do paralelo 20° Sul, em Minas Gerais :
 - Latitude geod.= $19^{\circ} 45' 41,6527''$ S
 - Lat. astron.= $19^{\circ} 45' 41,34''$ S
 - Longitude geod.= $48^{\circ} 06' 04,0639''$ W
 - Long. astron.= $48^{\circ} 06' 07,80''$ W
 - Azimute geod.= $271^{\circ} 30' 04,05''$ SWNE Az.
 - Astron.= $271^{\circ} 30' 05,42''$ SWNE para VT-Uberaba
 - Ondulação geoidal N = 0,0m
- Datum altimétrico do SGB: Coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas em Imbituba, no litoral de Santa Catarina (op cit.).

O sistema de referência do GPS é o WGS 84, World Geodetic System 1984. Como as cartas do território brasileiro são referenciadas ao SAD69 e em alguns casos são no sistema mais antigo, Córrego Alegre, algumas normas devem ser adotadas para que os resultados obtidos com o GPS possam ser utilizados para fins de mapeamento, ou outras atividades que necessitem de informação georeferenciada (ZIMBACK, 2003). A rede de pontos levantados com GPS terá suas coordenadas referenciadas ao WGS 84, devendo sofrer uma transformação para o SAD69.

Assumindo-se que os dois sistemas são paralelos, e com a mesma escala no Brasil, os parâmetros oficiais de transformação de WGS 84 para SAD69 são os seguintes (Monico, 2000 apud Zimback, 2003):

- Para x \rightarrow WGS 84 + 66,87m = SAD69;
- Para y \rightarrow WGS 84 + 4,37m = SAD69;
- Para z \rightarrow WGS 84 + 38,52m = SAD69.

De acordo com dados do IBGE, está sendo proposto um novo sistema geodésico para ser adotado no Brasil, o SIRGAS. Este novo referencial foi apresentado no Primeiro Seminário sobre referencial Geocêntrico do Brasil, realizado no Rio de Janeiro em outubro de 2000. Ainda, segundo o IBGE: “Com o objetivo de se compatibilizar os sistemas geodésicos utilizados pelos países da América do Sul, o projeto SIRGAS, Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, foi criado com vistas a promover a definição e estabelecimento de um referencial único compatível em termos de precisão com a atual tecnologia, ou seja GPS.”

O projeto SIRGAS foi criado na Conferência Internacional para Definição de um Referencial Geocêntrico para América do Sul, realizada em 1993 em Assunção – Paraguai. Os primeiros resultados do SIRGAS foram divulgados na reunião científica da International Association of Geodesy - IAG, realizada no Rio de Janeiro em 1997. Estes resultados se traduzem em uma das redes de referência continental mais precisas do mundo. Composta por 58 estações distribuídas pelo continente, com coordenadas determinadas por GPS e referidas a rede de referência internacional mais precisa atualmente, a ITRF94, estabeleceu desta forma o Sistema SIRGAS.

Das 58 estações, 11 se situam no território brasileiro, das quais 9 coincidem com estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS - RBMC, a rede geodésica ativa implantada pelo IBGE no Brasil. A densificação da rede SIRGAS é naturalmente conduzida a partir da conexão das redes geodésicas dos países das Américas.

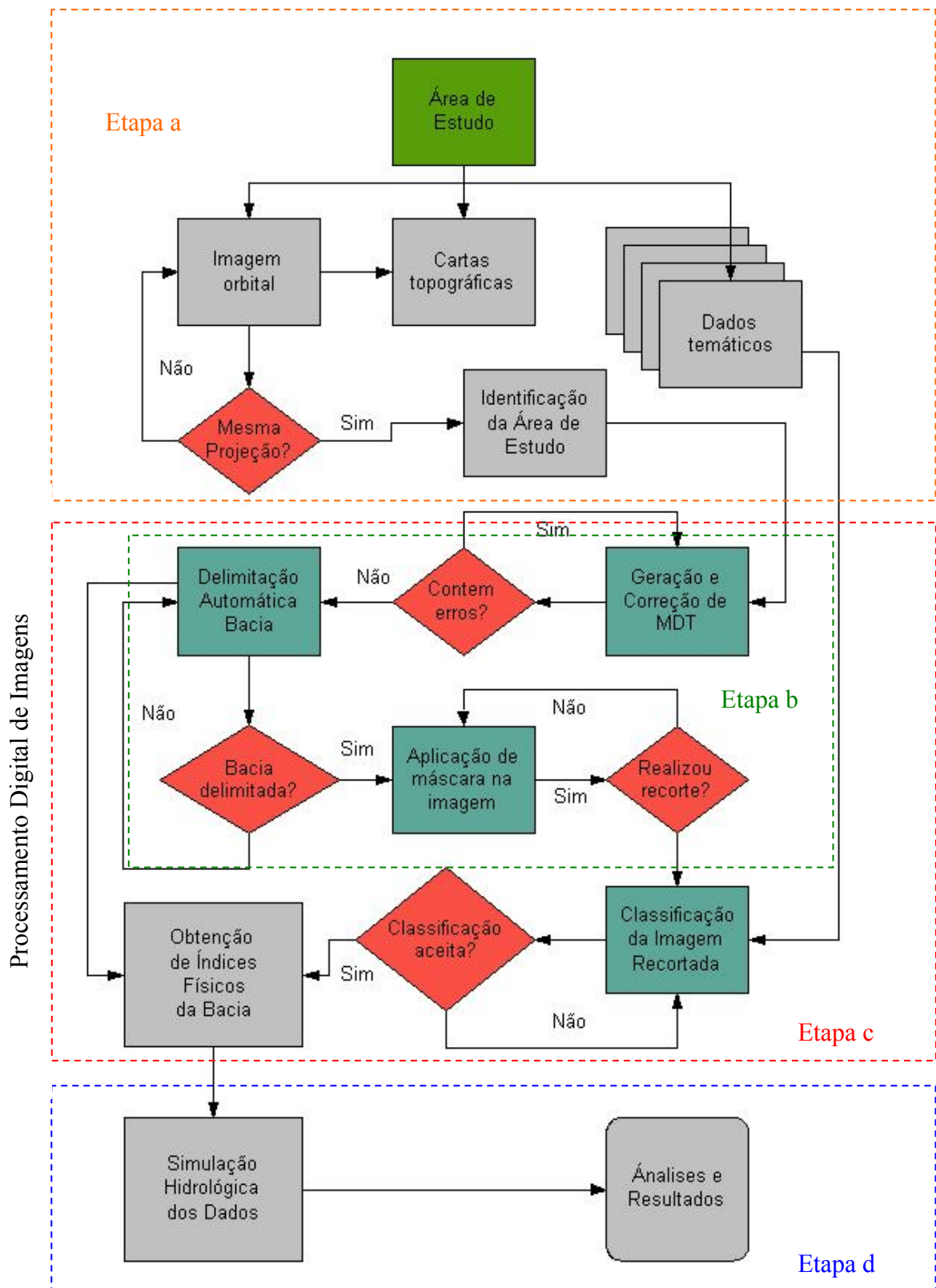
4 METODOLOGIA

A presente pesquisa baseou-se, inicialmente, em estudos bibliográficos, que recomendaram o uso de SR, na obtenção de caracterização de índices físicos de bacias hidrográficas como forma de redução de custos de aquisição de dados básicos. O pioneirismo da pesquisa na aplicação de ferramentas de geoprocessamento na área de recursos hídricos na cidade de Goiânia se tornou evidente devido à escassez de informações. Estas quando eram encontradas, deparava-se na falta de compatibilidade entre as aplicações desenvolvidas. Os produtos eram especialistas como o MUBDG, que embora tivesse a abrangência para pequena escala não dispunha de dados precisos para aplicações de recursos hídricos; o estudo de bacias rurais desenvolvidos pelo CEFET em média escala, que visavam apenas às gerações de mapas temáticos ou ainda, aplicações de larga escala como o monitoramento de desmatamento da floresta amazônica realizado pelo LAPIG-IESA.

Os recursos para viabilização dessa pesquisa, surgiram a partir do projeto “Casadinho”, edital 014/2005 do CT-Hidro/MCT/CNPQ. A integração entre a Universidade Federal de Goiás e a Universidade de Brasília foi primordial, proporcionando condições para a aplicação das ferramentas e transferência de capacitação técnica para a condução da pesquisa.

A metodologia desenvolvida para a condução dessa pesquisa foi dividida em quatro macro etapas que se articularam no fluxograma geral mostrado na Figura 4.1. Estas etapas e seus respectivos procedimentos consistem em:

- a) aquisição de dados: Identificação e pré-seleção de informações da área de estudo por meio das imagens orbitais, cartas topográficas e MDT's disponíveis, dos dados temáticos e organização desses dados com a criação de um SIG;
- b) pré-processamento digital da imagem: Constituído pela aplicação de realce, recorte e compatibilização da projeção e Datum dos elementos envolvidos, além da seleção da bacia hidrográfica, geração de MDT e delimitação automática da bacia;
- c) análise e interpretação da imagem: Compreendendo a identificação das áreas de ocupação antrópica, limites, classificação da imagem recortada e obtenção de índices físicos da bacia hidrográfica em estudo;
- d) simulação de evento hidrológico: Utilizando os dados de caracterização física da bacia hidrográfica obtidos, realiza-se um estudo do comportamento do escoamento superficial na bacia por meio de simulador de evento hidrológico.



4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

Etapa preliminar onde foram identificados e selecionados os elementos necessários para subsidiar o desenvolvimento da pesquisa. Foi necessária a realização de diversas simulações e tratamento dos dados obtidos, além de comparação em cartas topográficas para a verificação do georeferenciamento. Por meio de aplicativos diversos, as informações foram sendo compatibilizadas e corrigidas quando se faziam necessárias. Essas informações foram sistematizadas, constituindo em um extenso material assim disponibilizado para subsidiar novas pesquisas. As etapas descritas a seguir consistem na identificação e análise da área de estudo, identificação preliminar dos dados temáticos e criação do SIG visando a organização das informações para que as devidas análises pudessem ser realizadas.

4.1.1 Escolha da Área de Estudo

A área de estudo foi escolhida a partir da imagem do satélite QuickBird de 2001, cedida pelo LAPIG-IESA, que abrangia todo o município de Goiânia. Como o objetivo proposto era do estudo de bacia urbanizada, foi selecionada uma sub-bacia do córrego Botafogo, que tinha todas as características de região amplamente antropizada. Isso se deu a partir de aplicações de processamento e tratamento da imagem disponibilizada, por meio dos softwares ENVI 4.1, Spring e ArcView 3.2. O limite da seção de controle da área da bacia em estudo foi:

- coordenadas UTM: -686.364,78 e -8.157.136,36;
- coordenadas geográficas: 16° 39' 39,4441" S de latitude e 49° 15' 09,0363" W de longitude;
- altitude de 721.

Em termos de vias urbanas, este ponto se situa na confluência em diferentes níveis da Avenida Independência com a Marginal Botafogo, próximo ao setor central, conforme Figuras 4.2 e 4.3.

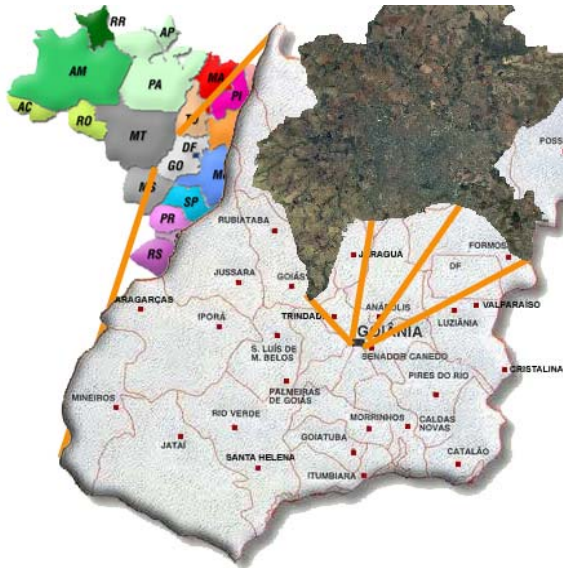


Figura 4.2: Localização do Brasil/Goiás/Goiânia



Figura 4.3: Avenida Independência c/ Marginal Botafogo

4.1.2 Dados Cartográficos

Goiânia está localizada na carta internacional do mundo ao milionésimo entre as coordenadas 49° e 50°W e 16° e 17°S para longitude e latitude respectivamente da carta SE-22-X-B (IBGE, 1998).

A obtenção das curvas de nível e da rede hidrográfica foram disponibilizadas pela SANEAGO, por meio de convênio com a Prefeitura de Goiânia representada pela Companhia de Processamento de Dados do Município - COMDATA, através do Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia - MUBDG, com curvas de nível de 5 em 5 m, posteriormente interpoladas de 1 em 1 m.

A utilização do MUBDG foi determinante na delimitação automática da bacia da área de estudo do córrego Botafogo. O tipo de arquivo vetorial utilizado foi o SHP – Shapefile, uma vez que a versão da extensão HEC-GeoHMS foi desenvolvida para ser utilizada somente no ArcVIEW 3.2 da ESRI. Os dados utilizados foram os elementos de hidrografia e curvas de nível.

Os elementos da hidrografia da capital foram obtidos através dos arquivos HID.dbf, hid.shx e hid.shp. O modelo digital de terreno – MDT foi obtido a partir dos arquivos i77.shp, i77.shx, i77.dbf, i88.shp, i88.shx e i88.dbf. Como são arquivos do tipo SHP, sempre existirão as 3 extensões: shp, shx e dbf. Os arquivos iniciados em i77 e i88 são arquivos vetorizados semi-automaticamente dos vôos realizados em 1977 e 1988, respectivamente. Como superfície de referência para a geração do MUBDG foi utilizado o

Datum SAD69, que é oficial do Brasil desde 1970 (MUBDG, 2007a).

4.1.3 Imagem de Alta Resolução de Goiânia

Foi disponibilizado pelo IESA, uma imagem já mosaicada e recortada de Goiânia, Figura 4.4, obtida através do satélite QuickBird no ano de 2001. Com 358 MBytes e resolução na banda pancromática de 0.62 m, cobre todo o território da capital. O Datum utilizado foi o SAD69 para o georeferenciamento, obedecendo ao padrão do IBGE, com o fuso de 22°. Para melhor visualização e processamento, foi utilizado o aplicativo ENVI da RSI, tanto no tratamento por meio de filtros de ganho, como o LINEAR (0-255), como no recorte da área de estudo, sendo utilizado a aplicação de máscara com base no arquivo vetorial gerado pelo ArcVIEW 3.2.



Figura 4.4: Imagem QuickBird 2001, Goiânia

4.1.4 SIG – Micro-Bacia do Córrego Botafogo

De posse de boa parte das informações relativas à modelagem digital do terreno, hidrografia, limites políticos, imagem de alta resolução da capital, dentre outros, tornou-se

necessário à implementação de um SIG, de forma a permitir a análise e processamento digital dos dados. Como tanto a imagem QuickBird quanto o modelo digital de terreno – MDT disponibilizados, além da hidrografia e demais arquivos vetoriais componentes do MUBDG estavam na mesma projeção, a SAD69, não houveram problemas maiores de compatibilidade e não se fizeram necessários nenhum registro, georeferenciamento, ou até mesmo necessidade da conversão de Datum. O aplicativo utilizado para a criação do SIG foi o ArcVIEW 3.2.

4.1.5 Dados Temáticos

Visando a identificação de áreas impermeabilizadas em imagem de alta resolução, como a do satélite QuickBird, foram analisadas as assinaturas espectrais dos alvos mais significativos, pré-selecionados. A característica principal que se desejava obter desses alvos era se os mesmos consistiam ou não em área impermeável. Nesse contexto, após várias tentativas foram consideradas áreas permeáveis: Vegetação Baixa, Vegetação Alta e Solo Exposto. Em contrapartida, áreas impermeabilizadas: Asfalto, Área urbana, Área de Concreto e Área de Telhado. Na classe Área Urbana, foram considerados todos os alvos que não se enquadravam nas classes de áreas impermeabilizadas, mas que fazem parte desse cenário, como veículos, coberturas de pequenas construções, etc. A classe Sombra foi desprezada por corresponder à perda de informação e a classe Água, em análise mais contundente, seria considerada área impermeabilizada uma vez que na grande maioria das vezes encontra-se confinada em piscinas e gera escoamento superficial de toda a precipitação, a menos que a mesma encontre-se vazia. No entanto, foi igualmente descartada dos cálculos.

Existiu ainda a Classe Não Classificada que geralmente era a região onde vários alvos se misturavam e a identificação da real característica ficava difícil. A falta de informação como a região onde foi aplicada a máscara, também foi considerada Classe Não Classificada. Assim sendo, foram descartados nos cálculos, mas considerados na análise de identificação dos dados temáticos.

4.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM

Os eventos de processamento de imagem digital ocorreram ora simultâneos ora independentes, visando a correção, identificação, análise e classificação das imagens da satélite. Desta feita, não pode se estabelecer uma cronologia única para o desenvolvimento e a implementação desta metodologia da pesquisa, pois as ações e procedimentos iam sendo

aplicados em função dos resultados obtidos.

4.2.1 Realce da Imagem de Alta Resolução

Realizado no aplicativo ENVI da RSI, foi utilizado o filtro de REALCE LINEAR (0-255), que possibilitou a identificação de alvos e a perfeita comparação, oportunamente, com o resultado das classificações obtidas via Spring.

4.2.2 Recorte da Área de estudo

Definida a área de estudo, fez-se necessário à delimitação da sub-bacia. Nesse intento, foi utilizada a extensão HEC-GeoHMS que realiza o pré-processamento de características físicas de bacias hidrográficas, para serem utilizadas em aplicativos de simulação hidrológica. Essa extensão possibilita a extração de informações como a declividade e comprimento total do talvegue, área da bacia, dentre outras.

A área de estudo foi recortada através da aplicação de máscara, baseada no shapefile gerado no programa ArcVIEW 3.2 pela extensão HEC-GeoHMS. Para a geração da máscara, se fizeram necessárias as seguintes informações:

- imagem QuickBird de alta resolução, com banda pancromática de 0.62 m, Datum SAD69, coordenadas UTM e unidades em m;
- shapefile de delimitação da área de estudo com as mesmas características da imagem QuickBird.

4.3 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM

Análise e interpretação de imagens de satélite, consiste em utilizar de forma racional o conhecimento das técnicas de SR, visando identificar as assinaturas espectrais dos alvos e confirmar a metodologia empregada na classificação, utilizando-se de imagens de alta resolução, realizando visitas in-loco para efeitos de comprovação.

4.3.1 Identificação das Áreas de Ocupação Antrópica

Por meio de classificações preliminares, foram sendo identificadas áreas altamente antropizadas dentro da capital. Essas áreas foram visitadas, como os setores Campinas, Centro, Sul, Oeste, além da região sudeste da capital, para a confirmação de ocorrência tanto de construções civis como ocorrência de vegetação, sejam de baixa, médio e grande porte.

4.3.2 Classificação da Área de Estudo

Para a classificação, foram utilizados os dados temáticos definidos na análise do comportamento espectral dos alvos presentes na região da área de estudo. Realizada através do Spring, este procedimento usou o método pixel-a-pixel e a rotina MAXVER já implementada, com limiar de aceitação de 99%. As classes utilizadas na classificação foram: Água, Asfalto, Vegetação Baixa, Vegetação Alta, Telhado, Concreto, Solo, Área Urbana, Sombra e Região Não Classificada.

4.3.3 Avaliação da Classificação

A avaliação da precisão obtida na classificação de imagens de satélite pode ser realizada por meio da verificação de que se o mapa produzido atende aos critérios mínimos de qualidade para produtos obtidos por SR, através de funções de probabilidade, ou se o mapeamento da imagem classificada atende aos propósitos do usuário, utiliza-se para tanto de comparações das classificações, com imagens de alta resolução espacial e posteriormente visitas in-loco. A presente pesquisa utilizou-se da segunda forma.

4.4 SIMULAÇÃO DE EVENTO HIDROLÓGICO

Com os dados obtidos, foi realizada uma simulação hidrológica visando a validação da metodologia empregada na obtenção de índices físicos de caracterização de pequenas bacias hidrográficas urbanas. O aplicativo utilizado foi o SSD ABC6, que é um simulador de resposta a eventos para pequenas bacias desenvolvido pelo LabSid da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. A identificação da percentagem de áreas impermeabilizadas é variável indispensável para a utilização do referido aplicativo, foi obtida por meio da aplicação da metodologia acima descrita, na seção de controle determinada para se obter a vazão de escoamento como resposta a um evento de precipitação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos com a realização dessa pesquisa. O desenvolvimento do método, visando obter os resultados a serem apresentados, será discriminado em quatro aplicações, que foram realizadas de forma a lidar a metodologia proposta.

Esse capítulo será dividido em quatro partes, contemplando:

- Análise de Áreas Impermeabilizadas;
- Obtenção do Coeficiente C - Runoff, através de Sensoriamento Remoto;
- Caracterização de micro-bacia urbana, através de geoprocessamento;
- Simulação do comportamento hidrológico da bacia no sistema de suporte a decisão ABC6.

A primeira parte do desenvolvimento da metodologia foi por meio de um estudo sobre a obtenção de percentagem de área impermeabilizada na região urbana de Goiânia, densamente habitada, de forma a lidar a aplicação da mesma em imagem de alta resolução. Na sequência, o método foi aprimorado, não apenas com a obtenção da área impermeabilizada, mas também com a aplicação na obtenção de coeficiente de escoamento superficial utilizado por Tucci (2000d) e Wilken (1978). Já na terceira parte, a metodologia proposta foi completamente aplicada e foram obtidos diversos índices de caracterização de bacias hidrográficas, como declividade, comprimento do talvegue, coeficiente de escoamento superficial, dentre outros. Finalmente, na quarta parte, as informações obtidas foram processadas no programa SSB ABC6 - Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas do departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

5.1 ANÁLISE DE ÁREA IMPERMEABILIZADA

A antiga cidade de Campinas em Goiás serviu de berço para a nova capital e se transformou atualmente em populoso bairro de Goiânia (IGR, 2006).

Localizada na porção central da capital, com entorno de 8.245 m e 215 ha para o perímetro e área respectivamente, Campinas é considerado bairro estratégico no comércio. Ao contrário de Goiânia, Campinas teve a partir de 1933, data de inauguração da capital, um crescimento desordenado e sem planejamento. Com grande parte de sua área com relevo plano, exceto as margens do córrego cascavel, as casas e os pontos comerciais foram se instalando de forma a ocupar em sua totalidade as áreas disponíveis, Figura 5.1. Isso

ocasionou um alto grau de impermeabilização do solo, sem a devida adequação dos sistemas de drenagem urbana existentes, gerando problemas como enchentes e erosões. Apesar da presença de grande quantidade de vegetação, na maioria das vezes somente a copa se mostra imponente, pois o caule encontra-se confinado em pequenas aberturas nas calçadas, tanto as de cimento quanto as pavimentadas com cerâmica, como pode ser observado na Figura 5.2.



Figura 5.1: Ladeira e ocupação desordenada



Figura 5.2: Caule das árvores

Este fato conduz a uma falsa percepção das áreas impermeabilizadas, verificada a partir de uma análise preliminar realizada em qualquer foto de satélite do bairro, como pode ser visto na imagem QuickBird, na confluência das avenidas Rio Verde e Minas Gerais, Figuras 5.3 e 5.4.



Figura 5.3: Imagem QuickBird 2001



Figura 5.4: Pavimentação ao redor do tronco

Foram utilizadas duas imagens para a obtenção do percentual de área impermeabilizada no bairro de Campinas, sendo uma do satélite QuickBird de 2001 com resolução espacial de 2,5 m e espectral de 3 bandas obtida na estação seca e a outra do satélite

CBERS de 2004 com resolução espacial de 20 m e espectral de 5 bandas do mesmo período. A imagem QuickBird, Figura 5.5 foi recortada de outra adquirida pelo laboratório do LAPIG, IESA-UFG, e a CBERS, Figura 5.6, diretamente do site do INPE, divisão de geração de imagens, disponibilizada gratuitamente.



Figura 5.5: QuickBird 2001, (LAPIG)

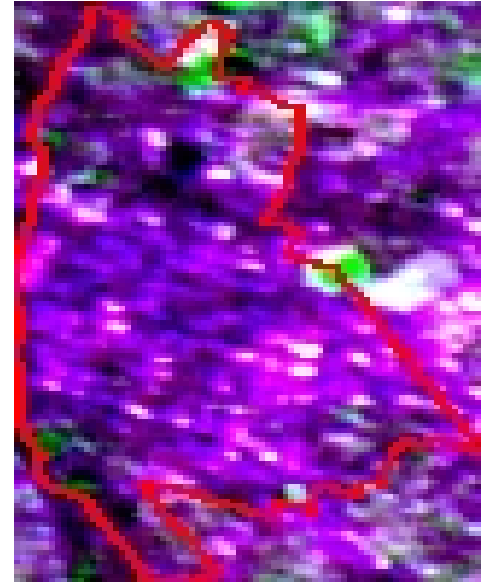


Figura 5.6: CBERS 2004, (INPE)

Enquanto a imagem QuickBird tem uma faixa de varredura de 16,5 km a 450 m de altitude, a CBERS tem faixa de 113 km a uma altitude de 800 km, que demonstra perfeitamente a acuidade visual das duas. Foi então montada uma máscara, utilizando como base o vetor do bairro de Campinas, e aplicada sobre as duas imagens de forma a recortá-las e obter então duas imagens com o mesmo tamanho.

Desta feita, foram realizadas as classificações no programa ENVI 4.1, da seguinte forma:

- Para a imagem QuickBird, foram utilizadas cinco classes a saber: asfalto, área urbana, casas, edifícios, etc., água, solo exposto e vegetação;
- Na imagem CBERS, só foi possível identificar quatro classes: área urbana, asfalto, solo exposto e vegetação.

Através desse procedimento, foram geradas as classificações para as imagens QuickBird e CBERS, mostradas nas Figuras 5.7 e 5.8 respectivamente.



Figura 5.7: Classificação imagem QuickBird **Figura 5.8:** Classificação imagem CBERS

Essas classificações geraram as seguintes Tabelas e Gráficos de níveis de cinza:

- Imagem QuickBird nas bandas 1, 2, 3, 4 e 5 estão na Tabela 5.2 e Gráfico 5.10;
- CBERS nas bandas 1, 2 e 3 estão na Tabela 5.1 e Gráfico 5.9.

Tabela 5.1: Níveis de cinza da imagem CEBERS - 2004

Bandas	Vegetação	Solo exposto	Água	Asfalto	Área Urbana
1	62	256	229	42	137
2	89	123	127	186	34
3	176	185	76	226	146
4	161	79	171	250	93
5	30	223	197	80	96

Tabela 5.2: Níveis de cinza da imagem QuickBird - 2001

Bandas	Vegetação	Solo exposto	Asfalto	Área Urbana
1	6	215	5	141
2	197	187	1	11
3	62	234	5	182

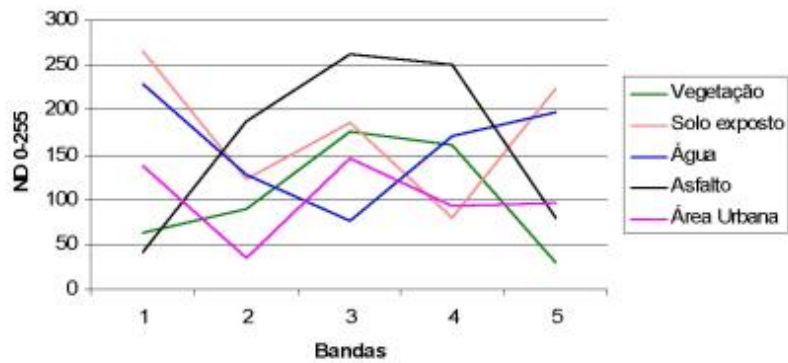


Gráfico 5.9: Níveis de cinza da imagem CBERS - 2004

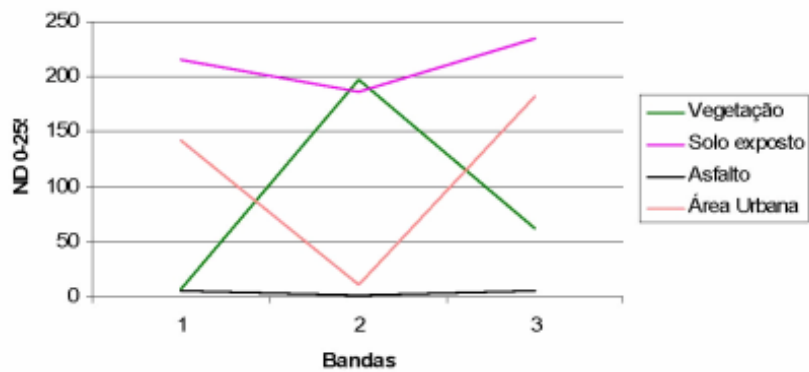


Gráfico 5.10: Níveis de cinza da imagem QuickBird - 2001

A área total do setor Campinas, obtida a partir da classificação das imagens foi de 216,01 ha para a imagem CBERS, Tabela 5.3, e 217,11 ha para o QuickBird Tabela 5.4, com uma diferença de apenas 1,10 ha ou 0,51%, demonstrando que no geral é possível aferir com boa acuidade a área de estudo em ambas as imagens.

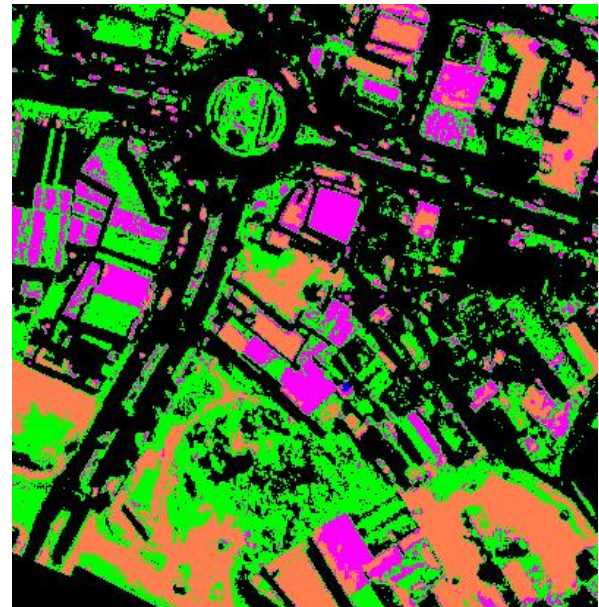
Tabela 5.3: Áreas da imagem CBERS - 2004

Classe	Área (ha)	%
Vegetação	59	2,74
Solo exposto	261	12,11
Asfalto	200	9,29
Área urbana	164	75,85
Total	216	100,00

Tabela 5.4: Áreas da imagem QuickBird - 2001

Classe	Área (ha)	%
Vegetação	749	34,50
Solo exposto	342	15,78
Água	2	0,08
Asfalto	361	16,62
Área urbana	717	33,02
Total	217	100,00

As verificações em loco demonstraram que na maioria das vezes, cerca de 80 a 90%, a presença de vegetação em imagem de satélite, não é garantia de área permeável, tanto nas proximidades do caule quanto na área do dossel, copa. Mas por outro lado, há uma mistura ou equidade de níveis de cinza que o algoritmo de classificação do ENVI gerou para a imagem QuickBird, pelo método de classificação supervisionada - distância mínima. Confundindo as classes de área urbana com solo exposto, asfalto com vegetação e água e até área urbana com asfalto, como demonstrado na Figuras 5.11 e 5.12. No caso da imagem CBERS, o que foi verificado é a mistura de pixels com seu vizinho mais próximo, gerando uma classificação bastante antagônica da imagem QuickBird, Figuras 5.13 e 5.14.

**Figura 5.11:** Imagem QuickBird, com ROI**Figura 5.12:** Classificação da QuickBird

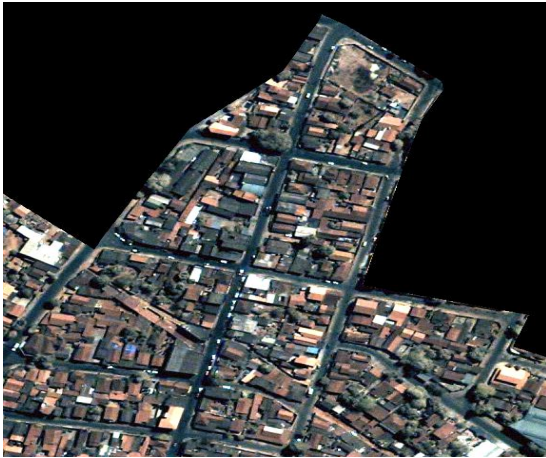


Figura 5.13: Imagem QuickBird

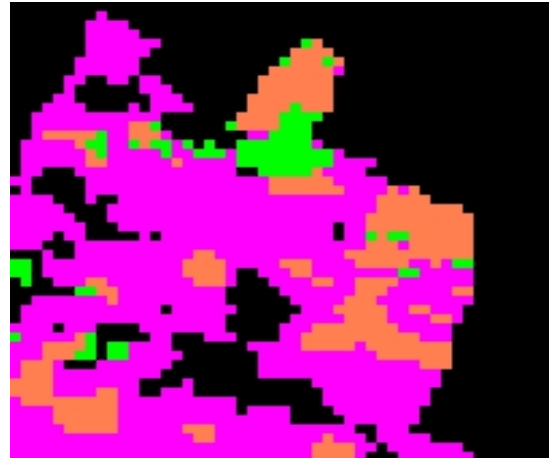


Figura 5.14: Classificação imagem CBERS

Legenda:

- Áreas impermeáveis: Coberturas, telhado, concreto, etc.
- Áreas impermeáveis: Asfalto
- Áreas permeáveis: Solo exposto
- Áreas permeáveis: Vegetação

Por meio dos valores obtidos nas Tabelas 5.3 e 5.4 e considerando que asfalto e área urbana são áreas impermeáveis e vegetação e solo exposto o oposto, teve-se então para a classificação da imagem QuickBird a área total permeável de 20,95% e impermeável de 78,96%, levando em conta que em 85% dos casos de ocorrência de vegetação, somente 15%, realmente são áreas permeáveis e desprezando ainda a percentagem de 0,08% de água, identificadas na classificação da imagem QuickBird. Já para a classificação da imagem CBERS, foram assumidas as mesmas características com relação às classes, mas sem a devida verificação da ocorrência das mesmas em loco, tem-se que a área permeável total foi de 14,86%, enquanto que a área impermeabilizada por ação antrópica foi de 85,14%.

Apesar de muito distintas ambas as classificações chegaram a resultados próximos, o que demonstra que a imagem CBERS, mesmo com resoluções espacial inferior a da QuickBird, para esse bairro, teve como resposta para estudos iniciais, uma boa aproximação dos resultados. Levando-se em conta que esta última é adquirida de empresa especializada e com custo bastante elevado, para trabalhos que não demandem muita precisão com relação à resolução espacial, o custo benefício entre as duas simulações é proporcionalmente grande, uma vez que a imagem CBERS é disponibilizada atualmente de graça no site do INPE.

5.2 OBTENÇÃO DO COEFICIENTE C - RUNOFF, ATRAVÉS DE SR

Definido como a parcela da precipitação que esco superficialmente, gerado por precipitações (TUCCI, 2000d), o coeficiente de escoamento superficial ou runoff – C, será obtido através da Equação (1).

Segundo Tucci (2000d), “O coeficiente de escoamento deve variar com a magnitude da precipitação, já que à medida que aumenta a precipitação, as perdas iniciais e a capacidade de infiltração são atendidas, desta forma, o escoamento superficial aumenta o que resulta num maior coeficiente de escoamento”. Estudos realizados por Silveira (1999 apud TUCCI, 2000d), Santos et al. (1993 apud TUCCI, 2000d), Dias e Tucci (1987 apud TUCCI, 2000d) e Germano (1998 apud TUCCI, 2000d), demonstraram que o coeficiente de escoamento pode ser relacionado linearmente com a quantidade de áreas impermeabilizadas (op cit.). Schueler (1987 apud TUCCI, 2000d), obteve relação parecida com o estudo de 44 bacias urbanas americanas. Além disso, Campana e Tucci (1994), também relacionaram o coeficiente de escoamento com a densidade habitacional - DH, utilizando dados de Curitiba, São Paulo e Porto Alegre.

É sabido que o com o auxílio de SR, através de classificação de imagens de alta resolução, é possível a identificação quanto de áreas permeáveis, como vegetação baixa, média e alta, solo exposto, etc. tanto a de áreas impermeabilizadas como concreto, asfalto, telhado, etc.

Uma vez identificadas e quantificadas essas características em bacias hidrográficas urbanas, pode se determinar um valor mais real do coeficiente de escoamento – C e dele se utilizar em programas de suporte a decisão que necessitem desse parâmetro.

Este trabalho visa estimar faixas de valores do coeficiente de escoamento superficial ou de “runoff - C”, por meio de ferramentas de geoprocessamento, para uma área de intensa urbanização pertencente à Bacia do Córrego Botafogo na cidade de Goiânia.

Permitirá também, a obtenção de valores de “C” mais precisos e que reflitam melhor o atual estado de antropização da bacia estudada.

A micro-bacia hidrográfica destinada ao estudo é a do Córrego Botafogo em decorrência da alta densidade populacional e da grande ocupação dos seus lotes.

Dentro desta bacia delimitou-se uma sub-bacia compreendendo partes dos Setores Sul, Oeste e Marista, numa área total de aproximadamente 188 ha na Tabela 5.5, obtida com o auxílio de ferramentas de CAD.

Foi realizada com o auxílio do software ArcView 3.2, através da extensão HEC-GeoHMS – desenvolvida pelo Hydrologic Engineering Center dos E.U.A, a delimitação automática da mesma bacia que servirá para os estudos posteriores, Figura 5.16.

Tabela 5.5: Valores das áreas de estudo

Área	Bairro	Superfície (ha)
1	Setor Sul	92
2	Setor Oeste	16
3	Setor Marista	80
Total		188

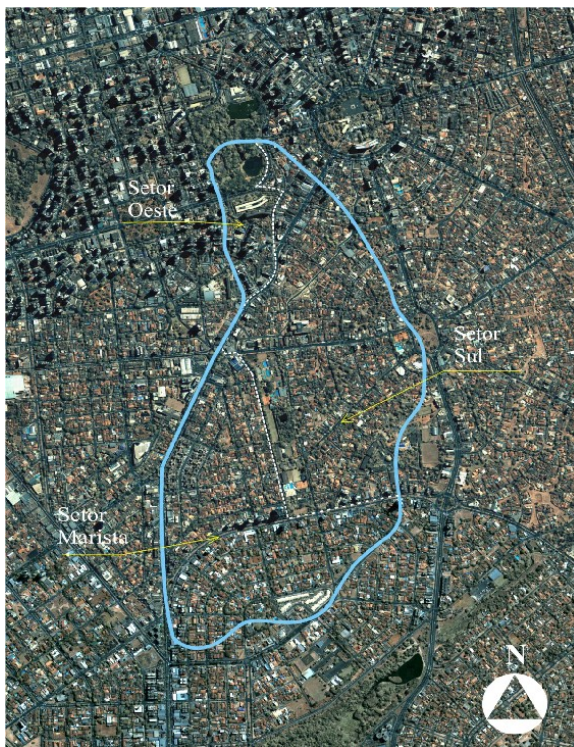


Figura 5.15: Bacia delimitada manualmente

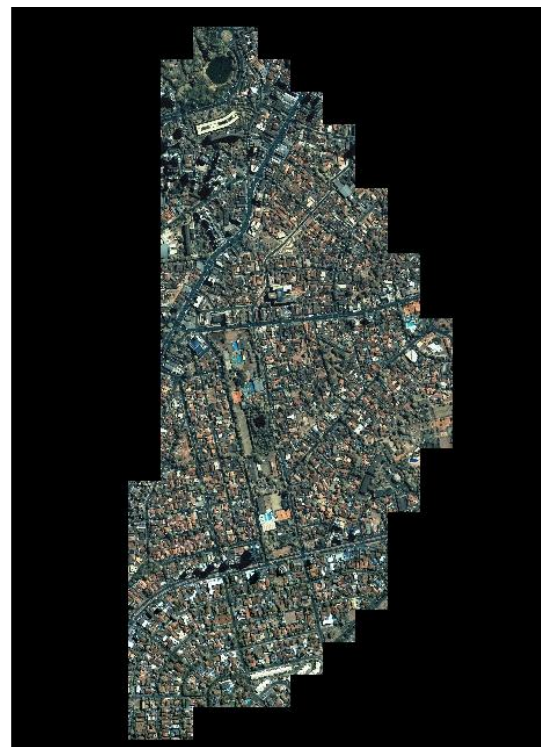


Figura 5.16: Bacia delimitada com auxílio do HEC-GeoHMS

Como pode ser notado, houve uma proximidade grande entre a delimitação da bacia pelo método tradicional e pelo HEC-GeoHMS, Figuras 5.15 e 5.16.

Em ambas as delimitações utilizou-se o Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia, MUBDG, com curvas de nível, de 5 em 5 metros, disponibilizado pela Prefeitura de Goiânia através da Companhia de Processamento de Dados do Município, COMDATA.

Após a delimitação da bacia pelo HEC-GeoHMS, foi utilizado o software ENVI 4.1 para o recorte da imagem, através de aplicação de máscara em cima da imagem QuickBird de 2001, obtida junto ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento, LAPIG, da Universidade Federal de Goiás.

Após o recorte da imagem, foi gerado um banco de dados geográficos no Spring para a realização da classificação. As principais classes obtidas foram: Vegetação Baixa, Vegetação Alta, Asfalto, Área Urbana, Área de Concreto, Área de Telhado, Solo Exposto, Água e Sombra. A classificação obtida está representada na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Áreas obtidas com auxílio do HEC-GeoHMS

Classe	Área (ha)
Vegetação Baixa	9
Vegetação Alta	40
Asfalto	12
Área Urbana	31
Área de Concreto	13
Área de Telhado	25
Solo Exposto	8
Água	1
Sombra	6
Não Classificada	42
Total	189

Da área total de 189 ha, cerca de 42,2 ha não foram classificados, uma vez que foi utilizado o algoritmo de classificação MAXVER com limiar de aceitação 99%, que gerou essa área não classificada, correspondente a 22,3% área total.

Mesmo assim, houve interferência entre as amostras, principalmente entre Solo Exposto com Área de Telhado e Asfalto com Vegetação Alta, conforme Figuras 5.17 e 5.18, que ilustram a região do Clube de Engenharia de Goiás.



Legenda:

	Asfalto
	Não Classificada
	Água
	Telhado
	Concreto
	Solo Exposto
	Vegetação Alta
	Vegetação Baixa

Figura 5.17: Composição RGB Clube de Engenharia

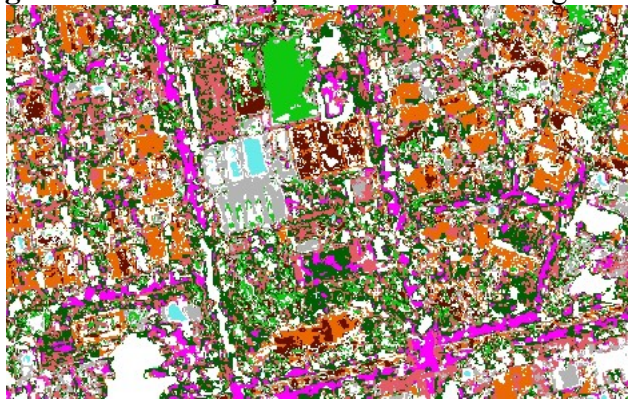


Figura 5.18: Classificação Clube de Engenharia

Paralelamente à execução da classificação da imagem, realizou-se uma caracterização dos setores envolvidos no estudo para verificação in-loco das áreas verdes existentes. Com relação ao Setor Oeste, cuja área é a menor entre os três, o mesmo abrange a mata nativa pertencente ao Bosque dos Buritis. Entretanto, conforme observado na Figura 5.19, uma grande ocorrência da classe Vegetação Alta na realidade corresponde a uma área impermeabilizada, uma vez que o caule encontra-se confinado nas calçadas e apesar do dossel se mostrar imponente, na realidade toda área está confinada no calçamento.



Figura 5.19: Área classificada indevidamente como Vegetação Alta

Em relação ao Setor Sul, apesar de possuir inúmeras praças com extensas áreas verdes, há de se destacar que o setor é composto de vias de intenso tráfego, bastante impactado pela urbanização.

No Setor Marista há uma grande quantidade de áreas verdes, com preservação de áreas de recarga, refletindo maior nível de conscientização por parte dos moradores em relação à impermeabilização das áreas de fachadas dos seus lotes. Contudo, também pôde ser observado, a presença de árvores confinadas em calçamentos como nos outros setores.

Cerca de 50% dos casos verificados in-loco foram encontrados nessa situação, mostrando que a área de vegetação alta deve ser corrigida nesse fator, para realmente demonstrar a situação real das áreas impermeabilizadas na região de estudo.

Para o cálculo de C, foi utilizada a Equação (1).

Considerou-se como área permeável: Vegetação Baixa, Vegetação Alta e Solo Exposto e como área impermeabilizada: Asfalto, Área urbana, Área de Concreto e Área de Telhado. As classes Água e Sombra foram desprezadas do cálculo de C, por corresponderem a perdas de informação, sendo a primeira em análise mais contundente área impermeabilizada uma vez que na grande maioria das vezes encontra-se confinada em piscinas.

Conforme citado acima, em cerca de 50% dos locais visitados aleatoriamente, há ocorrência de Vegetação Alta, que corresponde de fato a área impermeabilizada. Sendo necessária então, a correção dessa classe pelo fator acima mencionado, acrescentando-se o excedente à classe Concreto, uma vez que as impermeabilizações são realizadas com esse

material.

As Tabelas 5.7 e 5.8 demonstram os resultados obtidos para os valores do coeficiente “C”, utilizando-se as Tabelas Tucci (2000d) e Wilken (1978), corrigidos pelo resultado da classificação obtida.

Tabela 5.7: Classificação para cálculo de C

Classe	Áreas (ha)	%	C		
			Mínimo	Médio	Máximo
Vegetação Baixa	9	6,4%	0,05	0,08	0,10
Vegetação Alta	40	28,9%	0,05	0,13	0,20
Solo Exposto	8	5,6%	0,05	0,13	0,20
Área Urbana	31	22,7%	0,75	0,80	0,85
Área de Concreto	13	9,5%	0,80	0,88	0,95
Área de Telhado	25	17,9%	0,75	0,85	0,95
Asfalto	12	9,0%	0,70	0,83	0,95
Total de áreas	139	100,0%	0,46	0,54	0,61

Tabela 5.8: Classificação para cálculo de C com correção

Classe	Áreas (ha)	%	C		
			Mínimo	Médio	Máximo
Vegetação Baixa	9	6,4%	0,05	0,08	0,10
Vegetação Alta	20	14,5%	0,05	0,13	0,20
Solo Exposto	8	5,6%	0,05	0,13	0,20
Área Urbana	31	22,7%	0,75	0,80	0,85
Área de Concreto	33	23,9%	0,80	0,88	0,95
Área de Telhado	25	17,9%	0,75	0,85	0,95
Asfalto	12	9,0%	0,70	0,83	0,95
Total de áreas	139	100,0%	0,57	0,65	0,72

Outras classes, como asfalto, também poderiam ser corrigidas, uma vez que há levantamentos disponíveis bem mais precisos para esse tipo de pavimento.

Por meio dos resultados obtidos pôde-se constatar que as ferramentas de geoprocessamento com o uso de imagens obtidas por sensoriamento remoto podem ser utilizadas no auxílio de caracterização de índices físicos de bacias, como o coeficiente de escoamento superficial “C”. Sua importância é ampliada quando da análise, por exemplo, de áreas já urbanizadas como a área abordada neste estudo, servindo como ferramenta para verificar a capacidade da rede coletora de águas pluviais existentes.

Os valores encontrados através da metodologia empregada para o coeficiente “C” demonstraram ser superiores àqueles adotados pela Prefeitura Municipal de Goiânia, que utiliza o valor correspondente a 0.50, conforme consulta ao órgão.

Deve-se ressaltar que há problemas quanto a classificação por meio de classes usando o Spring e a imagem de alta resolução QuickBird. Apesar da delimitação da micro-bacia não ter sido exatamente idêntica à obtida pelo procedimento usual, a utilização da extensão HEC-GeoHMS do ArcView 3.2 para a delimitação proposta, mostrou acurácia e forneceu valores das áreas e limites bem próximos daqueles obtidos pelo modo tradicional.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DE MICRO-BACIA URBANA

Uma vez de posse dos MDT's, utilizando o software ArcVIEW32 e a extensão HEC-GeoHMS, disponibilizada pelo Institute for Water Resources através do Hydrologic Engineering Center HEC USA, foi realizada a operação de delimitação automática da bacia do córrego Botafogo. O limite da seção de controle da área da bacia em estudo foi: Coordenadas UTM SAD69 -686.364,78 e -8.157.136,36 e geográficas $16^{\circ} 39' 39,4441''$ S de latitude e $49^{\circ} 15' 09,0363''$ W de longitude e 721 m de altitude. Em termos de vias urbanas, tem-se a confluência em diferentes níveis da Avenida Independência com a Marginal Botafogo, próximo ao setor central, Figuras 5.21 e 5.22.



Figura 5.20: Desmoronamento na Marginal Botafogo, Março de 2003

Fonte: Clayton (2007b)

A escolha do ponto da seção de controle, não se deu na foz do córrego Botafogo junto ao rio Meia-Ponte, devido ao fato de que no ano de 2004, a marginal transbordou exatamente nesse local, Figura 5.20, sendo relevante então os estudos visando disponibilizar as autoridades competentes, informações que venham a colaborar com intervenções no local e evitar problemas maiores.

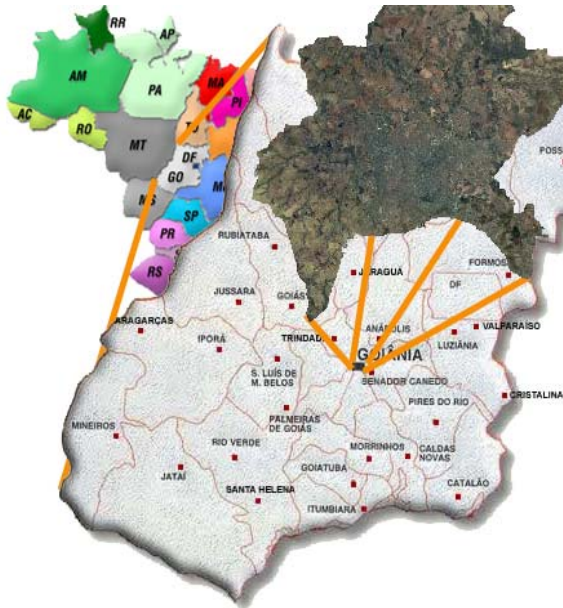


Figura 5.21: Avenida Independência c/ Marginal Botafogo



Figura 5.22: Avenida Independência c/ Marginal Botafogo

A primeira tentativa de delimitação automática da sub-bacia do Córrego Botafogo, foi com o MDT de 5 em 5 m, sendo que ao final do processo o resultado não foi o esperado. O GRID, imagem gerada através da interpolação das cotas do MDT, ficou com muitas falhas e o escoamento não ficou bem delimitado, sendo descartado. O MDT de 1 em 1 m gerou um GRID melhor e com menos falhas, sendo possível assim a utilização pelo ArcVIEW 3.2. Mesmo assim, as primeiras tentativas foram frustradas, pois além da correção das falhas através da mudança do MDT de 5 em 5 m para 1 em 1 m, ainda persistiam locais onde simplesmente o método desaparecia com o fluxo acumulado, por falhas entre as curvas de nível.

Foi necessário então, uma melhor análise do MDT de 1 em 1 m onde fora comprovado que existiam obstáculos, como rodovias, passagens, elevados, bueiros, pontes dentre outros, que impediam o fluxo de ser acumulado pelo método do HEC-GeoHMS, Figuras 5.23 e 5.24.

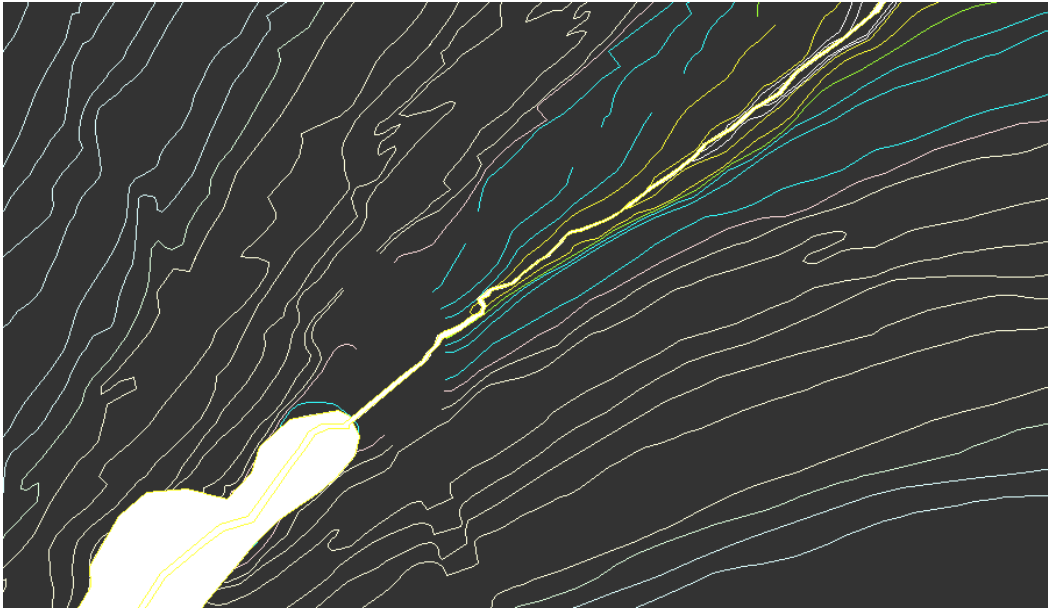


Figura 5.23: Curvas de nível com falhas, por causa de uma passagem de nível



Figura 5.24: Imagem demonstrando passagem de nível

Já com o diagnóstico de que o MDT continuava apresentando falhas, só restava encontrar meios de corrigir as falhas, utilizando aplicativos especialistas em arquivos ShapeFile, onde se localizavam as informações das coordenadas UTM e da Altimetria.

Foram então utilizados dois programas que foram: Arcv2CAD 3.2 e CAD2Shape 3.0. O primeiro realiza a operação de converter ShapeFile em DXF/DWG e o segundo vice-versa.

Uma vez convertidos os arquivos ShapeFile em DXF, foi então realizada a correção manual das cotas, somente da área em estudo, visando eliminar as obstruções existentes no caminho do fluxo e assim permitir que a delimitação automática da bacia do Córrego Botafogo fosse realizada com sucesso, conforme Figura 5.25.

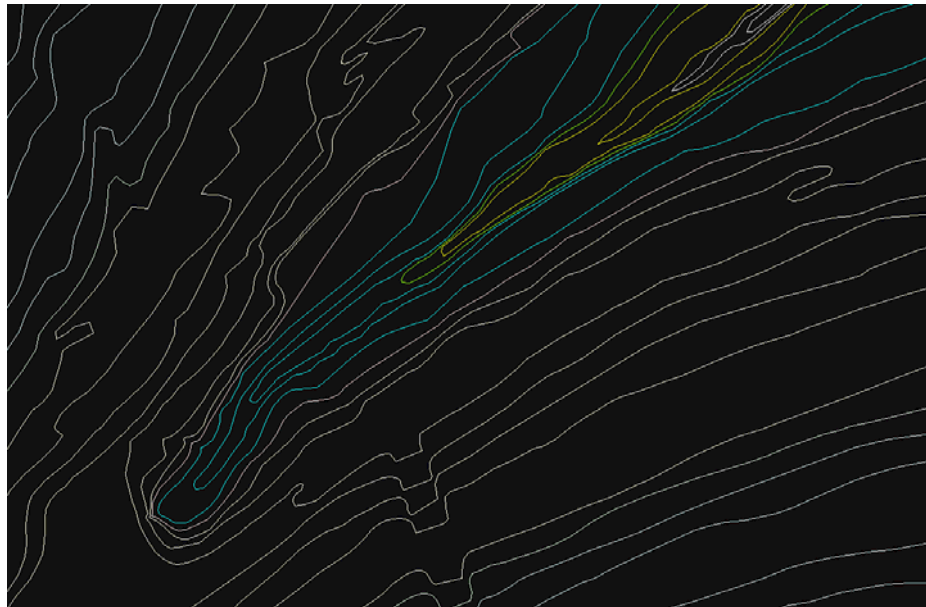


Figura 5.25: MDT com as devidas correções, passagem de nível

Realizando uma breve inspeção no MDT já carregado no SIG, foi constatado que realmente as imperfeições e obstáculos foram retirados. As curvas estavam realmente conectadas e prontas para serem utilizadas pela extensão HEC-GeoHMS, no sentido de gerar automaticamente a delimitação da bacia da área em estudo. Foi carregado então as views MDT de Goiânia com curvas de nível de 1 em 1m e da hidrografia, sendo selecionadas as curvas de nível mais próximas ao leito do córrego Botafogo, para a geração de um novo tema visando uma melhor performance do aplicativo, uma vez que não se desejava trabalhar com todas as curvas de nível disponíveis no MDT, conforme Figura 5.26.

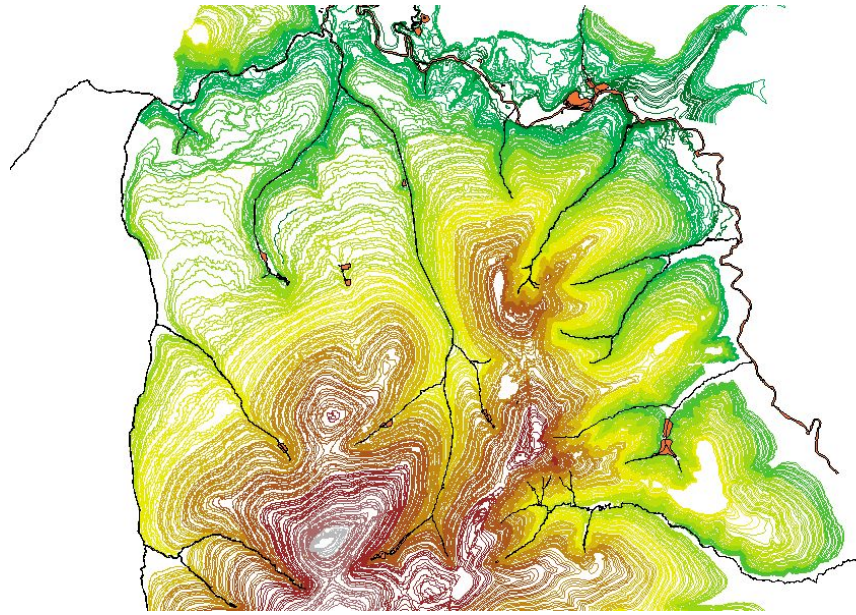


Figura 5.26: MDT Goiânia, curvas selecionadas e hidrografia

O Anexo C, trás o passo a passo de como se realizou a delimitação automática da sub-bacia do córrego Botafogo e todos os aplicativos envolvidos.

O ponto de saída da sub-bacia da área de estudo, a seção de controle, foi o entroncamento entre as vias Marginal Botafogo e Avenida Independência, na região centro-oriental de Goiânia, como descrito acima, Figura 5.27.



Figura 5.27: Delimitação do projeto com o Outlet

Finalizando, tem-se então a delimitação da sub-bacia em questão, conforme Figura 5.28.

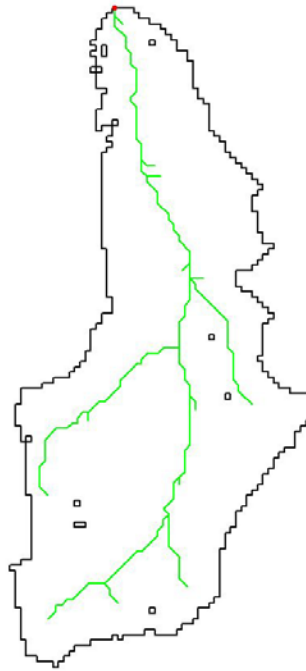


Figura 5.28: Delimitação automática da área de estudo

A delimitação automática gerou alguns pontos cegos, falta de informação, que foram pequenos quadrados que ora tinham um tamanho de um pixel ora de dois, mas somente. O que não comprometeu o resultado, mas que deva ser levado em conta em futuros trabalhos, que venham a aplicar a metodologia proposta, Figura 5.29.



Figura 5.29: Falha na geração do shapefile

A partir do projeto carregado, os menus Basin Processing, Basin Characteristics, Hydrologic Parameters e HMS do SIG, permitem ao usuário extrair várias informações da bacia, como comprimento e declividade do rio, centróide da bacia, caminho mais longo do fluxo, Método de Curve Number SCS da bacia, dentre outros. O menu HMS, prepara um grande número de informações para futuros estudos no programa HEC-HMS, Sistema de Modelação Hidrológica, que é um simulador processos de escoamento superficial em bacias hidrográficas do mesmo desenvolvedor da extensão HEC-GeoHMS.

De posse do arquivo vetorial, shapefile, com a delimitação da micro-bacia, foi então realizado o recorte da área de estudo através da aplicação de máscara em imagem de alta resolução, afim de que fosse realizada classificação. Tanto o programa utilizado, quanto a imagem do município de Goiânia, ENVI 4.1 e imagem QuickBird 2001 respectivamente, foram cedidos pelo LAPIG-IESA.

O processo para o recorte foi à criação de uma máscara, através do menu Basic Tools, Masking e Build Mask do ENVI 4.1. Para isso deve se primeiro carregar a imagem de Goiânia, que está em formato Mr.SID, Datum SAD69 e Zona 22 e carregar também o arquivo vetorial shapefile, com a delimitação da área da bacia. A máscara, linha azul na parte inferior esquerda da Figura 5.30, na verdade faz apenas um tamponamento nas demais informações que ficam ou fora ou dentro dela. Com isso, é possível então, realizar o recorte de imagem com apenas as informações que eram necessárias para a classificação no Spring.

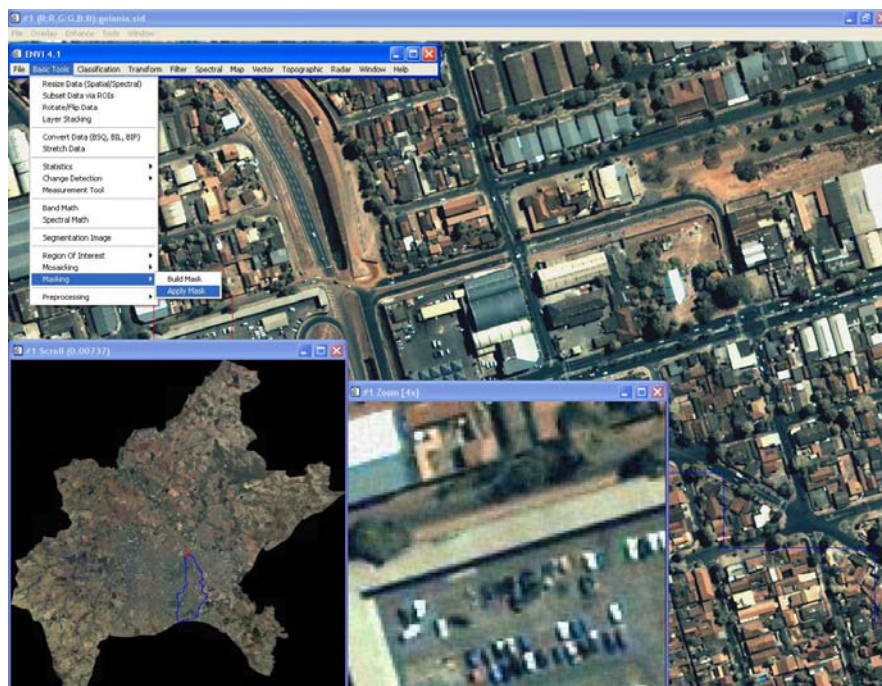


Figura 5.30: Tela do ENVI 4.1, com o menu Apply Mask ativo

Como mencionado, o programa escolhido para a classificação da imagem foi o Spring, que é disponibilizado pelo INPE gratuitamente e que é um excelente sistema de tratamento de imagens. O problema é que não consegue carregar imagem no formato Mr. SID. Mas para isso o ENVI 4.1, também é prático, pois é possível exportar imagens no formato RAW ou TIF, ambas compatíveis com o Spring. Nesse caso foi escolhido o formato TIF, afinal nesse formato, as informações já processadas como registro e georeferenciamento irão juntos.

Feito isso, foi então carregada à imagem já recortada no Spring, Figura 5.31. Como pode ser visto, as informações que estão fora da máscara, ficaram em cor preta, o que significa, ausência de informação e deverão ser retiradas das medidas de classe, posteriores a classificação, propriamente dita, Figura 5.32.



Figura 5.31: Imagem TIF recortada

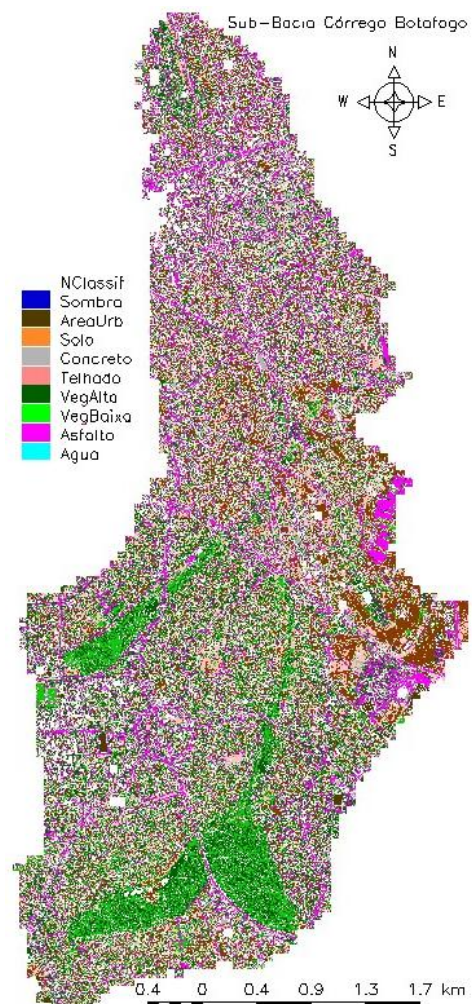


Figura 5.32: Imagem TIF classificada

A classificação realizada através do Spring, usou o método pixel-a-pixel e a rotina foi a MAXVER já implementada, com limiar de aceitação de 99%. As classes utilizadas na

classificação foram: Água, Asfalto, Vegetação Baixa, Vegetação Alta, Telhado, Concreto, Solo, Área Urbana, Sombra e Região Não Classificada. Essa última na intenção da retirada da área a ela atribuída na classificação. A matriz de erros de classificação está na Tabela 5.9, abaixo.

Tabela 5.9: Matriz de erros de classificação

Clas	VegB	VegA	Solo	Asfal	Telha	Concr	Água	Somb	AUrb	NClas	Abste	Soma
VegB	4358	303	48	0	0	4	0	0	0	0	48	4761
%	4,02	0,28	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	
VegA	173	462	0	104	0	0	0	0	0	0	2	741
%	0,16	0,43	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Solo	15	0	3231	1	1442	0	0	0	0	0	15	4704
%	0,01	0,00	2,98	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
Asfal	5	85	0	0	0	18	0	0	0	0	56	3537
%	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	
Telha	0	0	25	0	409	0	0	0	0	0	0	434
%	0,00	0,00	0,02	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Concr	3	0	363	0	0	9478	0	0	1668	0	205	11717
%	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	8,73	0,00	0,00	1,54	0,00	0,19	
Água	0	0	0	0	0	0	797	0	0	0	37	834
%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	0,03	
Somb	0	0	0	0	0	0	0	1672	0	0	12	1684
%	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,54	0,00	0,00	0,01	
AUrb	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	23
%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	
NClas		0	0	0	0	0	0	0	0	80080	0	80080
%	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,80	0,00	
Soma	4554	850	3667	3478	1851	9502	797	1672	1689	80080	375	108515

A classificação obteve como desempenho geral 95,70%, confusão média de 3,92% e abstenção média de 0,35%. Apesar de o método recomendar um grande número de pixels no treinamento, visando obter uma melhor média de representação nas classes durante a classificação, optou-se pela aquisição de amostras mais significativas, tentando evitar altos valores para a confusão média da classificação.

Como não poderia ser diferente, mesmo assim, ainda aconteceram os problemas corriqueiros em classificações de áreas amplamente antropizadas, conforme Figuras 5.33 e 5.34.



Figura 5.33: Zoom da imagem, praça Botafogo



Figura 5.34: Zoom da classificação, praça Botafogo

Uma vez realizada a classificação, a Tabela 5.10, mostra os valores obtidos para cada classe, após a realização da pós-classificação com peso 2 e limiar 5, visando melhorar a performance dos dados e o devido mapeamento das classes de treinamento com as classes do tema classificação, criadas anteriormente.

Tabela 5.10: Classificação das classes pelo Spring

Item	Classe	Área (Km ²)
1	Água	0,004
2	Asfalto	2,26
3	Vegetação Baixa	2,26
4	Vegetação Alta	2,47
5	Área de telhado	2,39
6	Área em concreto aparente	0,65
7	Solo exposto	2,30
8	Área Urbanizada	0,20
9	Sombra	0,18
10	Região não classificada	13,69
11	Área total das classes	26,41
12	Área total não classificada	3,40
13	Área total do plano de informação	29,81

Para o cálculo da área total da bacia, deve se retirar às regiões de pixels que ficaram sem informação, quando da delimitação automática da bacia. O levantamento do total dessas áreas foi realizada com o auxílio do programa AutoCAD e totalizaram 0,05 km². A fim de se encontrar a área total da bacia, é só retirar essas regiões sem informação que estão dentro da máscara, mas classificadas como Região não classificada da Área total do plano de informação, ou seja:

Área da bacia = Item 13 – (Item 10 – 0,05), logo:

Área da bacia = 29,81 - (13,69 - 0,05) = 16,17 km². Realizada a medição da área pelo programa ArcVIEW, foi encontrado o valor de 16,15 km².

A Tabela 5.11, mostra a quantidade de área impermeabilizada da área em estudo, considerando então as classes, Asfalto, Telhado, Área em Concreto Aparente e Área Urbana como áreas impermeabilizadas. A Área impermeabilizada em termos de percentagem é de 34,01% da área da bacia

Tabela 5.11: Áreas Impermeabilizadas

Item	Classe	Área (Km²)
1	Asfalto	2,26
2	Área de telhado	2,39
3	Área em concreto aparente	0,65
4	Área Urbanizada	0,20
5	Área Impermeabilizada	5,50

Visando a simulação no programa SSD ABC, Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas - ABC versão 6, do labsid, Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, foram obtidos alguns índices físicos da área de estudo, Tabela 5.12, ainda do pré-processamento do terreno, utilizando a extensão HEC-GeoHMS no ArcVIEW.

Tabela 5.12: Características da área de estudo

Índice	Característica	Valor
1	Área impermeável	34,01%
2	Comprimento do talvegue	9.051,6 m
3	Ponto de maior altimetria	847 m
4	Ponto de menor altimetria	721 m
5	Declividade média	16,5 m/km
6	Área total da bacia	16,17 km ²
7	Maior distância de fluxo	9.723,12 m
8	Ponto de maior altimetria, maior dist. de fluxo	867 m
9	Ponto de menor altimetria, maior dist. de fluxo	721 m

5.4 SIMULAÇÃO DE EVENTO HIDROLÓGICO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO

O Sistema de Suporte a Decisões e Análise de Bacias Complexas, ABC6, é um simulador de resposta a eventos hidrológicos para pequenas bacias. Utilizando modelos matemáticos, auxilia na obtenção de diversos cenários, visando auxiliar a tomada de decisões ao analisar processos hidrológicos e suas interações com o meio.

Visando a aplicação da metodologia proposta, os dados obtidos foram utilizados como subsídios a simulação do comportamento da bacia no sistema de suporte a decisões, o programa ABC6 do LabSid, e estão na Tabela 5.13. O Anexo D, trás o passo a passo de como os valores foram definidos dentro do ambiente do programa ABC6.

Tabela 5.13: Dados utilizados no programa ABC6

Índice	Característica	Valor
1	Área total da bacia	16,17 km ²
2	Área impermeável	34,01%
3	Tempo de concentração (Kirpich I)	1,77
4	CN (Médio) – Método SCS	79
5	Declividade média	16,5 m/km
6	Manning composto	0,025
7	Comprimento do canal	9.051,6 m

Após a simulação dos dados de entrada, conforme Anexo D, os valores encontrados, estão na Tabela 5.14 abaixo.

Tabela 5.14: Hidrograma de saída da seção de controle

Tempo (hh:mm)	Vazão (m³/s)	Tempo (hh:mm)	Vazão (m³/s)
00:30	0,004	04:30	12,849
01:00	11,993	05:00	7,267
01:30	57,512	05:30	4,155
02:00	98,369	06:00	2,389
02:30	96,304	06:30	1,371
03:00	68,22	07:00	0,75
03:30	40,599	07:30	0,267
04:00	22,712	08:00	0,06

O hidrograma de saída da seção de controle está no Gráfico 5.35.

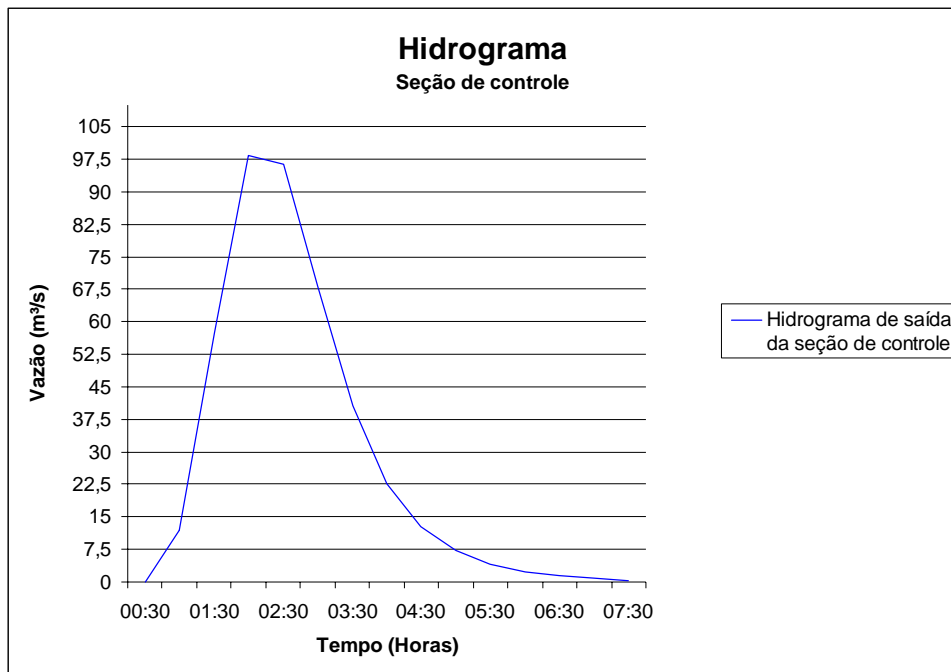


Gráfico 5.35: Hidrograma de saída da seção de controle

Levando-se em conta que a marginal na seção de controle tem a seção da Figura 5.36 com área de $34,4\text{m}^2$ e declividade no trecho de $3,04\text{cm/m}$, uma vazão entorno de $98\text{m}^3/\text{s}$ conforme hidrograma de saída calculado pelo ABC6, Gráfico 5.35, provocaria uma velocidade média do escoamento próximo ao fundo do canal de 2m/s , através da equação para canais livres de Manning, com coeficiente $n = 0,014$ (Canal de concreto em bom estado).

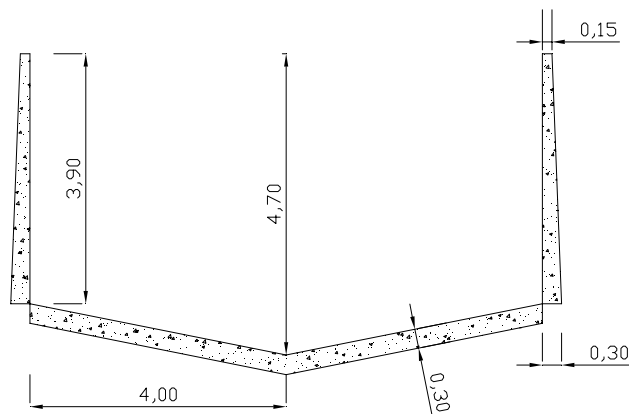


Figura 5.36: Seção do canal da Marginal Botafogo

A velocidade recomendada para esse tipo de revestimento do canal é de 4 a 6m/s , Tabela 5.15, logo aquém dos padrões e dentro de uma boa margem de segurança.

Tabela 5.15: Limites aconselháveis para a velocidade média em canais

Material da parede do canal	Velocidade recomendada (m/s)
Areia muito fina	0,23 - 0,30
Areia média/solta	0,30 - 0,46
Areia grossa	0,46 - 0,61
Terreno arenoso comum	0,61 - 0,76
Terreno silto-argiloso	0,76-0,84
Terreno de aluvião	0,84 - 0,91
Terreno argiloso compacto	0,91 - 1,14
Terreno argiloso, duro, solo cascalhento	1,22 - 1,52
Cascalho grosso, pedregulho, piçarra	1,52 - 1,83
Rochas sedimentares moles/xistos	1,83 - 2,44
Alvenaria	2,44 - 3,05
Rochas compactas	3,05 - 4,00
Concreto	4,00 - 6,00

Fonte: Pereira (2007)

Conforme pode ser observado nas figuras abaixo, realmente o canal da marginal Botafogo apresenta grande volume de escoamento a partir de precipitações comuns na capital, como à ocorrida em fevereiro de 2007, Figura 5.38. Em condições normais e tempo bom o canal apresenta um pequeno escoamento, Figura 5.37.



Figura 5.37: Seção do canal em dia normal



Figura 5.38: Seção do canal em dia chuvoso

Na região onde a capital se localiza, é comum precipitação de longa duração e com índices pluviométricos relativamente consideráveis, como pode ser observado nas Figuras 5.42, 5.43 e 5.44. No período de 17 a 31 de março de 2005, a quantidade de chuva acumulada foi de 189 mm em 14 dias. A de maior intensidade aconteceu em 23 de março de 2005 de 0:00 a 6:00 da manhã, Figura 5.42.



Figura 5.39: Marginal interdita
Fonte: Clayton (2007b)



Figura 5.40: Anhanguera interdita
Fonte: Clayton (2007a)

Posteriormente, foram registradas pela SMT de Goiânia, várias ocorrências de interdição de vias, visando à segurança dos usuários.



Figura 5.41: Av Milão interdita
Fonte: Clayton (2007c)

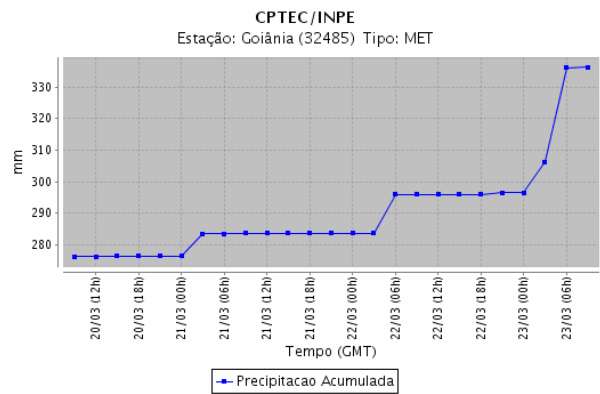


Figura 5.42: Precipitação de 20 a 23/03/2007
Fonte: CPTEC/INPE - PCD 32485

Em vários pontos da capital, houveram desmoronamentos, quedas de barreira e principalmente o transbordo na Marginal Botafogo, após a queda parcial da margem esquerda do canal, Figura 5.39

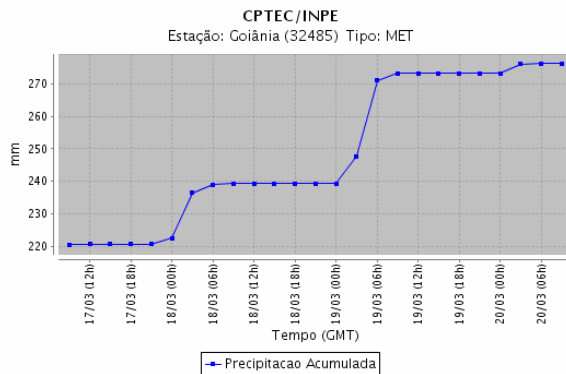


Figura 5.43: Precipitação de 17 a 20/03/2007
Fonte: CPTEC/INPE - PCD 32485

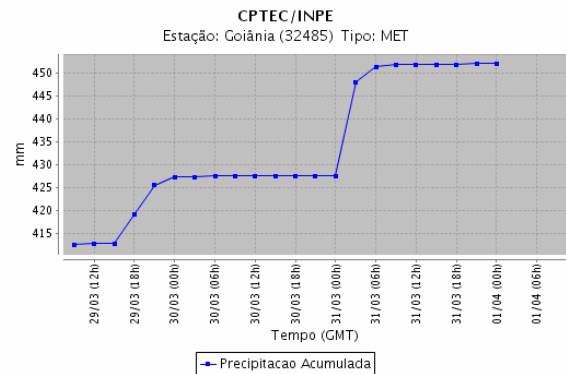


Figura 5.44: Precipitação de 29 a 31/03/2007
Fonte: CPTEC/INPE - PCD 32485

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa teve como propósito geral, avaliar e lidar a aplicação de metodologia de obtenção de índices físicos de caracterização de micro-bacias densamente urbanizadas, contando com o auxílio do sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento e imagens de alta resolução, para utilizá-los em modelos de simulação hidrológica.

Para tanto, foram utilizados programas de leitura, análise e tratamento de imagens de satélite, além de informações obtidas junto a entidades como universidades, órgãos públicos estaduais e municipais. As bases de informação, às vezes não eram compatíveis umas com as outras, sendo necessário o uso de aplicativos de apoio, no sentido de permitir a integração dos dados de forma a serem utilizados com maior eficiência.

Dentre os programas utilizados, podem ser citados as seguintes ferramentas de geoprocessamento: ENVI 4.1, ARCVIEW 3.2, HEC-GEOHMS, ARCGIS 9.1 e Spring.

Para a realização de operações de conversão de dados, visando à integração das informações para serem utilizadas pelos programas citados acima, foram utilizadas as seguintes ferramentas: Arcv2CAD e CAD2Shape. Além desses, os arquivos vetoriais no formato DXF, foram corrigidos através do AUTOCAD.

Finalizando, foi utilizado o Sistema de Suporte a Decisões e Análise de Bacias Complexas - ABC6, como simulador de respostas a eventos de precipitação para pequenas bacias, para realizar simulações com as informações obtidas com auxílio de sensoriamento remoto.

Com a aplicação da metodologia desenvolvida na área de estudo adotada, os resultados obtidos, mostraram que:

- Imagem de satélite de alta resolução espacial e espectral apresenta alto nível de detalhamento das várias assinaturas espectrais envolvidas, como solo, telhado, concreto, asfalto, vegetação, dentre outros.
- Existe certa confusão em assinaturas espectrais muito próximas como é o caso de solo exposto e telhado, além de asfalto e certos tipos de vegetação, ocasionando uma certa imprecisão que não chegou a comprometer os resultados. Com a obtenção do coeficiente de escoamento superficial por meio da metodologia desenvolvida, pôde se obter uma simulação mais real da micro-bacia urbana antropizada, e com isso possibilitar ganho na determinação do escoamento provocado em resposta a evento de

precipitação.

- É possível a obtenção de índices físicos de caracterização de micro-bacias antropizadas, por meio de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento, tais como: comprimento do talvegue, área da bacia, declividade média, áreas impermeabilizadas, dentre outras.
- O coeficiente de escoamento superficial, runoff, proposto por Tucci e Wilken pode ser obtido através da aplicação da metodologia. A utilização de coeficientes extraídos de tabelas, nem sempre retrata a realidade encontrada e cada micro-bacia tem sua peculiaridade, urbanização e formas de uso e ocupação de solo diferentes, mesmo dentro da mesma cidade.

Como a metodologia desenvolvida foi aplicada somente a uma pequena bacia no município de Goiânia, uma sub-bacia do córrego Botafogo, recomenda-se para futuras pesquisas:

- Aplicação da metodologia em outras bacias de Goiânia e de outros municípios.
- Utilização de imagens de diferentes resoluções como as imagens oriundas do satélite CBERS que podem ser obtidas gratuitamente através do INPE, ou até do Google Earth, que vem atualizando e aprimorando a qualidade de suas imagens desde o início dessa pesquisa.
- Utilização de outros métodos e algoritmos de classificação de imagens para testar a eficiência da classificação das áreas impermeabilizadas.
- Acompanhamento e monitoramento em campo do fluxo de escoamento de alguma seção do canal da marginal Botafogo, visando à validação dessa e de outras metodologias que venham a ser desenvolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, P.S., RIBEIRO, A.J., MONMONIER, M.S., CARVALHO, F.R. Projeção e Coordenadas. In: ANDERSON, P.S. (Orgs.). *Princípios de Cartografia Básica*. 1982.

ARNOLD, C. L. Jr. e GIBBONS, C. J. Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator. In: *Journal of the American Planning Association*, 62(2), 243-258, 1996.

CACELA FILHO F. C. O., SILVA A. P. S., BARP A. R. B., COSTA L. E. C. Modelagem da bacia hidrográfica urbana utilizando o Watershed Modeling System (WMS). In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 2007, INPE, p.3303-3310.

CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO A. M. V. *Introdução à ciência da geoinformação* INPE, São José dos Campos, 2001.

CAMPANA, N.A., TUCCI, C. E. M. Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas In: *Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Recursos Hídricos*, 12(2), 79-94, 1994.

CARREIRAS J. M. B., PEREIRA J. M. C., CAMPAGNOLO M.I L., SHIMABUKURO Yosio E.; Assessing the extend of agriculture/pasture and secondary sucesion forest in the Brazilian Legal Amazon using SPOT VEGETATION data in *Remote Sensing of Environment* p.283– 298, ed.101, 2006.

CLAYTON, Agente. Águas de março I - Interdição em um dos lados da maior avenida de goiânia Altura: 315 pixels. Largura: 480 pixels. 96 DPI. 24 BITS True Color. 33 kb. Formato JPEG. Compactado. Disponível em: <<http://www.agetrans.pop.com.br>>. Acesso em: 10 ago. 2007a às 17:00.

CLAYTON, Agente. Águas de março III - Interdição de meia pista de um dos lados da marginal botafogo Altura: 313 pixels. Largura: 476 pixels. 96 DPI. 24 BITS True Color. 42 kb. Formato JPEG. Compactado. Disponível em: <<http://www.agetrans.pop.com.br>>. Acesso em: 10 ago. 2007b às 17:00.

CLAYTON, Agente. Águas de março IV - Um trecho com meia pista interditada - avenida milhão no jardim europa Altura: 314 pixels. Largura: 480 pixels.96 DPI. 24 BITS True Color. 32 kb. Formato JPEG. Compactado. Disponível em: <<http://www.agetrans.pop.com.br>>. Acesso em: 10 ago. 2007c às 17:00.

CONCEIÇÃO, C.L. da; SOUZA, J.L.S. de. *Noções Básicas de coordenadas geográficas e cartografia*. Porto Alegre, 2000.

DUARTE, P.A. *Fundamentos de Cartografia*. DAUFSC, Florianópolis, 1994.

ESTEVEES, R. L. Quantificação das superfícies impermeáveis em áreas urbanas por meio de sensoriamento remoto. 2006. 120f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

FERNADES, S. C. Avaliação de imagens de satélite de alta e muito alta resolução espacial para a discriminação de classes de uso e ocupação do solo: aplicação ao caso da sub-bacia do córrego capão comprido no distrito federal. 2007. 124f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

FERREIRA JUNIOR, L. G. ; SILVA, E. T J. B. ; FERREIRA, M. E. ; FERREIRA, N. C. ; HUETE, A. A. ; SANO, E. E. Evaluation of Modis vegetation indices and change thresholds for the monitoring of the Brazilian Cerrado. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Anais, 2004.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA JUNIOR , L. G.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO Y. E. Spectral linear mixture modelling approaches for mapping the Brazilian Cerrado physiognomies (in press). In: International Journal of Remote Sensing, United Kingston, 2004.

GARCIA G. J., DELMAER A., MARCHETTI B. Princípio de fotogrametria e de foto interpretação Ed. Nobel, São Paulo, 1977.
<<http://www.cefetsc.edu.br/~geomensura/download/aerofotogrametria2.pdf>> Acesso em: 26 jun 2007 às 9:10.

GOIÂNIA. In: Wikipédia, A enciclopédia livre, 2006. Disponível em:
<<http://pt.wikipedia.org/wiki/Goi%C3%A2nia>>. Acesso em: 15 mai. 2006 às 16:30.

GOIÂNIA Hoje, História, Flor da modernidade. Disponível em:
<<http://www2.uol.com.br/goianiahoje/histo.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2006 às 16:50.

GUTHRIE, P. Guthrie CAD/GIS Software Pty Ltd, Disponível em:
<<http://www.guthcad.com/index.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2007 às 23:10.

HEC, Geospatial Hydrologic Modeling Extension - HEC-GeoHMS - User's Manual 1.1, 2003
Disponível em: <<http://www.hec.usace.army.mil>> Acesso em: 05 set. 2006 às 09:45

HUNG M., RIDD M. K. A subpixel classifier for urban landcover mapping based on a maximum-likelihood approach and expert system rules. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68(11), 1173-1180, 2002.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo, 1993. Rio de Janeiro, 1998. 3ª Edição. SE-22 Escala 1:1.000.000. Goiânia

IBGE. Introdução ao Processamento Digital de Imagens, Manuais técnicos em geociências – número 9. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2001. 94 p., Bibliografia: p. 27-28. ISBN 85-240-0762-1.

INSTITUTO GOIANO DE RADIOLOGIA, CONHEÇA GOIÂNIA: História, Disponível em: <http://www.igr.com.br/index_inner.php?target=gyn.htm> Acesso em: 05 jan. 2006 às 09:30.

LUEDELING E., SIEBERT S., BUERKERT A. Filling the voids in the SRTM elevation model - A TIN-based delta surface approach. In: Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 62, 283-294, 2007.

MELO I. D. F., CANDEIAS A. L. B., MENDES E. B. Mapeamento Sistemático: Software “Onde Estou?” In: Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 2003, INPE, p.341-347.

MORAES G. A., ARAUJO J. V. G. Geotecnologias Aplicadas ao Estudo dos Recursos Hídricos na Área Urbana de Goiânia. In: Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão da UFG - CONPEEX, 2., 2005, Goiânia. Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Científica [CD-ROM], Goiânia: UFG, 2005. n.p

MORAES G. A., ARAUJO J. V. G. Uso do Sensoriamento Remoto na Obtenção de Áreas Impermeabilizadas Através de Imagens de Alta e Baixa Resolução. In: I Simpósio de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro-Oeste, 2006a, Brasília, DF. n.p.

MORAES G. A., FERREIRA L. G., ARAUJO J. V. G. Análise da Área Impermeabilizada por Ação Antrópica, via Imagens CBERS e QuickBIRD: Uma Análise Comparativa . In: XVI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2006b, Goiânia , GO. n.p.

MORAES G. A., MENEZES FILHO, F. C. M., ARAUJO J. V. G., COSTA A. R. Estimativa do Coeficiente de Escoamento Superficial “C” Utilizando Sensoriamento Remoto em Imagem de Alta Resolução. In: 24 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006c, Belo Horizonte, MG, IX-024. n.p.

MORAES, Rodolpho Vilhena; FITZGIBBON, Kevin Theodore; WALTER, Fernando. O Sistema GPS. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.gpsglobal.com.br>> Acesso em: 30 jun. 2005 às 11:00 am.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 307 p., 28 cm. Bibliografia: p. 250-261. ISBN 85-7269-158-8.

MUBDG, Condata – Prefeitura Municipal de Goiânia. Disponível em: <<http://www.goiania.go.gov.br/html/comdata/mubdg.htm>> Acesso em: 04 mai. 2007a às 09:40.

MUBDG – Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S/A. Disponível em: <http://www.esteio.com.br/servicos/se_mubdg.htm> Acesso em: 04 mai. 2007b às 09:50.

NAMIKAWA, L. M. Um método de ajuste de superfície para grades triangulares considerando linhas características. (Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil, 1995.

OLIVEIRA A. F. A Reprodução do Espaço Urbano de Goiânia: Uma cidade para o capital. Goiânia: UEG. Disponível em:

<http://www.ippur.ufrj.br/observatorio/download/go_cid_cap.pdf> Acesso em: 04 mai. 2006 às 09:40.

OLIVEIRA C. P. M., PORTO R. L., ZAHED FILHO K., ROBERTO A. N. ABC6, Um Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Cheias em Bacias Complexas. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte, MG.

PAULSSON B.; Urban Applications of Satellite Remote Sensing and GIS Analysis.

Washington DC, USA: Urban Management Program p.60, ISBN 0-8213-2266-4, 1992.

Disponível em <<http://www.unhabitat.org/programmes/ump/documents/UMP9.pdf>> Acesso em: 24 abr 2006 às 16:40.

PEREIRA S. B. Hidráulica – Apostila 2007, Dourados, MS. Disponível em:

<<http://www.ufgd.edu.br/~sbueno/hidraulica.htm>> Acesso em: 10 out. 2007 às 13:50.

PHINN, S., STANFORD, M., SCARTH, P. Monitoring the composition of urban environments based on the vegetation – impervious surface – soil (VIS) model by subpixel analysis techniques. In: International Journal of Remote Sensing, 23(20), 4131-4153, 2002.

RABUS B., EINEDER M., ROTH A., BAMLER R. The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. In: Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 57, 241-262, 2003.

RAGAN, R. M. e JACKSON, T. J. Use of satellite data in urban hydrologic models. In: Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 101(HY12), 1469-1475, 1975.

SANO, E. E. , FERREIRA JR, L. G. ; HUETE, A. R. . Synthetic aperture radar (L-band) and optical vegetation indices por discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. Earth Interactions, Estados Unidos, v. 9, n. Paper no., p. 1-15, 2005.

SAWAYA Kali E., OLMANSON Leif G., HEINERT Nathan J., BREZONIK Patrick L., BAUER Marvin E.; Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery in Remote Sensing of Environment p.144–156, ed.88, 2003.

SHAO Y., LESLIE L. M., MUNRO R. K., IRANNEJAD P., LYONS W. F., MORISON R., SHORT D., WOOD M. S.; Soil Moisture Prediction over the Australian Continent. In: Meteorology, and Atmospheric Physics, p.195-215, ed.63, 1997.

SILVA A. J. P. A., GRIPP JÚNIOR J. SAD69 ou Córrego Alegre? Disponível em <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/Conea7/507.pdf>> Acesso em: 20 jun 2007 as 11:10.

SIQUEIRA, A. D. Metodologia de análise de dados cartográficos e de sensoriamento remoto no diagnóstico da preservação da cobertura vegetal em regiões montanhosas. 2000. 111f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos campos, 1999.

SMALL C.; Comparative analysis of urban reflectance and surface temperature in Remote Sensing of Environment p.168– 189, ed.104, 2006.

SOARES P. V., PEREIRA S. Y., SIMÕES S. J. C., BERNARDES G. P.; Aplicação do Conceito de Geoindicadores na Avaliação da Disponibilidade Hídrica em Bacias Hidrográficas – Uma Abordagem Introdutória. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos p.111– 117, vol.11, n.1, Jan/Mar, 2006.

SPRING, Manuais – Tutorial de Geoprocessamento, DPI – INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html> > Acesso em: 11 nov. 2005 às 15:50.

STEFANOV Willian L., RAMSEY Michael S., CHRISTENSEN Philip R.; Monitoring urban land cover change: An expert system approach to land cover classification of semiarid to arid urban centers in Remote Sensing of Environment p.173– 185, ed.77, 2001.

STERN D. Research Systems Inc.; Disponível em: <<http://www.ittvis.com/envi/>>. Acesso em: 15 jun. 2007 as 22:10.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. Inundações Urbanas na América do Sul. Ed.Universidade, GWP-WMO-ABRH, 2003. 471 p. Disponível em <<http://www.foroagua.org.py/livro%20inundacoes%20urbanas/>> Acesso em: 24 jun 2007 as 16:10.

TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M.L.M. Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000a. 558 p.

TUCCI, C.E.M. A necessidade do planejamento da drenagem urbana. In: Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000b. p. 499-501.

TUCCI, C.E.M. Avaliação e controle dos impactos ambientais decorrentes da urbanização: apresentação do projeto. In: Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000c. p. 15-21.

TUCCI, C.E.M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.1, p. 61-68, 2000d.

TUCCI, C,E,M. et al. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH/EDUSP, 1a Ed.1993, 2000e. 943p.

VAHTMAE E., KUTSER T., MARTIN G., KOTTA J.; Feasibility of hyperspectral remote sensing for mapping benthic macroalgal cover in turbid coastal waters - a Baltic Sea case study. In: Remote Sensing of Environment p.342– 351, ed.101, 2006.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 72 p. (INPE-10550-RPQ/756). Disponível na biblioteca digital URLib: sid.inpe.br/sergio/2004/06.30.10.57.

VALÉRIO FILHO, M.; KURKDJIAN, M. L. N. O.; PEREIRA, M. N.; ALVES, M.; Geotecnologias Aplicadas ao Estudo de Bacias Hidrográficas Urbanizadas Como Subsídios ao Plano Diretor de Drenagem In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3919-3926. CD-ROM. ISBN 85-17-00018-8.

WILKEN, P. S. Engenharia de Drenagem Superficial. São Paulo: CETESB, 1978, 477p.

YU Z., LAKHTAKIA M. N., YARNAL B., WHITE R. A., MILLER D. A., FRAKES B., BARRON E. J., DUFFY C., SCHWARTZ F. W.; Simulating the river-basin response to atmospheric forcing by linking a mesoscale meteorological model and hydrologic model system in Journal of Hydrology p.72–91, ed.218, 1999.

YUASA F. MUBDG Versão 21[mensagem pessoal] Mensagem recebida por <gunter_moraes@yahoo.com.br> 22 out 2007.

ZIMBACK C.R.L. Cartografia. São Paulo: FCA-UNESP, 2003, 22p

ANEXOS

ANEXO A – PROCEDIMENTO PARA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIA

ANEXO B – MÉTODO DO SCS CURVE NUMBER

ANEXO C – APLICAÇÃO DE DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DA SUB-BACIA DO
CÓRREGO BOTAFOGO

ANEXO D – SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO
BOTAFOGO

ANEXO A – PROCEDIMENTO PARA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIA

ANEXO A – PROCEDIMENTO PARA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIA

O pré-processamento do terreno, ou seja a obtenção da área de estudo via delimitação automática, pode ser realizado de duas formas com a HEC-GeoHMS: A primeira é passo a passo, descrita abaixo, e a segunda é via processamento batch, isto é, em segundo plano. A vantagem de se realizar o pré-processamento passo a passo, é a visualização dos GRID's resultantes e possível correção de erros encontrados, de forma a melhorar a delimitação, situação comum de acontecer, principalmente com DEM's de baixa qualidade e com falhas.

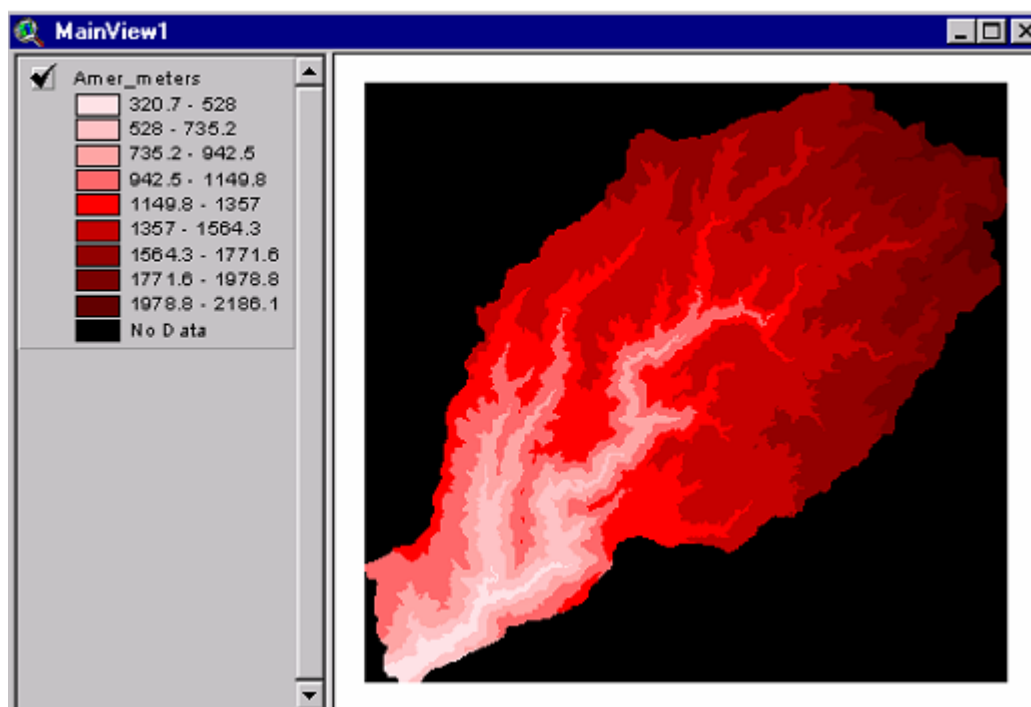


Figura A.1: DEM
Fonte: HEC (2003)

Uma forma de contornar os buracos ou falhas no DEM, Figura A.1, é com a utilização da ferramenta, Fill Sinks, localizada no menu Terrain Preprocessing. Para ativar o uso da ferramenta, a janela Main View do ArcVIEW deve estar ativa também. Após carregar o DEM, na janela ativa, acessar o menu Terrain Preprocessing, menu base de todas as ferramentas descritas abaixo, e entrar com o nome do arquivo onde se encontra o DEM. Por padrão, o nome do GRID resultante é chamado de FillGrid, conforme Figura A.2.



Figura A.2: Formulário de preenchimento de vazios – FillSinks
Fonte: HEC (2003)

O resultado dessa operação pode ser visualizado ao carregar e ativar o GRID resultante, FillGrid, na janela do ArcVIEW, conforme Figura A.3.

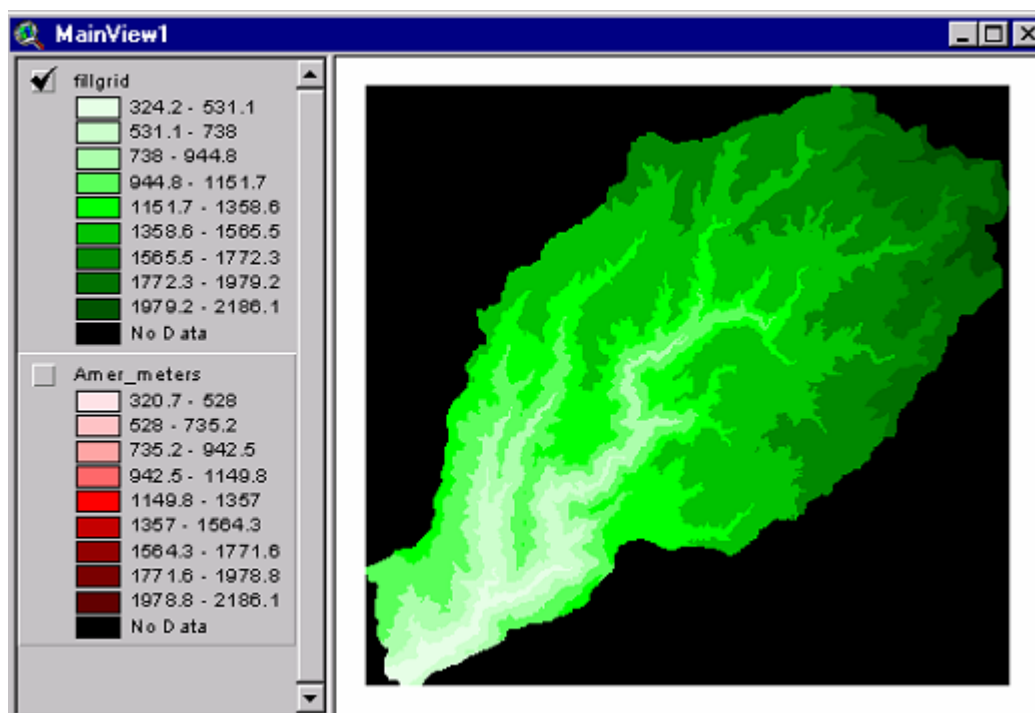


Figura A.3: GRID resultante do preenchimento de vazios – FillSinks
Fonte: HEC (2003)

Essa operação, não é obrigatória. Vai ficar a critério do usuário realizá-la.

De posse do novo GRID, já com o preenchimento dos vazios descritos anteriormente, o próximo passo, será o processamento da direção de fluxo. Essa operação define a direção do excesso de fluxo cada célula do terreno, Figura A.4. Em função da posição

no DEM, par cada célula do terreno será atribuída uma direção de fluxo, sendo: 1 leste, 2 sudeste, 4 sul, 8 sudoeste, 16 oeste, 32 noroeste, 64 norte e 128 nordeste.

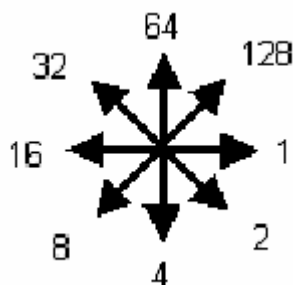


Figura A.4: Posicionamento da direção de escoamento
Fonte: HEC (2003)

Basta agora selecionar o GRID para que seja processada a direção dos fluxos, conforme Figura A.5.



Figura A.5: Formulário de direção de escoamento
Fonte: HEC (2003)

O resultado, Figura A.6, é um GRID onde se nota claramente todas as possíveis direções do fluxo e para onde deverão correr dentro de suas micro-bacias.

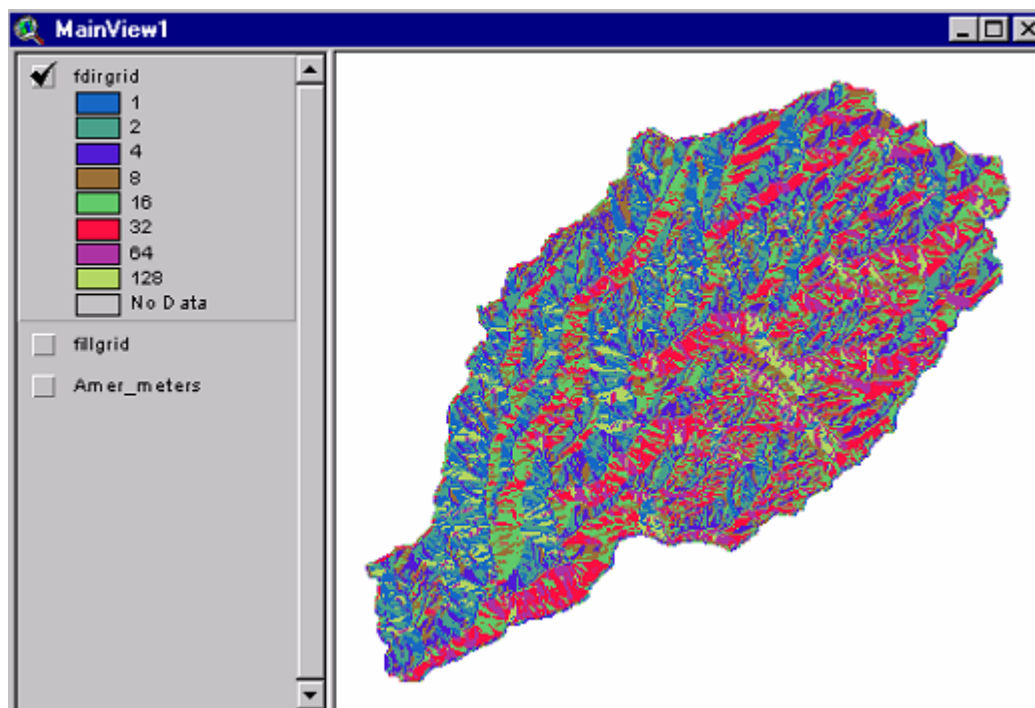


Figura A.6: GRID resultante da direção dos fluxos – FlowDirection
Fonte: HEC (2003)

Após, a próxima etapa será então acumular esses fluxos em células. Para esse cálculo, será determinado quantas células, acima da calculada, estão contribuindo com fluxo para ela. A área de drenagem, pode ser obtida através da multiplicação do valor acumulado do fluxo, pela área da célula. Para realizar esse processo, novamente deve-se selecionar o GRID para a operação e o nome do GRID resultante, conforme Figura A.7.

Figura A.7: Formulário de acumulação de escoamento
Fonte: HEC (2003)

O resultado, é um GRID no qual já é possível visualizar os contornos dos possíveis leitos de rios, Figura A.8.

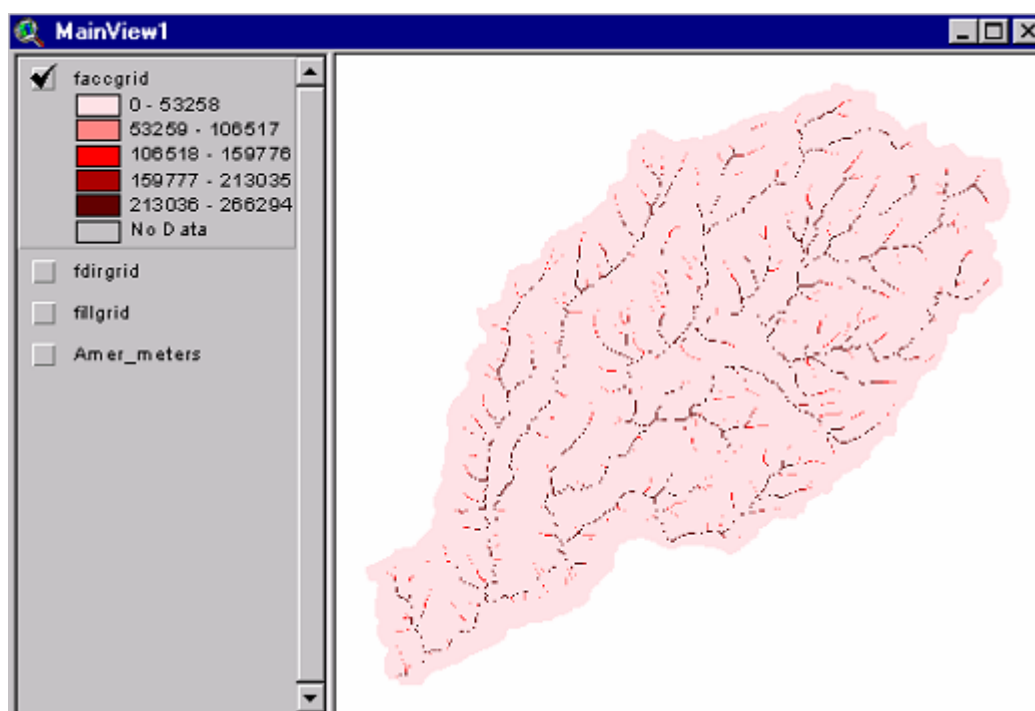


Figura A.8: GRID resultante da acumulação de fluxos – FlowAccumulation
Fonte: HEC (2003)

Uma vez calculada a área de drenagem das células, é hora de definir quem é curso de rio, quem é contribuinte. Essa simulação é realizada, através da classificação da área de drenagem das células maior que um limiar, definido pelo usuário, que pode ser área ou número de células. Por padrão, a extensão utiliza o percentual de 1% da área total. Para que essa operação ocorra, a HEC-GeoHMS necessita da definição de algumas propriedades da view, como Map Units e Distance Units, ambas disponíveis no menu View – Properties, Figura A.9.

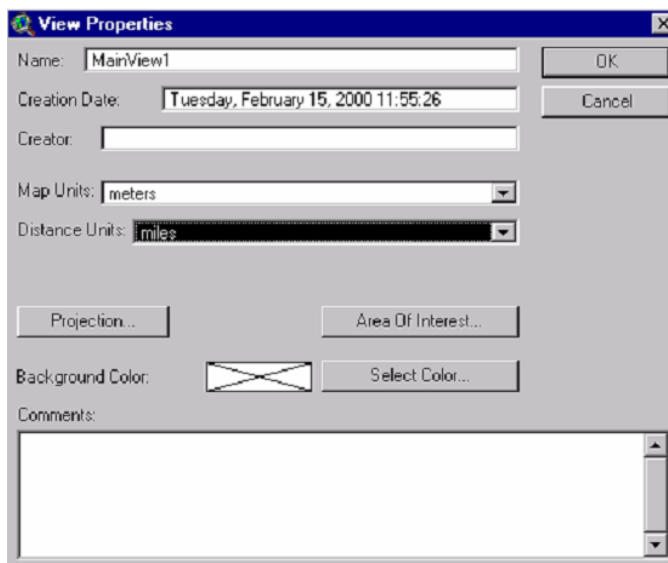


Figura A.9: Formulário de propriedades da view
Fonte: HEC (2003)

Sem essas definições, surgirá sempre que for tentada a operação de definição do rio, Stream Definition. Mas, atendidas as exigências, é hora de realizar o processamento, onde se deve entrar o nome do GRID que foi gerado pelo passo anterior e o nome do novo GRID, com os cálculos já efetuados, Figura A.10

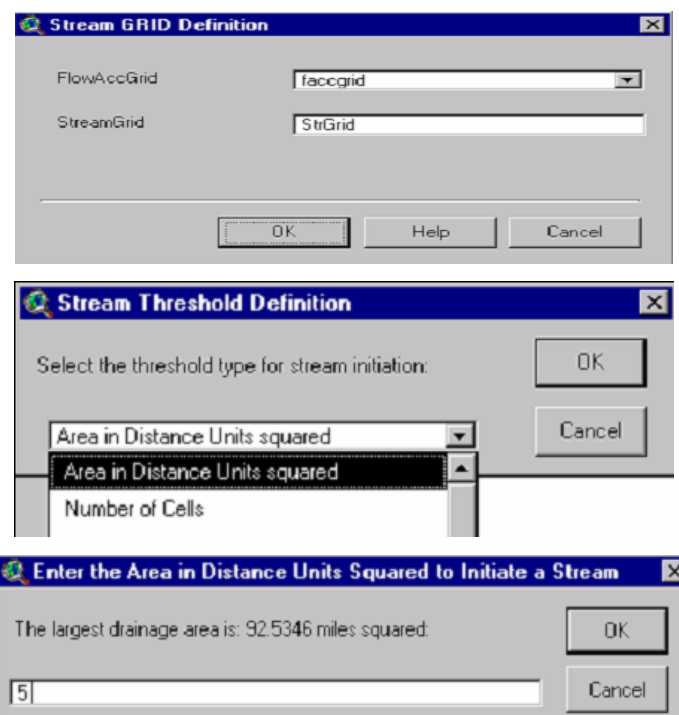


Figura A.10: Formulários de definição de escoamento – Stream
Fonte: HEC (2003)

Novamente, o resultado é um novo GRID, onde a cada célula é atribuído o valor de Na geração do Stream, No Data (0) ou 1, significa que ficaram fora ou dentro do limiar respectivamente, anteriormente informado pelo usuário, Figura A.11.

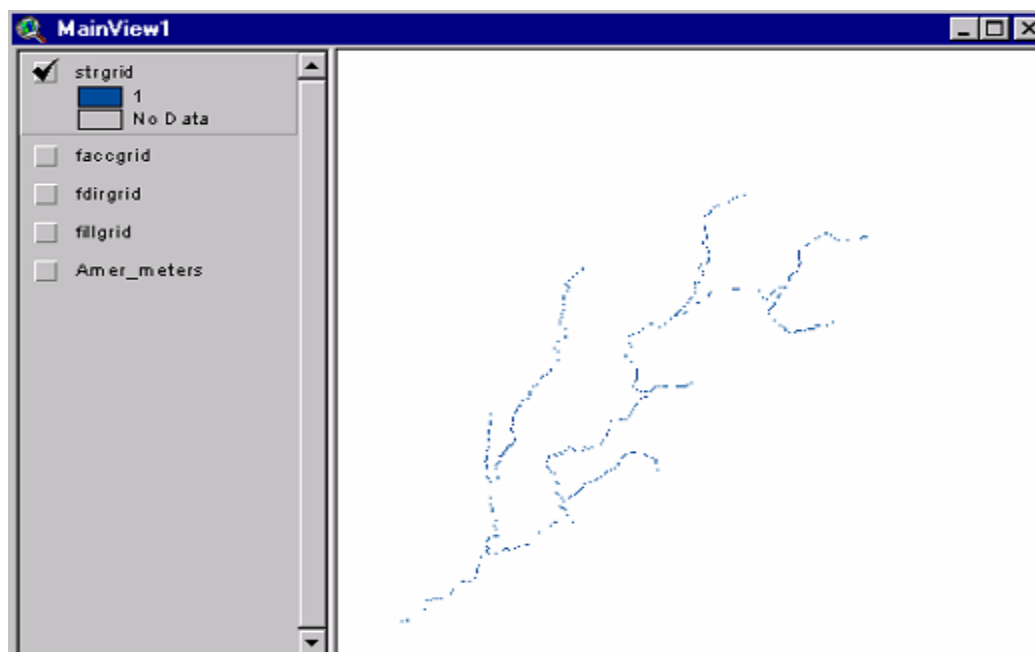


Figura A.11: GRID resultante de definição de escoamento – Stream
Fonte: HEC (2003)

O próximo passo separa o rio definido em segmentos. Para isso, deve ser selecionado o GRID gerado no passo anterior como entrada, além de se colocar também o GRID de acumulação e o nome do novo GRID como saída LinkGrid, conforme Figura A.12.



Figura A.12: Formulários de ligação do escoamento – LinkStream
Fonte: HEC (2003)

O novo GRID gerado, é a união de vários segmentos de rios, que podem ser

atribuídos como saídas, OutLets, ou simplesmente a junção de dois segmentos do rio, Figura A.13.

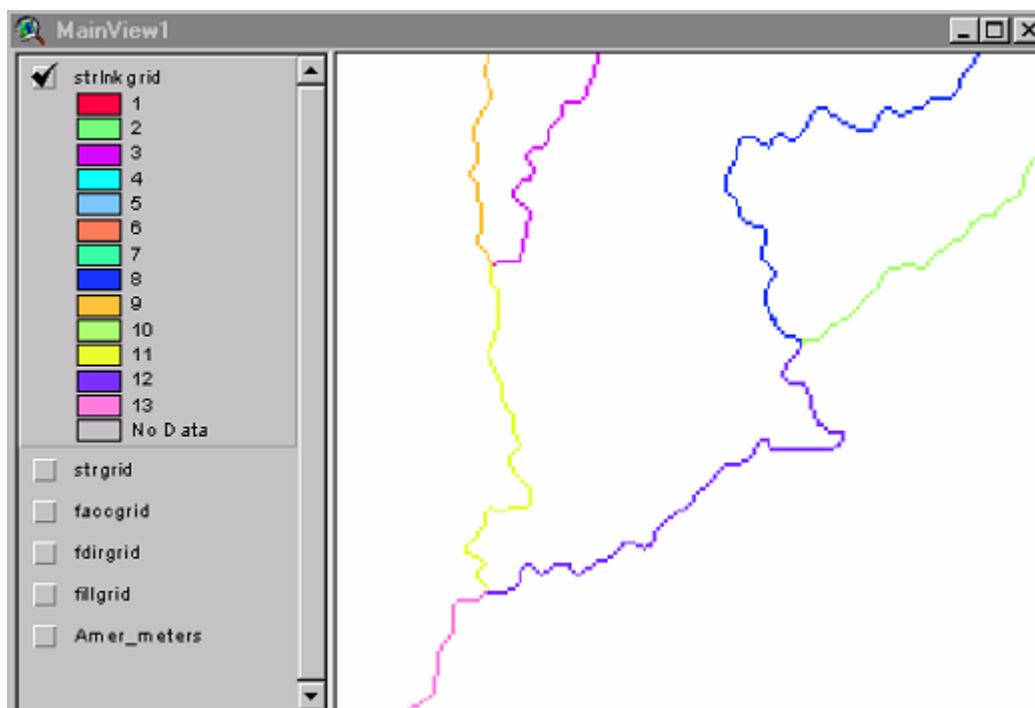


Figura A.13: GRID resultante da ligação dos escoamentos – StreamLink
Fonte: HEC (2003)

Com os segmentos do rio já processados, o próximo passo é a delimitação das sub-bacias a que pertencem. Para isso, deve-se ativar o comando Watershed Delineation, entrar com o GRID de direção de escoamento e também o de segmentação do rio e o nome do novo GRID, por padrão WShedGrid, Figura A.14.

Figura A.14: Formulário delimitação da bacia – WaterShed Deliniation
Fonte: HEC (2003)

Finalmente, já é possível a identificação das sub-bacias, Figura A.15.

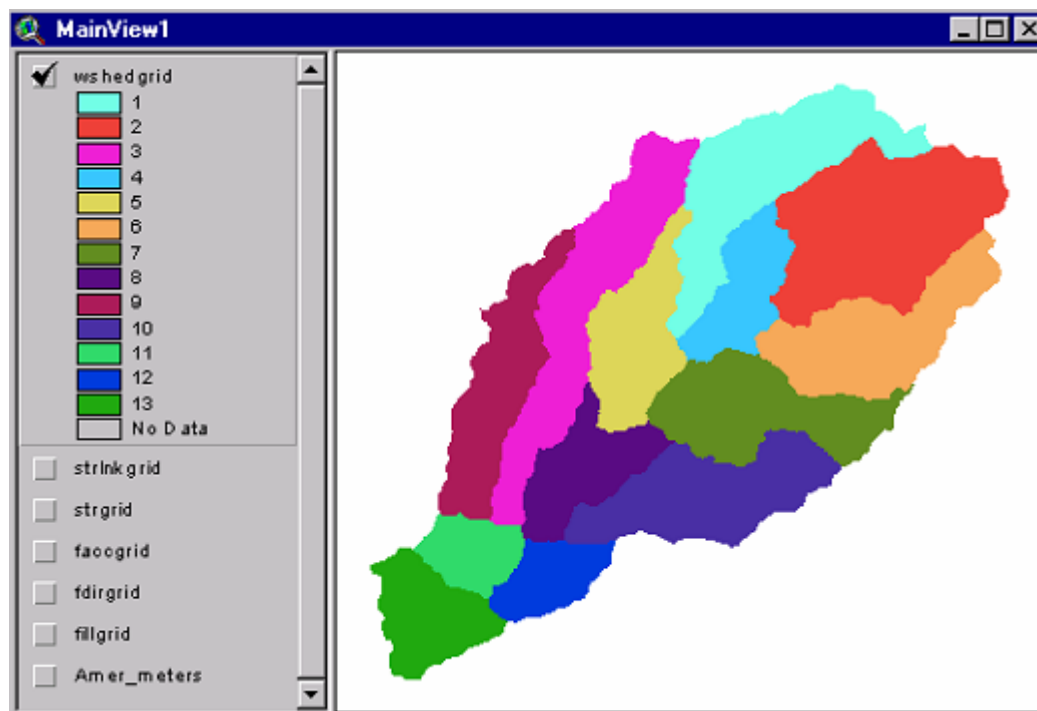


Figura A.15: GRID resultante da delimitação da bacia – WaterShed Deliniation
Fonte: HEC (2003)

Agora, será convertido o arquivo GRID, resultante da delimitação das sub-bacias, em arquivo vetorial, shapefile. Acessando o comando Watershed Polygon Processing, na janela de entrada de dados, Figura A.16, entrar com o GRID gerado e colocar o nome do arquivo vetor, formato shapefile.

Figura A.16: Formulário processamento dos polígonos da bacia – WaterShed Polygon
Fonte: HEC (2003)

O resultado pode ser visto na Figura A.17.

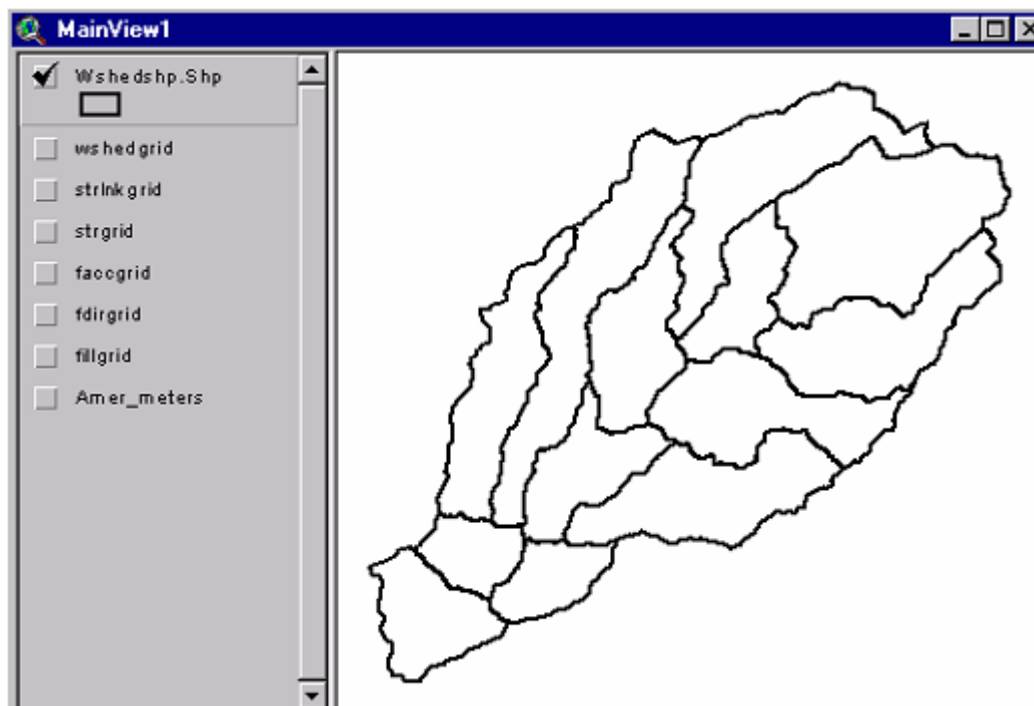


Figura A.17: GRID - processamento dos polígonos da bacia - WaterShed Polygon
Fonte: HEC (2003)

Como o GRID de delimitação foram então convertidos para arquivo vetorial, o mesmo processo deve ser realizado como o GRID com os segmentos do rio. Para essa operação, acessar o comando Stream Segment Processing, entrar com os nomes dos GRID's de segmentos do rio e o de direção do escoamento, Figura A.18, e inserir o nome do arquivo shapefile que por padrão é River.

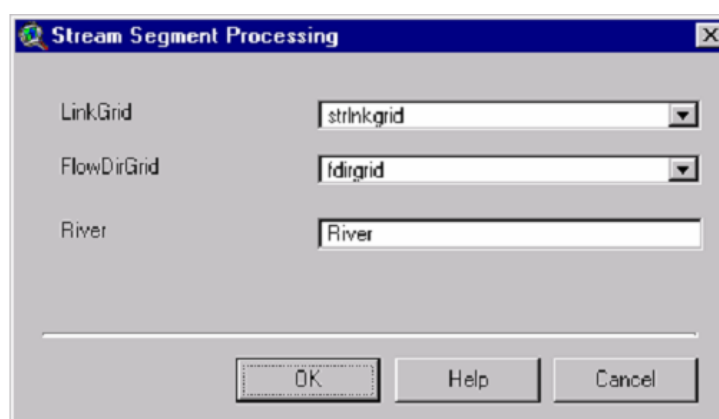


Figura A.18: Formulário processamento dos segmentos do escoamento – Stream Segment
Fonte: HEC (2003)

O resultado pode ser conferido na Figura A.19, abaixo.

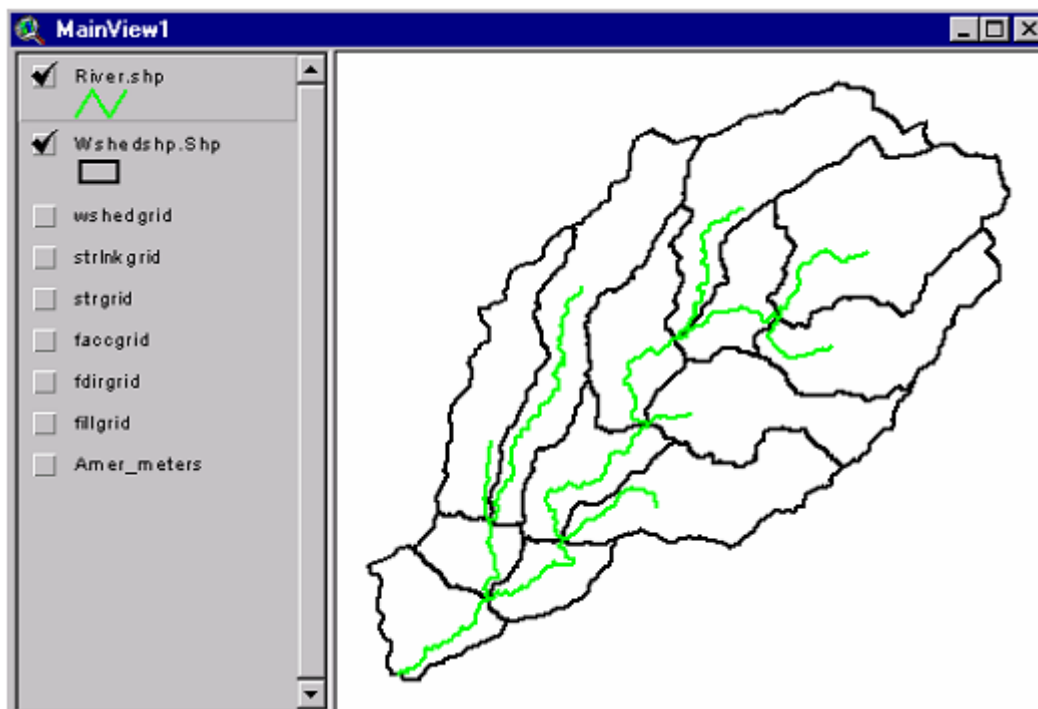


Figura A.19: GRID - Processamento dos segmentos do escoamento - Stream Segment
Fonte: HEC (2003)

Como pode ser percebido, o arquivo vetorial que contém as sub-bacias e os segmentos do rio, precisam ser agregados, visando a delimitação de uma específica área de estudo. Para que isso ocorra, é necessário então realizar a operação de agregar as sub-bacias através da união das demais em uma só. O comando Watershed Aggregation, necessita dos arquivos vetoriais do rio e das sub-bacias, por padrão River.shp e Wshedshp.shp, além do nome do novo arquivo vetorial que irá agregar essas informações, Figura A.20.



Figura A.20: Formulário que une as micro-bacias – WaterShed Merge
Fonte: HEC (2003)

O resultado pode ser visto na Figura A.21, abaixo.

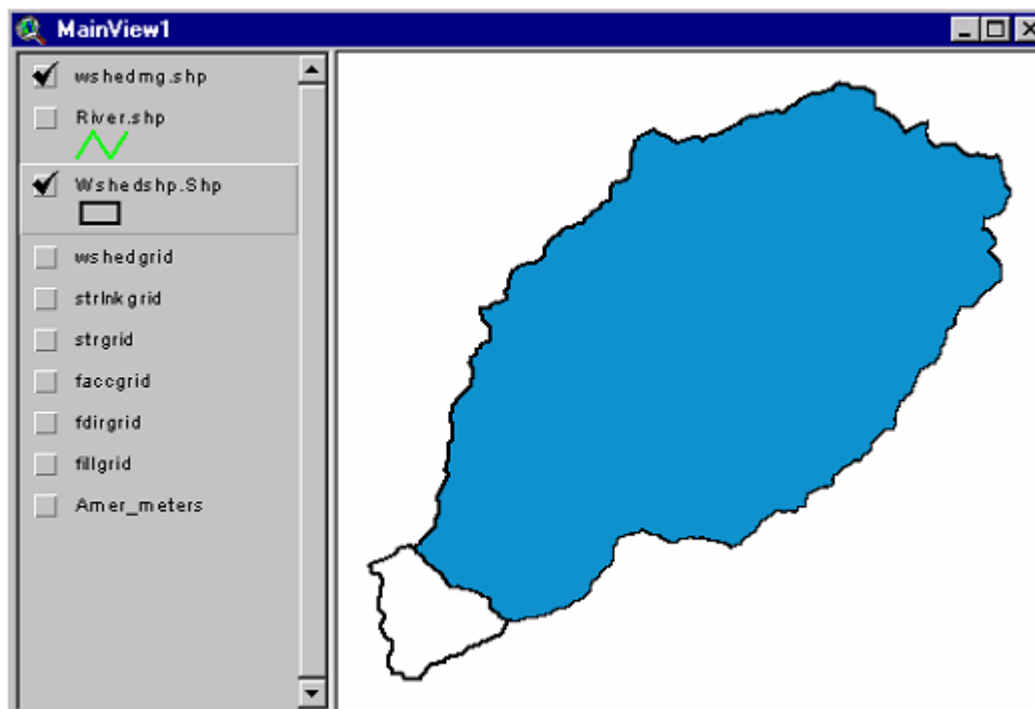


Figura A.21: GRID resultante da união das micro-bacias – WaterShed Merge
Fonte: HEC (2003)

Agora, visando a criação das áreas de estudo, há a necessidade de se criar os pontos de saída, OutLets. Esses pontos são efetivamente os locais de onde irão partir os projetos, visando a delimitação e conseqüentemente a extração de características físicas, como declividade média, comprimento do rio, etc. Para isso, pode se recorrer a outros arquivos, como shapefiles ou imagens, na identificação desses pontos importantes.

Essa operação finaliza o pré-processamento das informações e agora é partir para a geração da área de estudo.

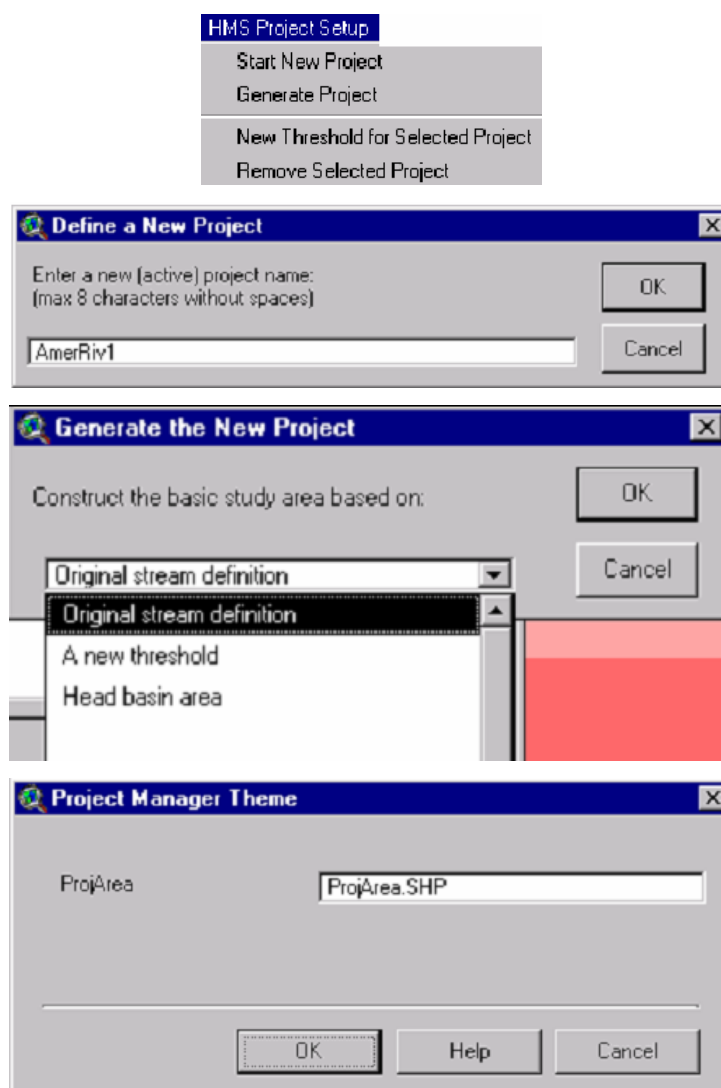


Figura A.22: Formulários de criação de novo projeto – Basic Study Area
Fonte: HEC (2003)

Há a necessidade agora da criação de um novo projeto, para isso, acessar o menu HMS Start New Project e entrar com o nome do projeto, como AmerRiver1. Após, deve ser gerado o novo projeto, acessando novamente o menu Project Setup e Generate Project e entrar com o nome do arquivo shapefile do projeto, como ProjArea.shp, sugerido conforme Figura A.22 acima.

Como exemplo, para a bacia estuda no pré-processamento, será gerada a delimitação automática da bacia, para o projeto B, o resultado pode ser conferido na Figura A.23 abaixo.

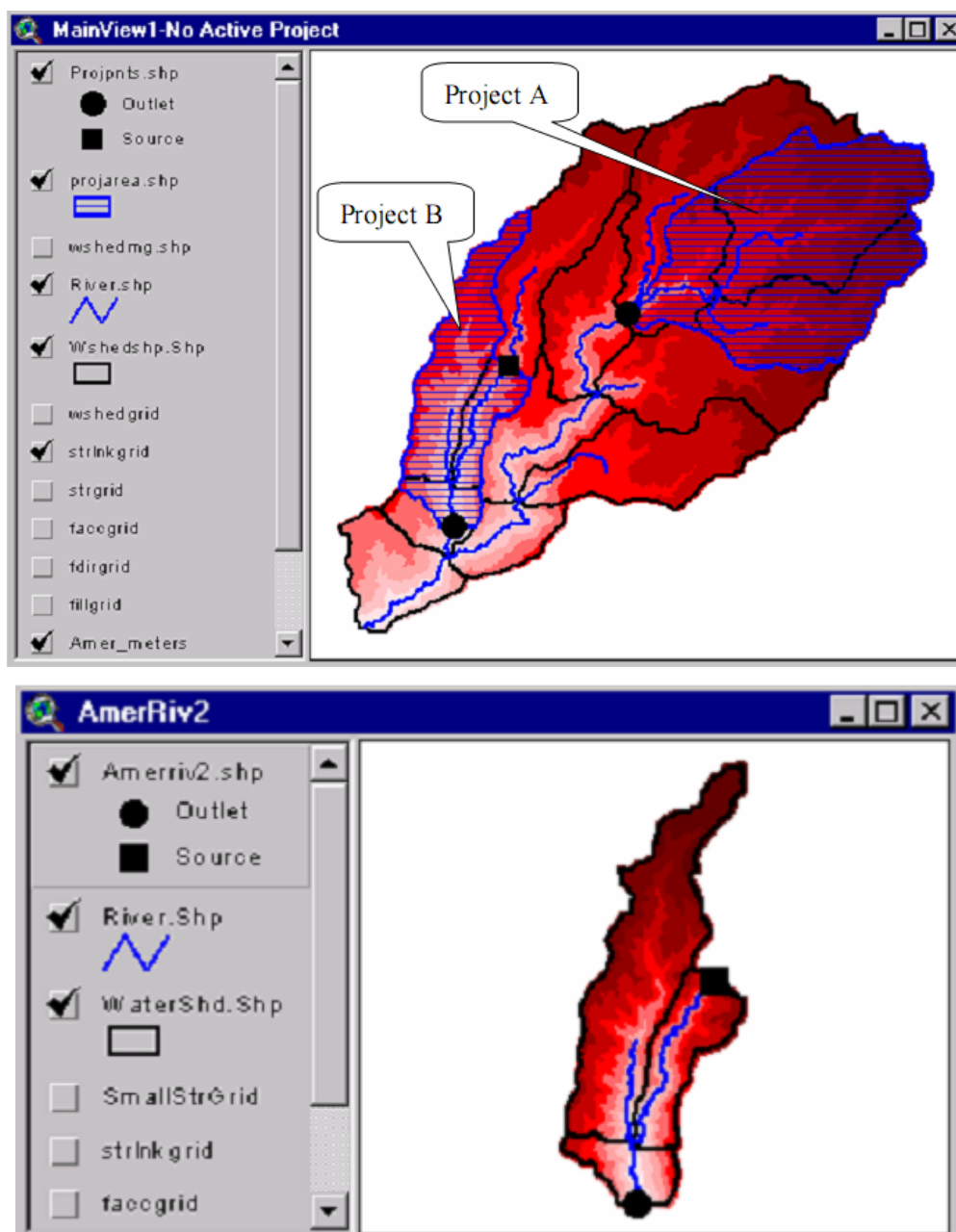


Figura A.23: Shapefile resultante da delimitação do projeto B
Fonte: HEC (2003)

ANEXO B – MÉTODO DO SCS CURVE NUMBER

ANEXO B – MÉTODO DO SCS CURVE NUMBER

ROTEIRO PARA CÁLCULO DE CN

1. Escolha das condições de umidificação anterior do solo.

O método SCS distingue três condições de umidade antecedente para o solo - Tucci et al (1995):

- CONDIÇÃO I - solos secos - as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassaram 15 mm;
- CONDIÇÃO II - situação média na época de cheias - as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram 15 a 40 mm;
- CONDIÇÃO III - solo úmido (próximo da saturação) - as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram mais que 40 mm, e as condições meteorológicas não favoreceram a evaporação.

2. Determinação do tipo do solo e condições de ocupação

Tabela A1: Grupo de acordo com o tipo do solo e condições de ocupação

GRUPO	CARACTERÍSTICAS
A	Solos arenosos, com baixo teor de argila (inferior a 8%), não havendo rocha nem camadas argilosas, e nem mesmos adensadas até a profundidade de 1,5 m. Teor de húmus baixo (< 1%)
B	Solos arenosos, menos profundos que os do grupo A e com menor teor de argila total (ainda < 15%). Para terras roxas, esse limite pode subir par 20%. Os teores de húmus podem atingir 1,2 e 1,5, nos dois casos, respectivamente. Não pode haver pedras ou camadas argilosas até a profundidade de 1,5 m. Presença mais adensada que a superficial, quase sempre.
C	Solos barrentos, com teor de argila de 20 a 30%, sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m. No caso de terras roxas, tais limites podem ser de 40% e 1,5m, respectivamente. Profundidade em torno de 60 cm, camada mais adensada que no grupo B, mas distante das condições de impermeabilidade.
D	Solos argilosos (30 – 40% de argila). Camada adensada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados.

Fonte: Tucci et al (2000e)

Tabela A2: Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

TIPO/COBERTURA/OCUPAÇÃO DO SOLO	GRUPO				
	A	B	C	D	
ZONAS RESIDENCIAIS					
Lotes de (m ²)	% Média de impermeabilização				
< 500	65	77	85	90	92
1.000	38	61	75	83	87
1.300	30	57	72	81	86
2.000	25	54	70	80	85
4.000	20	51	68	79	84
ZONAS COMERCIAIS E DE ESCRITÓRIO					
		89	92	94	95
ZONAS INDUSTRIAIS					
		81	88	91	93
ESPAÇOS ABERTOS, PARQUES, CAMPOS, CEMITÉRIOS EM BOAS CONDIÇÕES					
COM RELVA EM MAIS DE 75% DA ÁREA					
		39	61	74	80
COM RELVA DE 50 A 75% DA ÁREA					
		49	69	79	84
PARQUES DE ESTACIONAMENTOS, TELHADOS E VIADUTOS					
		98	98	98	98
ARRUAMENTOS E ESTRADAS					
ASFALTADAS E COM DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS					
		98	98	98	98
PARALELEPÍPEDOS					
		76	85	89	91
TERRA					
		72	82	87	89
BOSQUES OU ZONAS COBERTURA RUIM					
		45	66	77	83
FLORESTAIS – COBERTURA BOA					
		25	55	70	77
PRADO EM BOAS CONDIÇÕES					
		30	58	71	78
TERRENOS BALDIOS EM BOAS CONDIÇÕES					
		30	58	71	78
PASTAGENS OU TERRENOS EM MÁIS CONDIÇÕES					
		68	79	86	89
ZONAS CULTIVADAS					
SEM CONSERVAÇÃO DO SOLO					
		72	81	88	91
COM CONSERVAÇÃO DO SOLO					
		62	71	78	81

Fonte: Tucci et al (2000e)

**ANEXO C – APLICAÇÃO DE DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA
DA SUB-BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO**

ANEXO C – APLICAÇÃO DE DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO

ROTEIRO PARA CRIAÇÃO DO ARQUIVO SHAPE DO LIMITE DA SUB-BACIA

Visando a delimitação automática da bacia de estudo, foi utilizado o MDT de 1 em 1m corrigido que gerou um GRID, sendo possível assim a utilização pelo ArcVIEW 3.2 da extensão HEC-GeoHMS. Foi carregado então as views MDT Goiânia 1 em 1m e Hidrografia e selecionados as curvas de nível mais próximas ao leito do córrego Botafogo, para a geração de um novo tema visando uma melhor performance do aplicativo, uma vez que não se desejava trabalhar com todas as curvas de nível disponíveis no MDT, conforme Figura C.1.



Figura C.1: MDT Goiânia, curvas selecionadas e hidrografia

Com o auxílio da ferramenta Convert to Grid do menu Theme e aproveitando a seleção realizada anteriormente, foi criado então um GRID, BBotaf10 para se dar início ao pré-processamento da imagem, visando a delimitação da área de estudo, conforme Figura C.2.

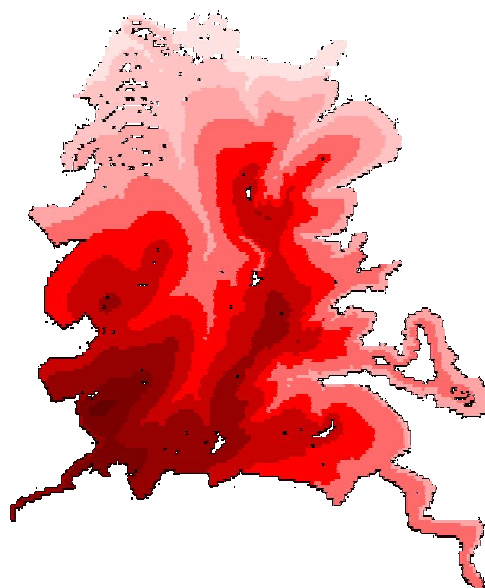


Figura C.2: GRID BBotaf10

Para carregar o GRID BBotaf10 na janela MainView da extensão HEC-GeoHMS, foi necessário a cópia do tema através da ferramenta Copy Themes do menu Edit na view1 do ArcVIEW e a ferramenta Paste Themes do mesmo menu, mas desta vez na janela MainView, localizada na raiz do projeto, ou view projbotartigo.apr do menu Window do ArcVIEW.

O pré-processamento das imagens é realizado conforme o Anexo I, e todas as ferramentas necessárias se encontram no menu Terrain Preprocessing. O primeiro passo, foi o preenchimento das falhas ou buracos, através da ferramenta Fill Sinks, o resultado está na Figura C.3. Visualmente não foi percebida nenhuma alteração significativa.

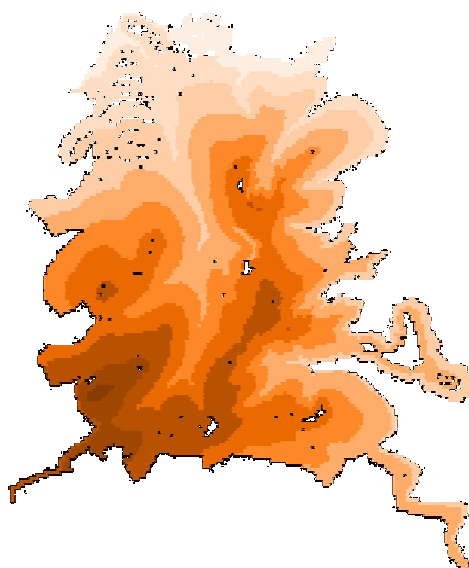


Figura C.3: GRID BBotaf10 com aplicação de Fill Sinks

Seguindo, foi realizado as operações de Flow Direction e Flow Accumulation, o resultado pode ser conferido nas Figuras C.4 e C.5.



Figura C.4: GRID Flow Direction



Figura C.5: GRID Flow Accumulation

Os próximos passos foram a identificação do canal e a sua segmentação, através dos comandos Stream Definition e Stream Segmentation, Figuras C.5 e C.6.

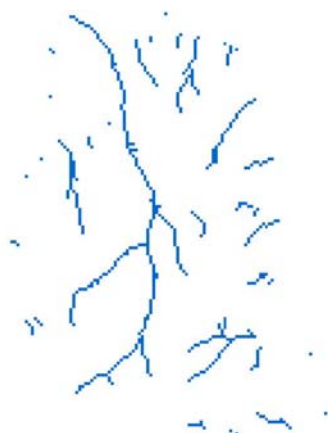


Figura C.6: GRID Stream Definition



Figura C.7: GRID Stream Segmentation

Finalizando o pré-processamento, foram realizadas as operações de delimitação da bacia, conversão da delimitação da bacia e dos segmentos do rio de GRID para shapefile e por fim a união das sub-bacias geradas em uma só, Figuras C.7 e C.8 abaixo. As ferramentas utilizadas foram Watershed Delineation, Watershed Polygon Processing, Watershed Segment Processing e Watershed Aggregation, todas no menu Terrain Preprocessing, ativado através da extensão HEC-GeoHMS.



Figura C.8: GRID Watershed Deliniation

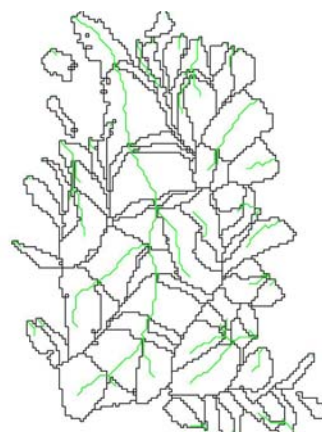


Figura C.9: GRID Watershed Segment

De posse de todos os dados necessários, é chegada a hora de marcar o ponto de saída, Outlet, da área de estudo. O ponto escolhido foi o entroncamento entre as vias Marginal Botafogo e Avenida Independência, na região centro-oriental de Goiânia, coordenadas UTM SAD69 686.364,78 e 8.157.136,36 e geográficas $16^{\circ} 39' 39,4441''$ S de latitude e $49^{\circ} 15' 09,0363''$ W de longitude e 721 m de altitude, Figura C.9.



Figura C.10: Delimitação do projeto com o Outlet

Foi iniciado então um novo projeto, com o nome de BBotaf10, gerado automaticamente pela extensão HEC-GeoHMS através do ponto de saída, outlet, descrito, Figura C.10.

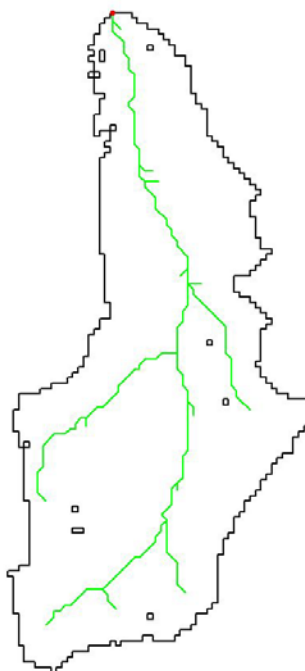


Figura C.11: Delimitação automática da área de estudo

A delimitação automática gerou alguns pontos cegos, falta de informação, que foram pequenos quadrados que ora tinham um tamanho de um pixel ora de dois, mas somente. O que não comprometeu o resultado, mas que deva ser levado em conta em futuros trabalhos, que venham a aplicar a metodologia proposta, Figura C.11.



Figura C.12: Falha na geração do shapefile

A partir do projeto carregado, os menus Basin Processing, Basin Characteristics, Hydrologic Parameters e HMS, a extração de várias informações da bacia, como comprimento e declividade do rio, centróide da bacia, caminho mais longo do fluxo, Método de Curve Number SCS da bacia, dentre outros.

**ANEXO D – SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DA
SUB-BACIA DO Córrego Botafogo**

ANEXO D – SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO

ROTEIRO PARA A SIMULAÇÃO NO PROGRAMA ABC6

O Sistema de Suporte a Decisões e Análise de Bacias Complexas, ABC6, é um simulador de resposta a eventos para pequenas bacias. Utilizando modelos matemáticos, auxilia na obtenção de diversos cenários, visando auxiliar a tomada de decisões ao analisar processos hidrológicos e suas interações com o meio.

Visando a aplicação da metodologia proposta, os dados obtidos foram utilizados como subsídios a seguinte simulação no programa ABC6 do LabSid: Área da bacia – 16,171 Km², Área impermeável – 34%, Comprimento do talvegue – 9.051,6 m e Declividade média – 16,5 m/Km. Outras informações relevantes, foram: Condição de umidade do solo – II e tipo B, Método de curvas IDF – O. Pfafstetter do estado de Goiás e com duração de chuva de 120 min e 41,76 mm/H de média. Essas informações e os resultados estão nas Figuras D.1, D.2 e D.3 abaixo.

Dados da Bacia	Precipitação	Infiltração
Características Físicas		
Área (Km ²):	16,170	} Aimp ≥ Adir
Área Impermeável (%):	34,0	
Área Diretamente Conectada (%):	0,0	
Tempo de Concentração		
Tempo de Concentração (h):	1,88	Equações Empíricas
Calculado por:	Kirpich I	
Dados do Canal		
Comprimento (m):	9051,6	
Velocidade (m/s):	1,92	
Tempo de Trânsito da Onda de Cheia (h):	1,34	
Coefficiente de Amortecimento (0 < x < 0.5):	0,10000	

Figura D.1: ABC6 – Dados da Bacia

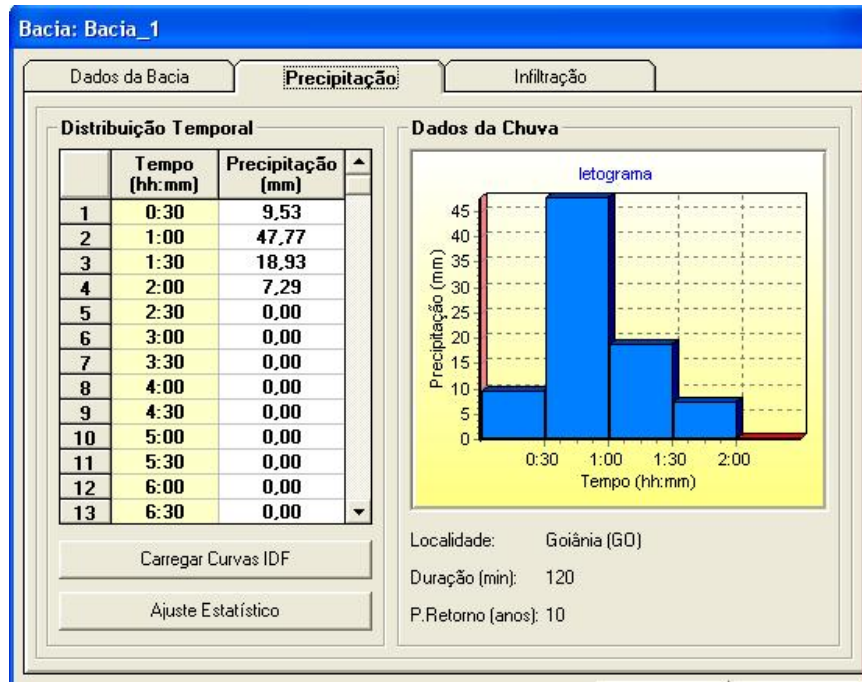


Figura D.2: ABC6 – Dados de Precipitação – Curvas IDF

Com relação ao CN, a sub-bacia da seção de controle foi dividida em 3, sendo:

- Área impermeável – 5,5km² (Estacionamentos, ruas e estradas, etc.);
- Área permeável – 7,03km² (Espaços abertos, parques e jardins);
- Área urbana – 3,64km² (Residências (Lote de até 500m² e 65% impermeável).

O resultado foi o CN médio de 79.

Numeros da Curva do SCS (Condição de Umidade II)

Bacias Urbanas		Bacias Rurais			
USO DO SOLO	SUPERFÍCIE	SOLO A	SOLO B	SOLO C	SOLO D
Residencial	Lote até 500m ² (65% impermeável)	77	85	90	92
	Lote até 1000m ² (38% impermeável)	61	75	83	87
	Lote até 1500m ² (30% impermeável)	57	72	81	86
Estacionamentos	Pavimentados	98	98	98	98
	Cobertos (telhados)	98	98	98	98
Ruas e Estradas	Pavimentadas, com guias e drenagens	98	98	98	98

Sub-áreas

Área 1 (km²): 5,500 Umidade 1: Condição II CN 1: 98

Área 2 (km²): 7,030 Umidade 2: Condição II CN 2: 61

Área 3 (km²): 3,640 Umidade 3: Condição II CN 3: 85

Área total: 16,170 CN médio: 79

Figura D.3: ABC6 – Dados de Infiltração – SCS Curve Number

Número de Manning Composto

Envolvido por (n0)	
<input type="radio"/> areia descoberta:	0,010
<input type="radio"/> argila descoberta:	0,012
<input type="radio"/> asfalto:	0,012
<input type="radio"/> capim:	0,450
<input checked="" type="radio"/> concreto:	0,010
<input type="radio"/> gramínea:	0,150
<input type="radio"/> pedras miúdas:	0,012
<input type="radio"/> terra (sem resíduo):	0,050

Grau de irregularidade (n1)	
<input checked="" type="radio"/> liso:	0,000
<input type="radio"/> pequeno:	0,005
<input type="radio"/> regular:	0,010
<input type="radio"/> grande:	0,020

Efeito das obstruções (n2)	
<input type="radio"/> desprezível:	0,000
<input checked="" type="radio"/> pequeno:	0,010
<input type="radio"/> regular:	0,020
<input type="radio"/> grande:	0,040

Tamanho da vegetação (n3)	
<input checked="" type="radio"/> baixa:	0,005
<input type="radio"/> média:	0,010
<input type="radio"/> alta:	0,025
<input type="radio"/> muito alta:	0,050

Interferências no percurso (m)	
<input checked="" type="radio"/> pequeno:	1,000
<input type="radio"/> regular:	1,150
<input type="radio"/> grande:	1,300

$N=(n0+n1+n2+n3)*m=0,025$

Figura D.4: ABC6 – Manning composto

Finalizando a entrada de dados, Manning composto está na Figura D.4 e o tempo de concentração da bacia, foi calculado por Kirpich I, Figura D.5.

Fórmulas Empíricas

	TC (min)
<input type="radio"/> Bransby-Willians:	235
<input type="radio"/> Dooge:	142
<input type="radio"/> Kerby:	35
<input checked="" type="radio"/> Kirpich I:	113
<input type="radio"/> Kirpich II:	113
<input type="radio"/> Onda Cinemática:	145
<input type="radio"/> SCS:	418

$$t_c = 0,0196 \cdot \left(\frac{L^3}{h} \right)^{0,385}$$

Foi obtida em pequenas bacias rurais com canais bem definidos e declividades altas. É de se esperar, portanto, que forneça bons resultados nestas condições. Canais bem definidos indicam que os escoamentos ao longo de seu curso prevalecem sobre os escoamentos em superfícies. Indicam

Variáveis

L: comprimento do talvegue (m)	9051,6	
A: área da bacia (Km²)	16,170	
S: declividade (m/Km)	13,920	
c: rugosidade de retardo	0,0120	Tabela Rugosidades
h: diferença de cotas (m)	126,000	
n: rugosidade de Manning	0,025	Manning Composto
I: intensidade da precipitação (mm/h)	41,76	Curvas IDF
CN: número da curva (método SCS)	79	Curvas CN

Figura D.5: ABC6 – Tempo de concentração

Após a execução do cálculo para os valores de entrada acima descritos, a precipitação infiltrada e excedente simulada pelo ABC, estão na Figura D.6. Pode se notar que realmente os resultados, demonstram uma situação de alta antropização da área de estudo.

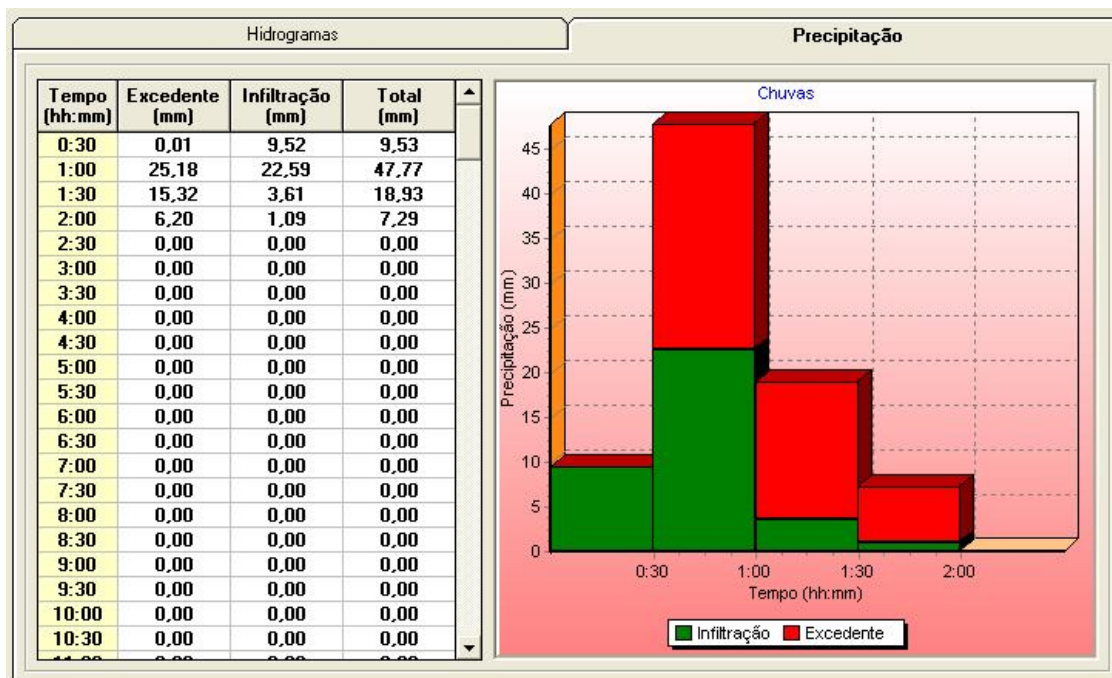


Figura D.6: ABC6 – Precipitação

O hidrograma da saída da seção de controle calculado demonstra que realmente o canal do córrego Botafogo é submetido a vazões consideráveis, principalmente nos meses de fevereiro e março, temporada chuvosa, Figura D.7.

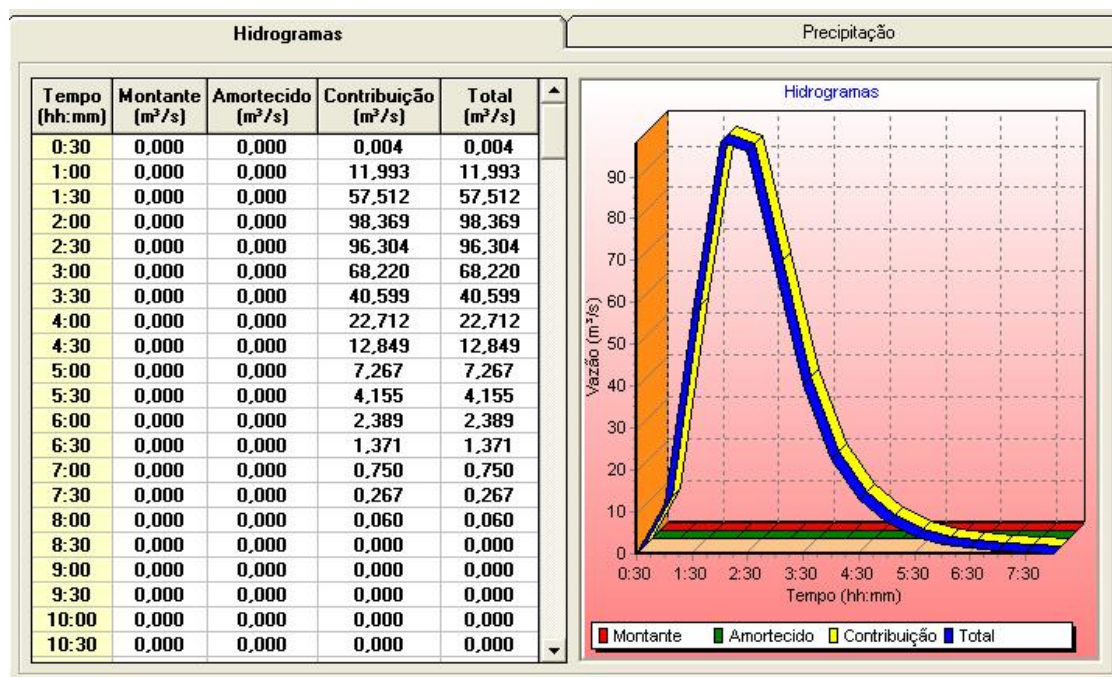


Figura D.7: ABC6 – Hidrograma da Bacia

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)