UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADO À GESTÃO DA BACIA DO CAETÉ – NORDESTE PARAENSE

Dissertação apresentada por:

MARIANO ARAUJO BERNARDINO DA ROCHA

BELÉM
2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

R672s Rocha, Mariano Araujo Bernardino da
Sistema de informações geográficas aplicado à gestão da bacia do Caeté – nordeste paraense / Mariano Araujo Bernardino da Rocha; orientador: Pedro Walfir Martins e Souza Filho – 2009
iii, 138 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

1. Sistemas de Informação Geográfica. 2. Gestão Ambiental. 3. Geoprocessamento. 4. Sensoriamento Remoto. 5. Bacia Hidrográfica. 6. Banco de dados. 7. Bragança (PA). 8. Amazônia. I. Universidade Federal do Pará. II. Souza Filho, Pedro Walfir Martins e. III. Título.

CDD 20. ed.: 910.285

Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADO À GESTÃO DA BACIA DO CAETÉ – NORDESTE PARAENSE

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

MARIANO ARAÚJO BERNARDINO DA ROCHA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **26/10/2009**

Comitê de Dissertação:

DR. PEDRO WALFIR MARTISN E SOUZA FILHO
(Orientador-UFPA)

DR. CLAUDIO FABIAN SZLAFSTEIN (UPPA)
(Membro)

DR. NILS EDVIN ASP NETO (UFPA)
(Membro)

Belém

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus ter me dado força para continuar o mestrado.

Aos meus pais pelo apoio durante os estudos.

Ao grande amor da minha vida Liliane Porto, pelo exemplo de vida e amor.

Ao Prof. e Orientador: Dr. Pedro Walfir pela compreensão e exemplo de vida.

Aos membros do Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido – LAIT e, especial a Susane Souza, ao Técnico Afonso Quaresma e aos professores Nils Asp e Márcio Silva.

A FAPESPA pelo incentivo e ao CPGG/UFPA pela oportunidade de concretizar mais um importante passo na minha vida profissional e acadêmica.

Ao Projeto PIATAM mar pela realização dos trabalhos de campo.

A todos os outros professores e funcionários do programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica pela boa convivência no decorrer do curso.

Ao amigo Ulisses Guimarães pelo apoio nos momentos difíceis.

E a todos os amigos e colegas que paticiparam dessa jornada.

“Devemos tornar-nos a mudança que queremos para o mundo”

Ghandi

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS..... i
LISTA DE FIGURAS..... vi
LISTA DE TABELAS..... ix
RESUMO..... 11
ABSTRACT..... 13
1 – INTRODUÇÃO..... 15
2 – OBJETIVOS..... 18
2.1 – OBJETIVO GERAL..... 18
2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 18
3 – ÁREA DE ESTUDO..... 19
3.1 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAETÉ..... 19
3.2 – GEOLOGIAS REGIONAL..... 20
3.3 – HIDROGRAFIA..... 24
3.4 – CIRCULAÇÕES ATMOSFÉRICAS E CLIMATOLOGIA..... 24
3.5 – SOLOS..... 25
3.6 – VEGETAÇÃO..... 27
3.7 – SEDIMENTOLOGIA DO CAETÉ..... 28
3.8. – OCUPAÇÃO DA REGIÃO..... 29
4 – MATERIAIS E MÉTODOS..... 31
4.1 – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO..... 31
4.2 – LEVANTAMENTOS DE CAMPO..... 31
4.3 – MORFOMETRIA DA BACIA DO CAETÉ..... 34
4.4 – LEVANTAMENTO HIDRODINÂMICO..... 34
4.5 – SEDIMENTOLOGIA..... 35
4.6 – ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA..... 36
4.7 – USO E COBERTURA DA TERRA..... 36
4.7.1 – Parâmetros cartográficos..... 37
4.7.2 – Processamento Digital de Imagens (PDI), Análise e Mapeamento... 38
4.7.3 – Elaboração do Mapa de Áreas de Preservação Permanente..... 43
4.7.4 – Extração do Índice de Vegetação (NDVI)..... 43
4.8 – ELABORAÇÃO DA CARTA DE APTIDÃO AGRÍCOLA..... 44
4.9 – DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA

DO SOLO..... 44
4.9.1 – Geologia..... 44
4.9.2 – Geomorfologia..... 45
4.9.3 – Solos..... 47
4.9.4 – Cobertura Vegetal e Uso da Terra..... 48
4.9.5 – Precipitação..... 49
4.10 – INTEGRAÇÃO DOS DADOS EM AMBIENTE DE SIG..... 50
4.11 – CONSTRUÇÃO DO GEODATABASE..... 52
5 – **BASE TEÓRICA**..... 53
5.1 – SISTEMA FLUVIAL..... 53
5.1.1 – Bacia hidrográfica..... 55
5.1.2 – Morfometria de bacias hidrográficas..... 56
5.2 – HIDROMETRIA..... 62
5.2.1 – Medição de Vazão Líquida..... 62
5.3 – SENSORIAMENTO REMOTO..... 66
5.3.1 – Classificação supervisionada..... 67
5.3.2 – Índice Kappa..... 68
5.3.3 – Série Landsat..... 69
5.3.4 – SRTM..... 70
5.3.5 – NDVI..... 71
5.4 – USO E COBERTURA DA TERRA..... 72
5.5 – APTIDÃO AGRÍCOLA..... 73
5.6 – SIG E GESTÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS..... 74
5.7 – GEODATABASE..... 80
6 – RESULTADOS 81
6.1 – MORFOMETRIA..... 83
6.2 – HIDROMETRIA..... 90
6.2.1 – Estação Nova Mocajuba: medição em junho e setembro/2008..... 91
6.2.2 – Estação Tentugal: medição em junho e setembro/2008..... 93
6.2.3 – Estação Arraial do Caeté medição em junho e setembro/2008..... 94
6.3 – SEDIMENTOLOGIA..... 96
6.4 – PLUVIOMETRIA..... 99
6.5 – USO E COBERTURA DA TERRA..... 100

6.5.1 – Áreas de Preservação Permanente..... 104
6.5.2 – NDVI e Precipitação..... 105
6.6 – RELAÇÃO ENTRE PLUVIOSIDADE, VAZÃO E HIPSOMETRIA..... 108
6.7 – CARTA DE APTIDÃO AGRÍCOLA..... 109
6.8 – CARTA DE VULNERABILIDADE DE SOLOS..... 109
6.8.1 – Relação Geologia e Declividade..... 112
6.8.2 – Relação Solos e Declividade..... 112
6.9 – BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO..... 114
7 – DISCUSSÃO..... 115
8 – CONCLUSÕES..... 119
9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 120
ANEXO I..... 131
ANEXO II..... 134
ANEXO III..... 138

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Localização da bacia hidrográfica do Caeté.....	19
FIGURA 2	Mapa geológico da região NE paraense.....	20
FIGURA 3	Mapa indicando a área do NE paraense descrita por Ackermann.....	21
FIGURA 4	Mapa com a localização das bacias sedimentares.....	22
FIGURA 5	Perfil espodossolo.....	26
FIGURA 6	Trajeto percorrido no campo.....	32
FIGURA 7	Configuração do ADCP.....	33
FIGURA 8	Coleta de pontos com o GPS.....	33
FIGURA 9	Filtração a vácuo.....	35
FIGURA 10	O perfil espectral da área urbana e de solos totalmente expostos.....	40
FIGURA 11	Perfil espectral de corpos hídricos.....	41
FIGURA 12	Perfil espectral com elevada reflectância na área de pasto.....	41
FIGURA 13	Perfil espectral com grande absorção na porção do visivel, devido a presença de água. Floresta Ombrófila de Igapo. Perfil espectral da Floresta Sucessional Intermediaria. Área de Floresta Secundária.....	42
FIGURA 14	Perfil espectral de áreas cobertas por sombras.....	43
FIGURA 15	Sistema Fluvial idealizado.....	55
FIGURA 16	Padrões de drenagem.....	57
FIGURA 17	Combinação das curvaturas para caracterização das formas do terreno.....	60
FIGURA 18	Diferenças entre as curvas de extrapolação realizadas pelos Method Constant e Power.....	63
FIGURA 19	Um pulso acústico sofrendo espalhamento e Pulso refletido.....	64
FIGURA 20	A configuração dos Beams.....	65
FIGURA 21	Representação do espectro eletromagnético.....	66
FIGURA 22	Espaços de atributos para as classes A, B e C, mostando na forma de contornos a densidade de pixeis nos diversos conjuntos de treinamento.....	68
FIGURA 23	Área coletada pelo SRTM.....	71

FIGURA 24	Forma de coleta dos dados SRTM.....	71
FIGURA 25	Hierarquização de ações de gestão em nível de bacias hidrográficas.	76
FIGURA 26	Esquema de um SIG aplicado a integração e análise de dados geográficos.....	79
FIGURA 27	Porções municipais englobadas pela bacia do Caeté.....	82
FIGURA 28	Hierarquias de drenagem.....	83
FIGURA 29	Classes hipsométricas.....	84
FIGURA 30	Declividades da Bacia do Caeté.....	84
FIGURA 31	Relação entre classes hipsométricas e suas porcentagens na composição da bacia hidrográfica.....	85
FIGURA 32	Relação entre classes de declividade e suas porcentagens na composição da bacia hidrográfica.....	85
FIGURA 33	Orientação de vertentes.....	86
FIGURA 34	Caráter côncavo/convexo da bacia dividida em 5 classes.....	87
FIGURA 35	Variação da orientação das vertentes ao longo de distancias determinadas representada em 5 classes.....	87
FIGURA 36	As formas de terreno representadas em 9 classes.....	88
FIGURA 37	Perfis transversais e longitudinal.....	89
FIGURA 38	Bacia em 3D.....	89
FIGURA 39	Locais de coleta.....	90
FIGURA 40	Perfil de velocidade estação Nova Mocajuba.....	92
FIGURA 41	Perfil de backscatter. estação Nova Mocajuba.....	92
FIGURA 42	Trajetória do barco e distribuição dos vetores velocidade estação Nova Mocajuba.....	93
FIGURA 43	Perfil de velocidade Estação Tentugal.....	93
FIGURA 44	Perfil de backscatter Estação Tentugal.....	94
FIGURA 45	Trajetória do barco e distribuição dos vetores velocidade Estação Tentugal.....	94
FIGURA 46	Perfil transversal das velocidades Estação Arraial do Caeté.....	95
FIGURA 47	Perfil de backscatter Estação Arraial do Caeté.....	95
FIGURA 48	Trajetória do barco e distribuição dos vetores velocidade Estação Arraial do Caeté.....	96
FIGURA 49	Unidades geológicas e pontos de análise textural.....	97

FIGURA 50	Associações de solos e pontos de análise textural no rio Caeté.....	98
FIGURA 51	Carta pluviométrica elaborada a partir de dados da ANA.....	99
FIGURA 52	Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1988.....	100
FIGURA 53	Mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 1999.....	101
FIGURA 54	Mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 2008.....	102
FIGURA 55	Porcentagem de uso e cobertura da terra para o ano de 1988.....	103
FIGURA 56	Porcentagem de uso e cobertura da terra para o ano de 1999.....	103
FIGURA 57	Porcentagem de uso e cobertura da terra para o ano de 2008.....	104
FIGURA 58	APP's de acordo com a Lei nº 7.803 de 1989.....	105
FIGURA 59	Índice de vegetação para o ano de 1999.....	106
FIGURA 60	Índice de vegetação para o ano de 2008.....	106
FIGURA 61	Precipitação brutas para os anos de 1999 e 2008.....	107
FIGURA 62	Mapa de Aptidão Agricola da área de estudo para os níveis de manejo B e C.....	109
FIGURA 63	Mapa geomorfológico da bacia do Caeté.....	110
FIGURA 64	Mapa de vulnerabilidade a perda de solos.....	113

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Valores de precipitação média mensal e anual, número de dias com chuvas e valores de intensidade pluviométrica para cada estação.....	36
TABELA 2	Relação de imagens utilizadas com suas principais características.....	37
TABELA 3	Elementos utilizados para promover uma menor distorção da realidade mapeada.....	38
TABELA 4	Valores subtraídos nas matrizes das imagens.....	38
TABELA 5	Erro quadrático médio obtido na correção geométrica das imagens.....	39
TABELA 6	Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.....	45
TABELA 7	Valores de vulnerabilidade à perda de solo para a amplitude.....	46
TABELA 8	Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas.....	46
TABELA 9	Valores de vulnerabilidade para o grau de dissecação do relevo.....	47
TABELA 10	Valores de vulnerabilidade dos solos.....	48
TABELA 11	Valores de vulnerabilidade à perda de solo para as classes de cobertura vegetal e uso da terra.....	49
TABELA 12	Índice de vulnerabilidade a perda de solo por meio da intensidade pluviométrica.....	50
TABELA 13	Escala de vulnerabilidade de unidades territoriais a perda do solo.....	51
TABELA 14	Formas do terreno.....	61
TABELA 15	Classificação da declividade.....	61
TABELA 16	Valores de Kappa desenvolvidos por Kux; Blaschke, 1997.....	69
TABELA 17	Principais características dos sensores da série Landsat.....	70
TABELA 18	Classes de aptidão agrícola.....	74
TABELA 19	Classificação de ações de Gestão no nível de Bacias hidrográficas.....	75
TABELA 20	Diferenças nas operações de superposição.....	79
TABELA 21	Área dos municípios e parte pertencente à bacia do Caeté.....	81
TABELA 22	Características fisiográficas da bacia do Caeté.....	86
TABELA 23	Domínio dos fluxos em relação à área da bacia.....	88
TABELA 24	Morfometria do canal durante as medições em junho de 2008.....	91
TABELA 25	Morfometria do canal durante as medições em setembro de 2008.....	91
TABELA 26	Concentração de sedimentos em suspensão no rio Caeté.....	91
TABELA 27	Análise granulométrica para o período seco e chuvoso.....	96

TABELA 28	Descrição das associações de solos da bacia do Caeté.....	98
TABELA 29	Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade a perda de solo.....	99
TABELA 30	Índice de vulnerabilidade natural à perda de solos para as classes estudadas.....	103
TABELA 31	Qualidade das classificações obtida tendo-se como parâmetro o índice desenvolvido por Kux & Blaschke (2005).....	104
TABELA 32	Classes geológicas da bacia do Caeté e índice de vulnerabilidade natural à perda de solos.....	110
TABELA 33	Índice de vulnerabilidade natural à perda de solos em relação a geomorfologia.....	111
TABELA 34	Classes pedológicas da bacia do Caeté e índice de vulnerabilidade natural à perda de solos.....	111
TABELA 35	Para a associação PVAd que ocupa 13,81% da bacia tem-se a predominância de floresta sucessional inicial/pasto.....	111
TABELA 36	Para a associação Lad que ocupa 84,54% da bacia tem-se a predominância de floresta sucessional inicial/pasto.....	112
TABELA 37	Para a associação GXve que ocupa 1,65% da bacia tem-se a predominância de floresta sucessional inicial/pasto.....	112
TABELA 38	Porcentagem das classes de declividades contidas nas unidades geológicas.....	112
TABELA 39	Porcentagens das classes de declividades contidas em cada associação de solo.....	112
TABELA 40	Áreas correspondentes a cada grau de vulnerabilidade a perda dos solos.	113

RESUMO

A região Nordeste do Estado do Pará é um dos principais centros de convergência de pessoas e produtos do Estado, contendo a maior concentração de sedes municipais, sendo uma zona de intensa atividade agrícola e com processo de desflorestamento avançado. A necessidade de um maior conhecimento sobre as bacias hidrográficas é evidente, principalmente, por estas constituírem unidades de planejamento e aplicação de políticas públicas, subsidiadas por estudos, os quais transcendem o âmbito puramente científico. Na bacia hidrográfica do Caeté, localizada na região NE do Estado, atividades agrícolas e pecuaristas vêm sendo praticadas com maior intensidade desde o início do século XX, o que provoca a degradação do meio ambiente. O objetivo principal deste trabalho foi a organização de um banco de dados geográfico com enfoque no meio físico para contribuir com diagnósticos ambientais e com a gestão desta bacia hidrográfica. Utilizando-se de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para análise multitemporal do uso e cobertura da terra; integração desta com diferentes componentes do meio físico (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Precipitação, Hidrometria e Sedimentologia); elaboração dos mapas de aptidão agrícola das terras e de vulnerabilidade natural à perda de solos e; construção de um *geodatabase*. A análise morfométrica da bacia demonstrou a baixa probabilidade à cheias devido: sua forma alongada; 57,6% de sua área possuir relevo plano e; 50,1% da bacia possuir formas dispersivas do terreno. A análise da vazão (m^3/s) utilizando-se de efeito Doppler (ADCP) apresentou valores de 8,06 na estação Arraial do Caeté, 34,14 na estação Tentugal e 87,45 na estação Nova Mocajuba, para o mês de junho, enquanto que para o mês de setembro a vazão quantificada foi de 2,79 na estação Arraial do Caeté, 12,09 na estação Tentugal e 33,72 na estação Nova Mocajuba. O cálculo da precipitação baseado na interpolação das estações Primavera, Capanema, Nova Timboteua, Ourém, Santa Luzia do Pará e Emboraí mostraram uma maior concentração na porção centro-norte da bacia, que apresenta precipitações entre 400 e 450 mm/mês. A partir da análise integrada dos dados de vazão e precipitação observa-se que os maiores valores de vazão e precipitação ocorrem nas áreas florestadas, enquanto que os menores valores são observados nas áreas com maior quantidade de solo exposto. Esta ocorrência se deve ao fato da vazão tender a ser cada vez menor em direção montante e nesta porção da bacia é onde se encontra o relevo mais proprício para as práticas agrícolas que se desenvolveram com maior intensidade ao longo do processo de

ocupação da bacia hidrográfica. As áreas de preservação permanente ocupam 4,6% da bacia e destes, apresenta-se com 37,8% em desacordo a legislação ambiental vigente. O aumento identificado no índice de vegetação (NDVI) para os últimos 10 anos demonstrou relação direta com a pluviosidade no período mais seco do ano. A bacia mostrou uma homogeneidade com relação a aptidão agrícola, observando-se que o principal fator de restrição ao nível de manejo B foi a deficiência de fertilidade. Com relação a vulnerabilidade natural a perda de solos foi demonstrado que a bacia em questão é medianamente estável, apresentando valores predominantes de vulnerabilidade variando entre 1,8 a 2,2. A geração do banco de dados permitiu a análise dos mapas produzidos, de modo que, áreas de interesse puderam ser observadas com maior detalhe. Assim, os dados serão disponibilizados à sociedade para que sejam utilizados em benefício do desenvolvimento da região e havendo a possibilidade de atualização dos dados à medida que novos conhecimentos e tecnologias sejam adquiridos.

Palavras-chave: Sistema de Informações Geográficas; Gestão Ambiental; Geoprocessamento; Sensoriamento Remoto; Banco de dados; Bacia Hidrográfica, Bragança, Amazônia.

ABSTRACT

The northeastern of Pará state is one of primal centers of people and products convergence in this state. It contains the highest concentration of urban centers, and is a zone of intense agricultural activity with an advanced process of deforestation. The need for greater knowledge about of the watershed is evident, mostly because for they constitutes planning and implementation unites for a public policies, subsidized by studies, which transcends the scope of purely scientific. In Caeté watershed, located in the NE of the state, agricultural and livestock activities have been practiced with major intensity since the beginning of the century XX, which causes an environmental degradation. The primal objective of this study was an organization of a geographic database with focus on physical environment to add to an environmental diagnoses and the management of this watershed. Using the techniques of remote sensing and geoprocessing for the multitemporal analysis of use and cover of the land; the integration of this with different components of the physical environment (geology, geomorphology, pedology, precipitation, hydrometers and sedimentology); elaboration of maps of agricultural suitability of the lands and natural soil loss vulnerability and building a geodatabase. The morphometric analysis of the basin showed a low probability floods due to: the elongated shape of the basin; 57.6% of its area has flat topography; 50.1% of the basin have dispersive forms of the land. The analysis of the flow, in m^3/s, using the Doppler effect (ADCP) showed values of 8.06 in the Arraial do Caeté station, 34.14 in the Tentugal station and 87.45 in the Nova Mocajuba station, for the month of June, while, for the month of September, the flow was 2.79 in the Arraial do Caeté station, 12.09 in the Tentugal station and 33.72 in the Nova Mocajuba station. The calculation of precipitation based on an interpolation of the stations Primavera, Capanema, Nova Timboteua, Ourém, Santa Luzia do Pará and Emboraí showed larger concentration in the mid-north portion of the basin, which presents rainfall between 400 and 450 mm/month. From the integrated analysis of the data of flow and precipitation is observed that the highest values of flow and precipitation occur in forested areas, while the lowest values are observed in areas with large amounts of exposed soil. This occurrence is because the flow tends to be less in upstream direction and in this portion of the basin is where founded a most propitious relief for agricultural practices which had been developed with major intensity during the process of occupation of the watershed. The permanent preservation areas occupy 4.6% of the basin and of these

37.8% is in disagreement with current environmental legislation. The increase identified in the vegetation index (NDVI) for the past 10 years, demonstrated a direct relationship with rainfall during the drier seasons. The watershed showed homogeneity in relation to agricultural suitability. It was observed that the main restricting factor at the management B was the fertility deficiency. In concerning of loss of soil natural vulnerability it was observed that the watershed in question is fairly stable, showing predominant values of vulnerability between 1.8 to 2.2. The generation of the database allowed the analysis of the maps produced and the concerned areas could be observed in more detail. Thus, the data will be available to the society to be used for the benefit of development of the region and with the possibility of update the data as new knowledge and technologies are acquired.

Keywords:, Geographic Information System; Environmental Management, Database, Remote Sensing, Watershed, Bragança, Amazon.

1 – INTRODUÇÃO

Atualmente, a necessidade de um maior conhecimento dos sistemas fluviais torna-se evidente, principalmente na Amazônia, quando os estudos sobre bacias hidrográficas transcendem o âmbito puramente científico e, estas passam a constituir unidades de planejamento e aplicação de políticas públicas, subsidiadas por tais estudos.

O Pará é o segundo maior estado da Federação, com uma área de mais de um milhão de quilômetros quadrados, possuindo mais de cinco milhões de habitantes e uma invejável riqueza mineral, ecológica e cultural, destacando-se no âmbito nacional no que se refere à sua riqueza hidrográfica. Seus recursos hídricos exercem fundamental importância no equilíbrio paisagístico da floresta amazônica, no âmbito de projetos de desenvolvimento nas áreas da indústria, comércio e mineração, planos de conservação ambiental, bem como na pecuária e nas técnicas estratégicas de irrigação no ramo da agricultura e do turismo (SECRETARIA EXECUTIVA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE – SECTAM, 2007).

Por essas interações com o ambiente natural e antrópico (áreas urbanas e rurais) e pelo fato de que os recursos hídricos não respeitam fronteiras políticas, estes são bens ambientais estratégicos para a promoção do desenvolvimento de uma região. Assim, torna-se necessário uma visão holística e sinóptica para geri-los de forma integrada com o gerenciamento ambiental, por meio dos Planos Diretores Municipais, Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas e demais instrumentos municipais e do Estado do Pará.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, rompe com a antiga e errônea concepção de que os problemas referentes aos recursos hídricos podem ser enfrentados em desconsideração às realidades geográficas. A adoção da gestão por bacias é um passo fundamental para que se consiga um padrão ambientalmente aceitável para os recursos naturais (ANTUNES, 2001).

A Agência Nacional de Água (ANA) apóia a implementação da gestão de recursos hídricos nos Estados por meio da celebração de Convênios de Cooperação entre a Agência e os órgãos gestores dos recursos hídricos estaduais com foco na implementação dos instrumentos da Lei 9.433/97 e na capacitação de pessoal (ANA, 2007).

O órgão Gestor da Política de Recursos Hídricos do Estado do Pará é a Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA, sendo esta a Secretaria Executiva do Conselho Estadual de Recursos Hídrico cabendo dentre suas funções coordenar a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos e encaminhá-lo à aprovação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH. Este conselho promove a articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, estadual, municipais e de setores usuários (SECTAM, 2007).

Para que toda esta estrutura adquira dados que subsidiem suas ações, faz-se mister a elaboração de Sistemas de Informações Geográficas voltados para o gerenciamento de recursos hídricos em nível de bacias e sub-bacias.

No Estado do Pará, o Núcleo de Hidrometeorologia (NHM) da Secretaria de Estado de Meio Ambiente necessita de dados das sub-bacias situadas nas sub-regiões hidrográficas por ele determinado; muitos destes dados deveriam vir de Comitês de Bacias, responsáveis pela gestão a nível municipal, mas a incipiente implementação destes, compromete de certo modo o abastecimento do banco de dados em nível estadual.

Uma das regiões hidrográficas determinadas pelo NHM é a região Costa Atlântica Nordeste e como afirmam Lima et al. (2005) é um dos principais centros de convergência de pessoas e produtos do Estado do Pará. Segundo a SECTAM (2007) esta região contém a maior concentração de sedes municipais e compõe a Zona de Intensa Atividade Agrícola e Processo de Desflorestamento Avançado.

Parcerias entre diversos setores do Governo do Estado do Pará buscam dentro dos programas “Um Bilhão de Árvores para a Amazônia” e “Água para todos” fomentar o uso racional da água e a manutenção/recuperação das Áreas de Preservação Permanente em todas as Regiões Hidrográficas do Estado (SEMA, 2009).

Desta forma um dos eventos realizados em abril de 2009 resultantes destas parcerias governamentais foi o “II Seminário de Educação Ambiental pelas águas e florestas do Pará – Região do Caeté” o qual teve como um dos principais objetivos a elaboração do diagnóstico de percepção à situação ambiental da bacia do rio Caeté (SEMA, 2009).

Alguns dos principais problemas ambientais referente ao rio Caeté destacados no diagnóstico foram: destruição das matas ciliares por ações antrópicas, assoreamento

provocado pela precipitação pluviométrica e erosão laminar, habitações à proximidade do leito do rio, instalação e permanência de currais provocando a sedimentação e alterando o fluxo do rio, ausência de tratamento de esgoto despejado no rio, despejo de resíduos da manutenção de barcos no rio, deposição de resíduos sólidos no rio e resíduos da mandioca (ácido cianídrico) são eliminados nos igarapés e rios.

Tendo em vista, tais questões, também pelo fato de poder contar com produtos de sensores remotos e informações de caráter fisiográficas financiadas por projetos como: RADAM e PIATAM-mar executados por instituições de ensino e pesquisa, o presente trabalho elege a bacia do Caeté – principal componente da sub-região hidrográfica Costa Atlântica, integrante da região hidrográfica Costa Atlântica Nordeste, para elaboração de um Sistema de Informações Geográficas – SIG com foco no meio físico, visando o gerenciamento da bacia citada, trabalho pioneiro, na sub-região Costa Atlântica, que servirá como subsídio para a gestão ambiental e dos recursos hídricos nos municípios que esta bacia influencia.

O trabalho aborda a relação do SIG com a gestão em bacias hidrográficas e o Sensoriamento Remoto, com perspectivas centradas no processamento digital de imagens e na extração de informações espaciais que possam ser utilizadas na tomada de decisão.

2 – OBJETIVOS

2.1 – OBJETIVO GERAL

Organizar um banco de dados geográfico com enfoque no meio físico para contribuir com diagnósticos ambientais e com a gestão da bacia hidrográfica do rio Caeté.

2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar as medidas morfométricas da bacia;
2. Realizar uma análise multitemporal do uso e cobertura da terra na bacia;
3. Calcular as Áreas de Preservação Permanente;
4. Relacionar a Precipitação com o Índice de Vegetação para os anos de 1999 e 2008;
5. Relacionar a Hidrometria com a Pluviosidade e quantidade de Sólidos em Suspansão;
6. Relacionar a Pluviosidade, Vazão e Hipsometria ao longo da bacia;
7. Elaborar a Carta de Aptidão Agrícola;
8. Elaborar a Carta de Vulnerabilidade natural à perda de solos;
9. Organizar estes produtos em um *geodatabase*.

3 – ÁREA DE ESTUDO

3.1 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAETÉ

O Brasil encontra-se dividido em 12 regiões hidrográficas, uma destas é a Atlântico Nordeste Ocidental (ANA, 2007). Esta região engloba parte do NE paraense e quase a totalidade do Estado do Maranhão. O Estado do Pará encontra-se subdivido em 20 bacias hidrográficas, distribuídas em 7 regiões (SECTAM, 2007). Uma destas é a região da Costa Atlântica Nordeste, onde está inserida a sub-região Costa Atlântica, com uma área de 18.524,22km^2, limitada ao norte pelo Oceano Atlântico, ao sul pela bacia do rio Guamá – Moju, a leste pela bacia do rio Gurupi, e a oeste pela baía do Marajó. Inserida nesta sub-região, encontra-se a zona de produção do sistema fluvial do Caeté, que drena áreas dos municípios de Capanema, Tracuateua, Santa Luzia do Pará, Ourém, Bonito e Bragança (Figura1).

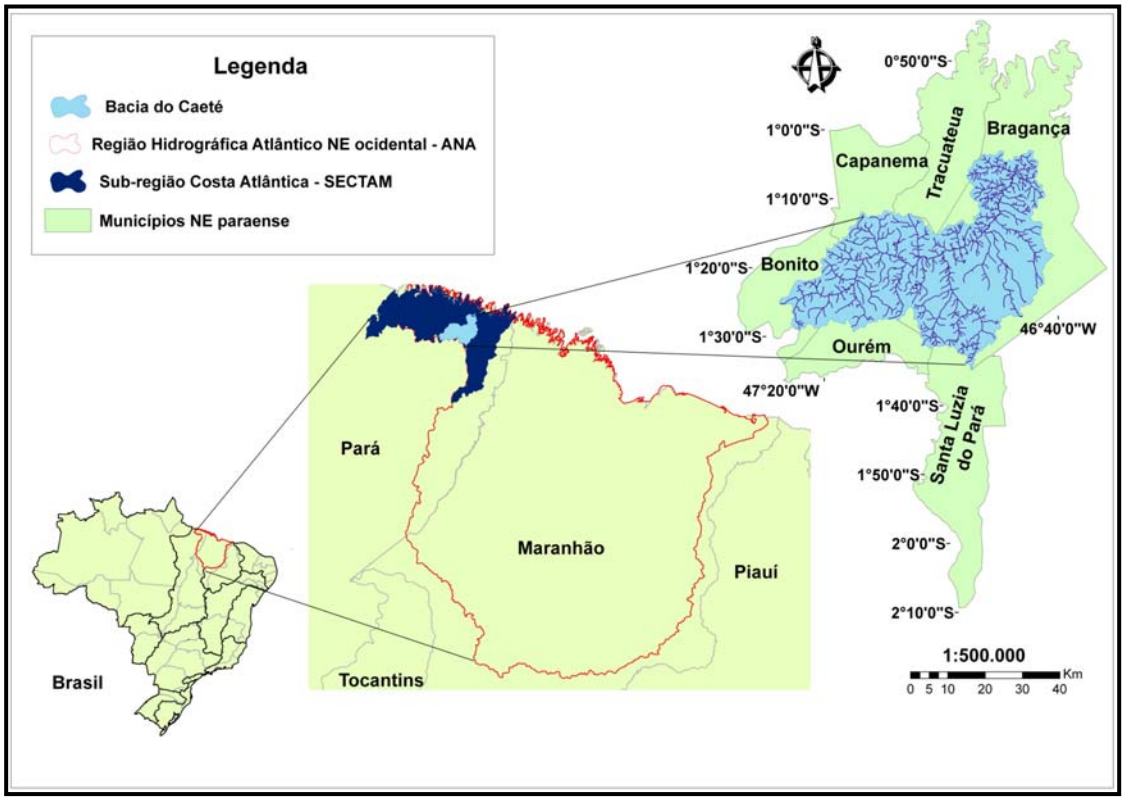

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do Caeté, mapa elaborado a partir das bases IBGE, 2005; ANA, 2006; LAIT, 2008. Projeção UTM, Datum WGS 84 Zona 23S.

3.2 – GEOLOGIA REGIONAL

A bacia hidrográfica do Caeté drena suas águas até o estuário deste rio, local este que promove o encontro das águas continentais com o oceano Atlântico, estando assim, esta bacia hidrográfica ligada diretamente a zona costeira.

A bacia hidrográfica do Caeté apresenta-se na forma da letra "J" tendo seu embasamento principalmente de rocha sedimentar do grupo Barreiras e, localizando-se como estudado por Palheta (2001) entre a Suíte Traquateua e o Grupo Gurupí.

Segundo Souza Filho e Lara (no prelo)[1], a integração de dados relativos a tectônica, geomorfologia, fisiografia, geofísica, neotectonica e sensoriamento remoto permitiu uma análise da evolução geomorfológica da zona costeira de mangue da Amazônia concluindo com relação a neotectônica que as direções de falhas *strike-slip* (E-W para ESE-WNW) estão associadas com a longa zona de fratura *mid-Atlantic ridge* e o dobrando flexural litosférico causado pela carga de sedimento Amazônica na *shelf* continental, resulta em tensão extensional NE-SW (Figura 2).

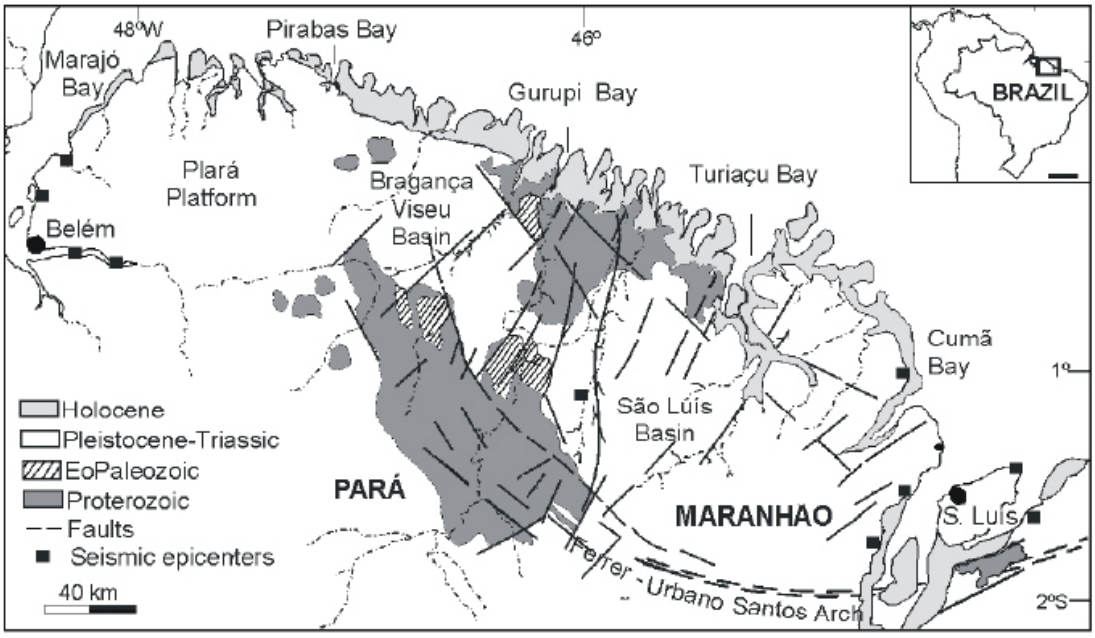

Figura 2 – Mapa geológico da região NE paraense. Fonte: adaptado de Gorayeb, 1999 por Souza Filho e Lara (no prelo).

[1] SOUZA FILHO, P. W. M. & LARA, R.J. *The Amazon mangrove coast: a critical review on the influence of structural framework and neotectonic on its geomorphological evolution.* Journal of South American Earth Sciences (no prelo).

Segundo Ackermann (1969), entre Taciateua e Quatro Bocas predominam terras vermelhas do grupo Barreiras acompanhadas sempre pelo relevo irregular de Pirabas. Grandes depósitos de seixos rolados, bem como de areia alva, encontram-se, no topo do alto, entre o rio Guamá e Caeté. Os depósitos de seixos rolados que se encontra com mais de 40 metros acima do atual rio Guamá, bem como nos flancos dos terraços descendo até o leito deste rio, também numa faixa elevada entre os rios Guamá e Caeté e, a continuação desta faixa até a costa marítima, numa seqüência certa, admite a possibilidade de que os mesmos representam o antigo leito do rio Guamá, antes da elevação do Arco do Guamá, que desviou o curso deste rio, sendo o atual Caeté o curso primitivo do rio Guamá.

Pode-se ainda admitir que as forças tectônicas que causaram o levantamento do Arco do Guamá, atuaram durante o Mioceno Inferior, sendo também responsáveis pela regressão marinha, e, subseqüente esvaziamento do Mar de Pirabas (ACKERMANN, 1969) Observa-se a figura 3.

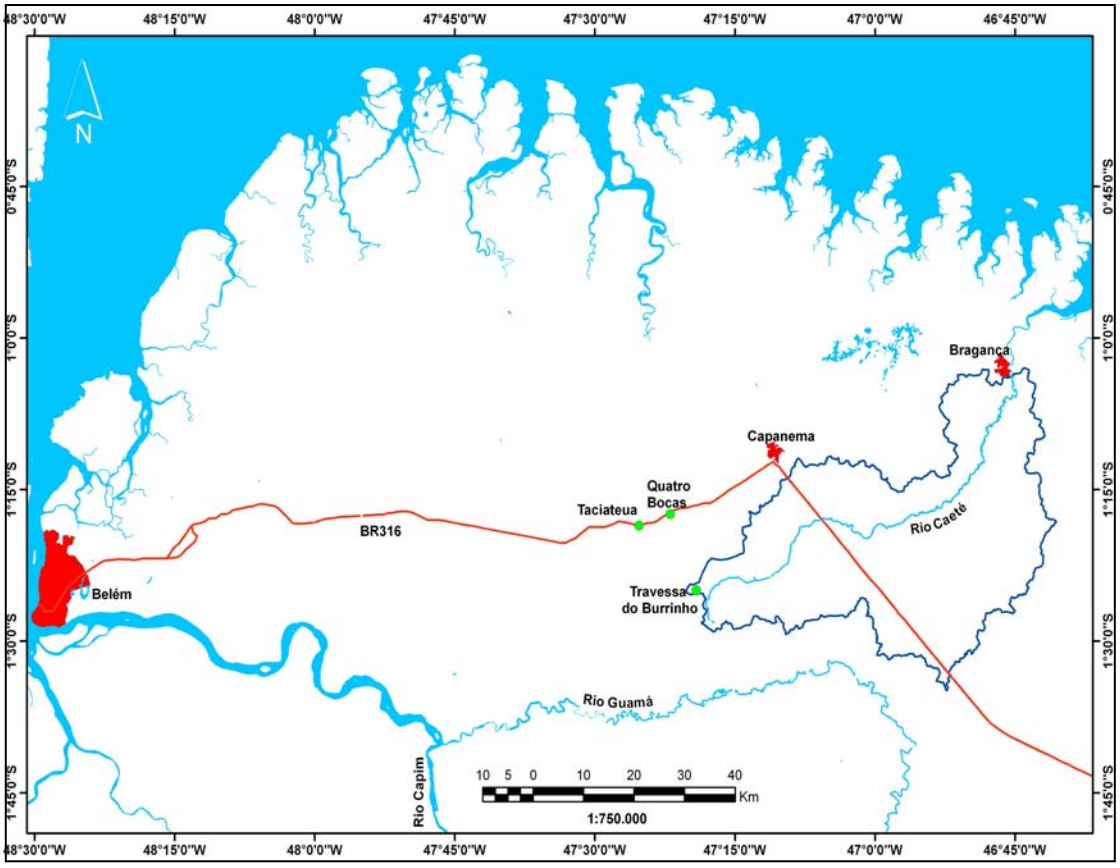

Figura 3 – Mapa indicando a área do NE paraense descrita por Ackermann e a localidade Travessa do Burrinho nascente do rio Caeté.

A bacia sedimentar de Bragança-Viseu (Figura 4) ocupa uma área de 500 km² no NE do Estado do Pará. Esta bacia acha-se subdividida em dois semi-grabens assimétricos de direção NW-SE, representados pelo baixo do Caeté a norte e baixo do Piriá a sul, que são estruturas separadas por uma zona de falhas transcorrentes com orientação NE-SW ativa desde o Aptiano (AZEVEDO[2], 1991 apud ROSSETTI; GÓES, 2004).

As partes mais profundas da bacia Bragança-Viseu estão localizadas nas áreas norte e central, próximas a zona de transcorrência. Seu empilhamento estratigráfico é ainda pouco conhecido. Com base em informações da Petrobrás obtidas na década de 1960, sabe-se que os depósitos sedimentares atingem pouco menos de 2000 m de espessura no depocentro. Destes, 800 m correspondem a sucessão basal Aptiana, representada dominantemente por arenitos médios de coloração avermelhada da Formação Grajaú, intercalados com folhelhos negros ricos em matéria orgânica com lentes carbonáticas, arenitos finos e nódulos de anidríta da Formação Codó, de origem lacustre (ARANHA[3] et al., 1990 apud ROSSETTI; GÓES, 2004).

Rossetti e Góes (2004) afirmam que a sucessão neógena desta bacia é bastante delgada, sendo representada por camadas miocênicas marinhas e quaternárias continentais.

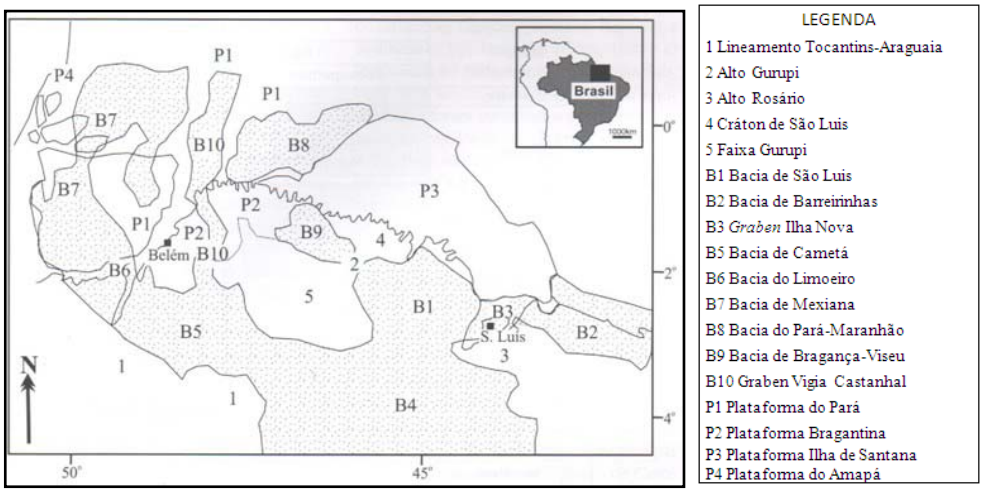

Figura 4 – Mapa com a localização das bacias sedimentares, áreas de plataformas e arcos tectônicos da margem equatorial norte brasileira. Indicando a Plataforma Bragantina. Fonte: Rossetti & Góes (2004).

[2] AZEVEDO, R.P. Tectonic evolution of Brazilian Equatorial Continental Margin Basins. Tese de Doutorado, University of London, Londres, 1991, 455p.
[3] ARANHA, L.G.F. et al. Origem e evolução das bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: Origem e evolução de Bacias Sedimentares (Eds. G.P. Raja Gabaglia & E.J. Milani), 221-233. Petrobrás, Rio de Janeiro 1990.

As unidades litoestratigráficas ocorrentes na área de estudo são representadas na sua maior parte pela Formação Barreiras a qual possui três classes distintas para os sedimentos do neógeno continental: fácies conglomeráticas, fácies argilo-arenosa e fácies arenosa, definidas por Góes e Truckenbrodt[4] (1980 apud ROSSETTI; TRUCKENBRODT; GÓES, 1989).

Apresentando estruturas sedimentares como *wavy* e *linsen*, estratificação sigmoidal e estratificação cruzada acanalada. Os tipos de estruturas sedimentares e as características das fácies indicam que estes sedimentos se desenvolveram em ambiente de planície de maré/estuário/plataforma interna, com importantes oscilações do nível do mar em contexto regressivo (COSTA et al,[5] 1993 apud SOARES JR, 2002).

Outra unidade que ocupa uma porção considerável da área de estudo é o Grupo Gurupí, o qual é composto por filitos, quartizitos e xistos, de idade pré-cambriana (PALHETA, 2001). Gorayeb[6] et al. (1999 apud PALHETA, 2001) considera como integrantes deste Grupo as unidades: formação Santa Luzia, Gurupi, Chega Tudo, Grupo Aurizona, Kinzigito Marajupema, formações Peritoró, Jeritequara e Vila Cristal.

Localizada na porção central da bacia hidrográfica do Caeté, a Formação Pirabas que segundo Ferreira[7] (1982 apud SOARES JR, 2002) é constituída por calcário cinza de composição variável (coquinas, bioermitos, micritos, dolomitos, margas e bioclasitos) intercalados com calcarenitos e folhelhos negros, depositados em ambiente marinho de águas rasas e quentes. As camadas de calcário variam de espessura entre 2 a 5m, entretanto nas proximidades de Capanema encontram-se 11m de espessura de calcário (SOARES JR., 2002).

Na porção norte da bacia do Caeté o menor embasamento geológico é constituído pela Suíte Intrusiva Tracuateua, a qual possui esta designação devido a Costa[8] (2000 apud KLEIN 2004) por reunir na unidade os corpos de granitóides aflorantes nas localidades de Tracuateua, Mirasselvas e Tauari, nas proximidades do

---

[4] GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. Caracterização faciológica e interpretação amiental dos sedimentos Barreiras na Região Bragantina, nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais...Camboriú, SBG, v.2. p. 766-771.

[5] COSTA, J.B.S. et al. A evolução cenozóica da região de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará. Geociências. 1993 V. 12(2), p. 373-396.

[6] GORAYEB, P.S.S. et al. Geologia e eocronologia da Suite Rosário, Nordeste do Brasil, e suas contextualizações Geotectônicas. 1999. *Rev. Bras. Geociências*, 29 (4): 571-578.

[7] FERREIRA, C.S. Notas estratigráficas sobre o cenozóico marinho no Estado do Pará. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA 1; 1982 *Anais*...v.1 p.84-88.

[8] COSTA, J.L. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás. Castanal, Folha SA.23-V-C.* Estado do Pará. Belém, CPRM (em CD-ROM).

município de Bragança, sendo os granitóides totalmente recobertos por sedimentação fanerozóica. Como exposto por Palheta (2001) são corpos graníticos à duas micas, isotrópicos e levemente foliados, onde a proporção de muscovita é maior que a de biotita.

3.3 – HIDROGRAFIA

Nascendo no município de Bonito, o rio Caeté serve de limite municipal para Ourém e, é o principal destaque da hidrografia de Santa Luzia do Pará e de Bragança, percorrendo a extensão de mais de 60 km (da nascente à foz), apresentando trechos ora estreitos (40 m), ora largos (principalmente próximo a sua foz, onde apresenta 10 km de largura), com influência das marés. Parte do seu curso é sinuoso, apresentando considerável trecho de várzea. A cidade de Bragança situa-se a cerca de 25 Km da foz (SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E FINANÇAS – SEPOF, 2006).

3.4 – CIRCULAÇÕES ATMOSFÉRICAS E CLIMATOLOGIA

Segundo Martorano[9] (1993 apud SILVA, 1998) o clima da região nordeste paraense é do tipo Am (clima de monções) de acordo com a classificação climática global de Köppen. Ocorre nesta região dois períodos diferenciados pela intensidade da pluviosidade, a qual é mais intensa nos meses de dezembro a maio.

A Zona de Convergência Intertropical é o principal sistema de grande escala que regula o regime de precipitação (2909,8 mm/ano) no litoral do estado do Pará (MÁCOLA; EL-ROBRINI, 2004).

Os ventos deslocam-se a partir da porção oriental do litoral amazônico, periodicamente orientados de Leste (E) e Nordeste (NE), sopram por influência dos anticiclones dos Açores e do Atlântico Sul (IBGE, 1993).

Monteiro (2006) afirma que na região costeira de Bragança predominam ventos de sentido NE com velocidades superiores a 3 m/s, durante metade do ano.

[9] MARTORANO, L.G. et al. Estudos Climáticos do Etado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather). Belém, SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, 1993, p. 53.

Segundo Moraes et al. (2005) a variação de precipitação anual na região NE do Estado do Pará possui valores entre 2300-2800 mm/ano registrando-se o inicio da estação chuvosa em janeiro e seu fim em agosto.

3.5 – SOLOS

Na área de estudo ocorrem a presença de associações de Latossolos, Plintossolos e Neossolos Flúvicos.

Os latossolo amarelos predominantes na região são originados da Formação Barreiras, são profundos, bastante envelhecidos, álicos de aspecto maciço, de textura média a argilosa e encontrada em relevo plano a suavemente ondulado (SILVA, 2001). Existem associados a este tipo de solo os espodossolo que são constituídos por solos minerais, pouco profundos a profundos, imperfeitamente a mal drenados, com perfil pedogenico bem diferenciado, que sofre processo de queluviação, que consiste na remoção de matéria orgânica, ferro e alumínio do horizonte A e consequente acúmulo no horizonte B. São excessivamente arenosos, com presença de horizonte superficial E, de areia extremamente lavada (horizonte álbico), e um horizonte epódico Bh ou Bhir rico em húmus e sesquióxidos de ferro e/ou alumínio, podendo estar compactados ou cimentado (SILVA, et al., 1999). É comum ocorrer na base do horizonte A, uma camada cimentada por colóides orgânicos e oxido de ferro, extremamente dura, compacta e pouco permeável (ALVAREZ; FONTES; FONTES, 1996).

Um perfil de espodossolo (Figura 5) localizado no trecho Bragança-Capanema, município de Tracuateua, PA, nas coordenadas S 01º 061 41.8'' W 046º 55' 40.0'' foi descrito morfologicamente por Antônio Ramalho Filho, Benedito Nelson, Eliane de Paula Clemente, Natália (no prelo) como possuindo horizontes Ap – 0-10 cm, areia; maciça porosa não coerente; muito friável, solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e clara; E1 – 10-40 cm, Branco (10YR 8/2); areia; maciça porosa não coerente; muito friável, solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e difusa; E2 – 40-150 cm, Branco (10YR 8/2); areia; maciça porosa não coerente; muito friável, solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e difusa; Bh – 250-270^{+} cm, Bruno escuro (7,5YR 4/4); areia; maciça porosa não coerente; muito friável, solta; não plástico e não pegajoso; transição abrupta. Possuindo raízes: Abundantes finas, muitas médias no horizonte Ap; poucas finas e médias no horizonte E1; raras finas e poucas médias no horizonte E2; ausentes no horizonte Bh.

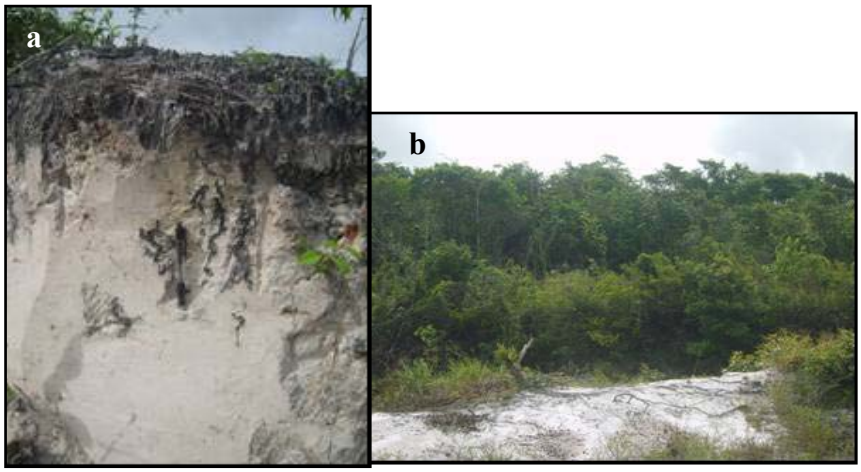

Figura 5 - a) Perfil espodossolo b) vegetação de capoeira de 6 a 7 anos. Fonte: foto cedida por Benedito Nelson.

Nas associações onde predominam os Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos são caracterizadas por serem pouco a medianamente profundos, medianamente a bem drenados, moderadamente esruturados e sendo solos de baixa fertilidade. (WATRIN, 2003). Nestas associações existem também os plintossolo que compreendem solos minerais hidromórficos, com horizonte plítico dentro dos 40 cm superficiais, sendo solos profundos, fortemente ácidos, bastante intemperizados, imperfeitamente drenados de textura que varia de siltosa a muito argilosa. O horizonte plíntico que caracteriza este solo é constituído de material argiloso, rico em sesquióxidos e pobre em húmus que sob condições de umedecimento e secagem, endurecem irreversivelmente, especialmente quando exposto ao calor do sol (SANTOS, 1999).

A sequência de horizontes é do tipo A-B-C, sujeitos a saturação hídrica temporária. As tonalidades cinzentas são indicativas de redução e as vermelhas de oxidação, os quais, nos períodos secos vão formar as plititas. O horizonte plítico tem espessura igual ou superior que 15 cm, coloração variada e 15% ou mais de plintita por volume no material constitutivo (ALVAREZ; FONTES; FONTES, 1996).

O neossolo flúvico é outro tipo presente na região de estudo e compreende solo pouco desenvolvido, proveniente de deposições fluviais recentes e que apresentam apenas um horizonte A superficial diferenciado, sobrejacente a camadas estratificadas IIC; IIIC, etc., as quais, normalmente, não guardam relações pedogenéticas entre si. São moderadamente profundos a muito profundo, de textura das mais diversas, mal drenados e, em geral, são de grande potencial agrícola (SILVA, 1999).

3.6 – VEGETAÇÃO

Vários municípios do nordeste paraense possuem mais de 50% de sua cobertura florestal composta por vegetações secundárias denominadas de capoeiras; fato comprovado em estudos de paisagens por Watrin; Santos e Valério Filho (1996), Venturieri (1998) entre outros.

A vegetação de capoeira ocorre com a derrubada da mata primária. Caso esta não seja queimada, o início da vegetação é constituído por arbustos e plantas herbáceas. Com o passar dos anos este tipo de vegetação acaba sendo dominado por arbustos de maior porte e árvores de crescimento rápido. Caso haja queima depois da derrubada da mata primitiva, o número de espécies é bem menor com o início da vegetação de capoeira ocorrendo pelo gênero *Miconia* e *Solanum,* espécies que são muito exigentes de luz. Com o tempo ocorre o domínio de vegetais de crescimento mais lento, possuindo como espécies dominantes: imbaubeiras (*Cecropia* sp.) e árvores menores como das espécies *Ocotea nobilis, Ocotea guianensis, Inga heterophylla, Inga alba, Fagara rhoifolia*, sobrepujando a vegetação inicial, a qual tende a desaparecer (VIEIRA, 1967).

Alencar et al. (apud WATRIN, 2003) analisaram a dinâmica do uso da terra em diferentes áreas da microrregião Bragantina e verificaram um inexpressivo remanescente florestal restrito às margens dos principais rios e igarapés, muito embora, empobrecidos pelos processos de utilização da terra.

A vegetação de várzea (terras baixas que margeam os rios com extensões variáveis), devido ao processo de sedimentação pode ser dividida entre alta, baixa e igapó. No igapó encontram-se como vegetação típica o açaí, o anani (*Sumphonta globurifera* L.), ucuúba (*Virola surinamensis* Warb.), mututi (*Pterocarpus amazonicus* Huber) e palmeiras marajá (*Bacthis* sp.) e caraná; na várzea baixa dominam várias espécies de palmeiras e; na várzea alta ocorrem destaque para andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), pracaúba (*Mora paraensis* Ducke), açacú (*Heira cripitus* L.) e taperebá (*Spordias lutea* L.) (VIEIRA, 1967).

Fora do alcance de inundações acha-se a floresta ombrófila densa das terras baixas ou floresta de terra firme que apresentam formações vegetais típicas de áreas úmidas e super úmidas, caracterizadas por elevadas temperaturas com médias, oscilando entre 22º a 25ºC, elevada precipitação pluviométrica, superior a 2.300 mm e bem

distribuída durante o ano, com período de estiagem inferior a sessenta dias, bem como, sem a presença de período biologicamente seco (OLIVEIRA, 2002). Os indivíduos emergentes, aqueles que mais se desenvolvem em altura, pois são exigentes de luz, possuem como representantes: *Tachigalea mirmecofila, Tetragastris altíssima, Caryocar villosum* e *Hymensae oblongifolium*. Os indivíduos que formam a abóbada estão distribuídos nas seguintes famílias botânicas: *Lecytidaceae; Sapotaceae; Busseraceae* e; *Leguminoseae* (VIEIRA, 1967).

As áreas paraenses colonizadas por manguezais, como considera Mendes (2003) são predominantes ao longo da costa e encontram-se muito bem preservados, relativamente bem protegidas por restingas e abrigadas no interior dos estuários, apresentando maior permanência de condições de desenvolvimento no tempo e no espaço. Entretanto, no caso da região de Bragança, como afirma Souza Filho (2001) a construção da estrada que liga a sede municipal à praia de Ajuruteua é a maior obra de impacto antrópico da costa norte do país, pois estando sobre depósitos de planície de intermaré lamosa, secciona 25 km de áreas densamente colonizadas por manguezais. Tal vegetação possui como gêneros dominantes *Rhyzophora*, *Lagunculária* e *Avicenia*.

3.7 – SEDIMENTOLOGIA DO CAETÉ

Estudando a relação entre a morfologia das bacias de drenagem e a morfologia costeira de quatro bacias hidrográficas do nordeste paraense Asp et al. (2007) concluíram que apesar das áreas das bacias variarem de 540 km² amais de 34.000 km², os perfis de talveges são bastante similares possuindo um gradiente muito baixo com valores na ordem de 0, 05º demonstrando assim, uma baixa velocidade e transporte de sedimentos de fundo em direção a costa, portanto a morfologia costeira é controlada quase que exclusivamnete pela dinâmica marinha em especial o regime de macro-marés.

Estudos sedimentológicos como os de Leite (2007) e Pereira (2007) sobre os sistemas fluviais da região nordeste paraense tem constatado que a areia média é a classe predominantemente transportada o que cotribui para a deposição e acumulação deste sedimento nas porções estuarinas, considerando este processo decorrente de um longo tempo.

Segundo Pereira (2007) no período chuvoso observa-se uma granulometria mais grosseira dos sedimentos fluviais do Caeté, sendo este mais evidente no canal em detrimento as margens.

A pluviosidade é o caráter determinante para as características granulométricas na porção fluvial do Caeté, onde no período chuvoso ocorre um incremento na vazão, assim como para as correntes possuindo seu aumento mais significativo no canal e por este motivo justifica-se tal granulometria mais grosseira para a estação chuvosa nesta porção fluvial (PEREIRA, 2007).

3.8 – OCUPAÇÃO DA REGIÃO

A microrregião bragantina, no nordeste paraense, representa uma das regiões mais antigas de ocupação humana na Amazônia e constitui um exemplo bem representativo da transformação de paisagens florestais em áreas com grau de antropização acentuado (WATRIN, 2003).

A história de colonização desta região possui um grande marco que foi a construção de uma via férrea.

A necessidade de colonização da região bragantina, aliada ao anseio da população de ligar Bragança com a capital do estado do Pará concorreu para que as autoridades planejassem esta construção. Tal construção que se concretizaria em 1908 englobou aspectos sociais – com o surgimento de núcleos populacionais ao longo da estrada e econômicos – com o incremento do comércio e da agricultura locais, que teriam garantido o escoamento da produção, através do trem de cargas e passageiros. As tentativas oficiais de colonização não obtiveram sucesso, tendo a ocupação ocorrida de forma espontânea, principalmente por nordestinos, atraídos pelo número significativo de grandes áreas devolutas, no município. Apesar das pessoas praticarem uma agricultura primitiva, a zona bragantina foi impulsionada ao crescimento, chegando a firmar sua posição como celeiro de Belém (CPRM, 1998).

Não obstante a importância econômica e, principalmente, a amplitude dos benefícios sociais que a Estrada de Ferro proporcionou à região bragantina, ao longo de seus vários anos de funcionamento, a mesma foi extinta, em 1965, sob a alegação de ser deficitária (CPRM, 1998).

O setor primário ainda se destaca, uma vez que concorre significativamente para a economia municipal, a atividade agrícola em Bragança é considerada de subsistência, estando apoiada na mandioca e no feijão. A farinha da mandioca, consumida em larga escala pela população, tem sua produção suficiente para abastecer todo o mercado interno e o excedente é exportado para outros municípios inclusive para Belém (CPRM, 1998).

Estas atividades são observadas ainda hoje na porção próxima a nascente do rio Caeté nos municípios de Bonito e Ourém.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO

Foi realizado um levantamento bibliográfico e cartográfico junto a instituições de ensino e pesquisa como a Universidade Federal do Pará – UFPA, o Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, órgãos públicos como a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e o Sistema de Proteção da Amazônia – Centro Técnico e Operacional de Belém – SIPAM-CTO/BE além de pesquisa em coleções, artigos e na internet.

4.2 – LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Foram realizadas três campanhas, a primeira em abril de 2008, a segunda em junho de 2008 e a terceira em setembro de 2008.

O objetivo da primeira campanha foi de reconhecimento da bacia do Caeté para reconhecimento da paisagem e estabelecimento da logística a ser realizada nas campanhas subseqüentes, identificando os locais mais adequados para a coleta de dados hidrodinâmicos ao longo do rio Caeté (Figura 6), levando em consideração questões como os acessos aos locais de coleta, o caráter retilíneo e a profundiade da seção do rio, a vegetação marginal, largura do canal e a presença de estruturas físicas como: pontes e cabanas.

A segunda e terceira campanhas tiveram como objetivo a coleta dos dados hidrodinâmicos, utilizando-se para isso o ADCP WorkHorse Sentinel da Teledyne RD Instruments, o software Winriver, e garrafas de polietileno para coleta de material em suspensão. Além do distanciometro marca LEICA modelo A3 para medir as distâncias entre as margens, foram feitos registros fotográficos, observações em caderneta de campo e coleta de dados de posicionamento global por meio do GPS Garmin Vista (Figuras 7 e 8).

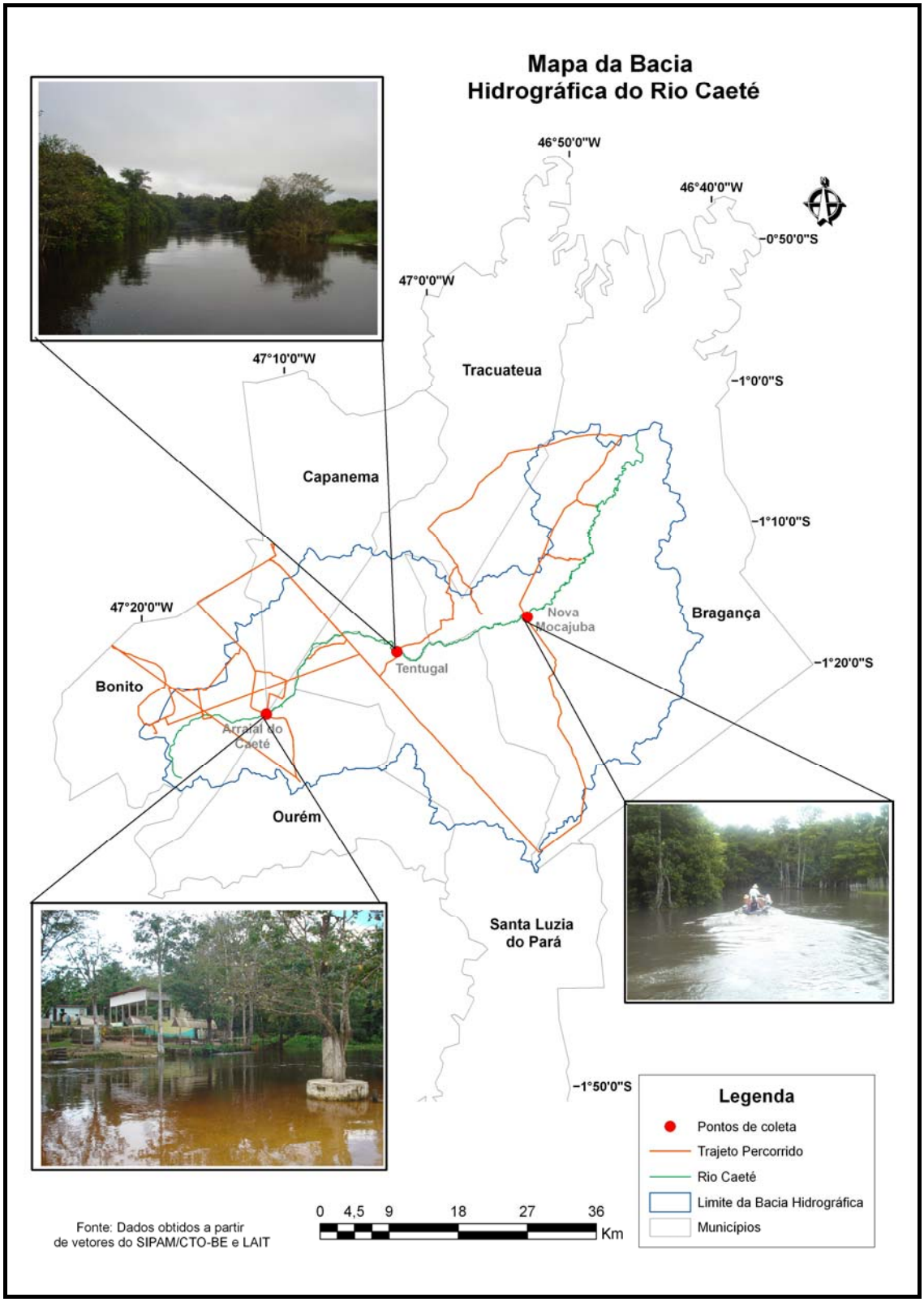

Figura 6 – Trajeto percorrido para identificação dos melhores locais de coleta.

Figura 7 – Configuração do ADCP antes das medições.

Figura 8 – Coleta de pontos com o GPS Garmin Vista.

4.3 – MORFOMETRIA DA BACIA DO CAETÉ

Optou-se pela delimitação realizada por Souza[10] (no prelo), a qual extraiu automaticamente as drenagens a partir de imagens SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) e determinou o exutório da bacia do Caeté como sendo o ponto 0,1‰ de salinidade medido em campo no mês de maior vazão (maio/2007), já que o rio Caeté possui em sua foz forte influência do oceano Atlântico, baseado-se no método de Pritchard e Carter[11] (1971 apud SILVA 1998).

Com a delimitação da bacia e da rede de drenagem calculou-se os parâmetros morfométricos descritos por Christoffoleti (1974) tais como a hierarquia fluvial, a análise linear da rede hidrográfica, a analise areal da bacia hidrográfica e a analise hipsométrica.

Com imagem SRTM através da ferramenta *surface analysis* do pacote *spatial analyst* do ArcGis 9.2 extraiu-se os mapas de declividade, hipsométrico, curvatura vertical e horizontal e, gerou-se o mapa de forma do terreno seguindo os parâmetros sugeridos por Valeriano (2008).

A ferramenta surface analysis permite o cálculo da declividade do terreno por meio da razão maxima de mudança entre cada célula e seus vizinhos nos dados raster. Quanto menor o valor de inclinação das células do raster de saída mais plano será o terreno (Environmental Systems Research Institute – ESRI, 2001).

4.4 – LEVANTAMENTO HIDRODINÂMICO

Para o levantamento hidrodinâmico nos três transectos escolhidas para coleta dos dados foi utilizado o software Winriver e o aparelho ADCP WorkHorse Sentinel da Teledyne RD Instruments, o qual foi acoplado em um barco de alumínio com motor de popa.

Foram realizadas aproximadamente 10 medições em cada seção transversal visando aumentar a precisão dos dados, através da obtenção de um resultado médio entre estes e eliminando os resultados discrepantes. Para tanto, as configurações do equipamento foram ajustadas para o módulo 1, o qual é sugerido pela Teledyne RD

---

[10] SOUZA, Susane Rabelo. Tese de Doutorado (no prelo).

[11] PRITCHARD, D.W. & CARTER, H.H. Classification of estuaries. In: SCHUBEL, J.R. Ed. *Estuarine environment: estuaries and estuarine sedimentation*. Washington D.C., American Geological Institute. 1971. Cap. II, p. 9-11.

Instruments (2008) para obter os resultados mais condizentes com a realidade local, devido ser considerado pela própria empresa como o mais robusto, suportando áreas de turbulência e locais com baixa vazão e profundidade, características físicas estas encontradas no ambiente em questão (baixas correntes e profundidades menores que 6m) e locais pontuais com elevada turbulência. Foram realizados testes com diferentes *ensembles*, identificando-se a célula de 10cm² como a mais adequada e dispondo o equipamento a 10 cm da superfície, já que as condições hidrodinâmicas permitiam tal forma de medição.

Para a avaliação da qualidade das medições foi utilizada a ficha de medição elaborada em planilha eletrônica por Rodrigues (2008), a qual pode ser visualizada no Anexo I. Esta planilha se utiliza dos dados de *composite tabular*, *ensemble head tabular* e *discharg history tabular* para chegar a um índice de qualidade das medições adotando-se os parâmetros de Gamaro (2007 apud RODRIGUES 2008).

4.5 – SEDIMENTOLOGIA

Para a analise da sedimentologia do rio Caeté utilizou-se a analise textural realizada por Pereira (2007) e complementou-se com a quantificação da concentração dos sedimentos em suspensão, obtida através de filtração a vácuo (Figura 9).

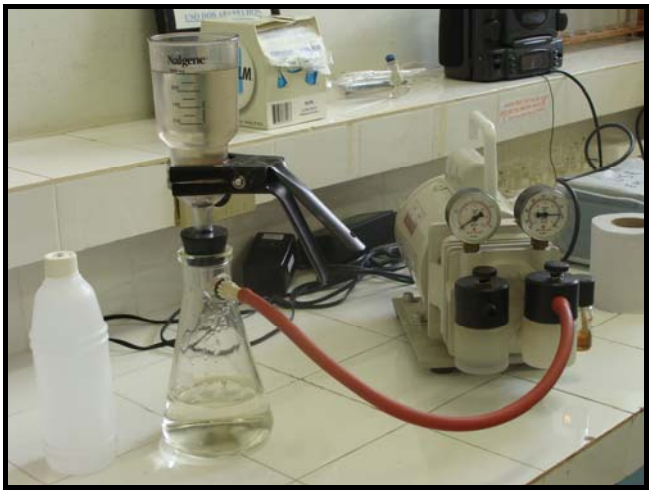

Figura 9 – Filtração a vácuo.

4.6 – ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA

Esta analise foi realizada com os dados de pluviosidade das estações Nova Timboteua, Capanema, Primavera, Emborai, Santa Luzia do Pará e Ourém, sendo administradas pela ANA e operadas pela CPRM.

Foram calculados os valores de precipitação média mensal e anual, os dias de chuva, estes sendo convertidos para meses e calculou-se a intensidade pluviométrica para um período de 10 anos (1998-2008) (Tabela 1).

Estes valores foram tratados no editor de planilha do Microsoft EXCEL, realizando-se os seguintes procedimentos: para as estações pluviométricas que apresentaram alguma falha na coleta foram feitas uma média entre valores coletados em períodos equivalentes para que as lacunas fossem preenchidas; calculou-se o valor de intensidade pluviométrica para cada estação a partir da equação 1.

Equação 1.

$$\text{Intensidade pluviométrica} = \frac{\text{Precipitação média anual}}{\text{Número de dias com chuva/30 *}}$$

*O número de dias com chuva é transformado em meses dividindo-se seu total por 30.

Tabela 1 – Valores de precipitação média mensal e anual, número de dias com chuvas e valores de intensidade pluviométrica para cada estação.

Estações	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	P.M.A	N.D.C/ 30	I.P
Capanema	298,7	302,4	413,4	410,2	295,6	181,1	199,3	124,5	79,3	19,6	14,7	78,0	2416,5	5,9	408,5
Emboraí	230,5	302,7	422,4	399,8	289,5	236,4	196,9	83,3	20,0	21,2	10,1	49,8	2262,6	6,0	378,6
Nova Timboteua	247,6	311,3	376,6	324,7	282,7	199,7	145,4	100,4	62,1	31,0	25,8	99,8	2207,1	6,2	355,6
Ourém	193,7	285,1	347,5	321,9	237,5	174,4	136,6	88,6	86,8	54,2	49,0	101,2	2076,4	6,5	320,5
Primavera	276,2	426,3	602,6	419,1	301,9	257,6	230,1	82,5	18,1	8,8	5,0	57,3	2685,3	6,2	434,0
Santa Luzia do Pará	268,0	368,5	415,1	405,7	315,4	245,0	227,7	111,0	67,4	37,6	34,2	76,4	2571,9	6,6	392,2

Onde P.M.A é a precipitação média anual (mm); N.D.C é o número de dias com chuvas dividido por 30 (mês); I.P é a intensidade pluviométrica (mm/mês).

Os dados de intensidade pluviométrica foram espacializados e realizou-se a interpolação por *spline* do pacote de ferramentas *spatial analyst* do ArcGis 9.2 gerando assim a carta de pluviosidade da bacia do Caeté.

4.7 – USO E COBERTURA DA TERRA

Para a realização deste processamento utilizou-se os softwares Envi 4.3 e ArcGis 9.2, este último foi utilizado na elaboração das cartas de geologia, pedologia e geomorfologia por meio da ferramenta *analysis tools* extraindo-se as feições geológicas,

geomorfológicas e pedológicas do mapeamento sistemático realizado na escala 1:250.000 pelo RADAM e disponibilizados em formato vetorial pelo SIPAM/CTO-BE e IBGE.

Para os mapas de uso e cobertura da terra utilizou-se:

- Arquivos vetoriais digitais das bases ANA, SIPAM, IBGE e Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido – LAIT/UFPA, relacionados aos respectivos temas: Bacias hidrográficas; Municípios e Estados; Drenagem e Bacia do Caeté.

- Arquivos raster de Sistemas Sensores disponíveis pela Univesidade de Maryland no site http://glcf.umiacs.umd.edu da Global Land Cover Facility – GLCF, da National Aeronautics and Space Administration – NASA no site https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, contou-se também com o acervo de imagens do LAIT, estes dados e as principais características podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação de imagens utilizadas com suas principais características.

Sensor	Cena	Bandas	Data da Imagem	Resolução Espacial	Fonte
Landsat 5 TM	223/61	1, 2, 3, 4, 5 e 7	22/07/1988	30 metros	INPE
Landsat 5 TM	222/61	1, 2, 3, 4, 5 e 7	31/07/1988	30 metros	INPE
Landsat 7 ETM+	223/61	1, 2, 3, 4, 5 e 7	21/07/1999	30 metros	INPE
Landsat 5 TM	222/61	1, 2, 3, 4, 5 e 7	07/08/1999	30 metros	LAIT
Landsat 5 TM	223/61	1, 2, 3, 4, 5 e 7	13/07/2008	30 metros	INPE
Landsat 5 TM	222/61	1, 2, 3, 4, 5 e 7	20/06/2008	30 metros	INPE
Landsat 7 ETM+	S-23-00	2, 4 e 7	2000	15 metros	MRSID
SRTM	s001w047, s001w048, s002w047, s002w048	C e X	2000	90 metros	GLCF

4.7.1 – Parâmetros cartográficos

Em face das características dos dados de entrada que subsidiaram a etapa de processamento, análise e mapeamento, optou-se pelos elementos cartográficos, conforme listados na tabela 3.

Tabela 3 – Elementos utilizados para promover uma menor distorção da realidade mapeada.

Elementos Cartográficos	
Sistema de Referência	Datum Geocêntrico WGS – 84 Elipsóide WGS – 84
Sistema de Projeção	Universal Transverso de Mercator (UTM) Fuso 23S Meridiano Central 45° W de Greenwich
Fator de Redução de Escala	Ko = 0,9996
Escala de Mapeamento	1:150.000 (escala possível de mapeamento a partir da Precisão Gráfica)
Precisão Gráfica	30 metros (baseado na resolução espacial da imagem TM)

4.7.2 – Processamento digital de imagens (PDI), análise e mapeamento

Para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia do Caeté, utilizou-se o software Envi 4.3 primeiramente para a correção atmosférica das imagens, analisando-se os histogramas e aplicando-se o processamento *dark subtract* como determinado pelo método de Chavez (1988), o qual proporciona a subtração do pixel escuro das bandas 1, 2, 3 e 4, corrigindo-se assim, os valores de cinza que se adicionam ao alvo estudado por efeito dos gases e aerossóis (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores subtraídos nas matrizes das imagens.

IMAGEM (SENSOR/DATA)	CENA	BANDAS	VALORES DE PIXEL ESCURO
TM 31-07-1988	222-61	1	64
		2	22
		3	14
		4	6
TM 22-07-1988	223-61	1	65
		2	24
		3	17
		4	8
ETM+ 21-07-1999	223-61	1	58
		2	21
		3	14
		4	8
TM 07-08-1999	222-61	1	68
		2	50
		3	32
		4	24
TM 13-07-2008	223/61	1	46
		2	19
		3	11
		4	06
TM 20-06-2008	222/61	1	47
		2	18
		3	10
		4	05

Para o georreferenciamnto das imagens de 1988, 1999 e 2008 utilizando-se Pontos de Controle do Terreno obtidos junto a imagem de referência: imagem ortorretificada do sensor ETM^{+} do ano de 2000, a qual teve seus pixeis reamostrados para 30 m, possibilitando assim o georreferenciamento com erro podendo ser visualizado na tabela 5.

Tabela 5 – Erro quadrático médio obtido na correção geométrica das imagens.

Sensor/Data	Cena	RMS
TM 22-07-1988	223/61	0,39
TM 31-07-1988	222/61	0,41
ETM+ 21-07-1999	223/61	0,32
TM 07-08-1999	222/61	0,36
TM 13-07-2008	223/61	0,33
TM 20-06-2008	222/61	0,49

A bacia do Caeté está compreendida numa área de interseção entre as órbitas-ponto 222/061 e 223/061 do satélite Landsat, havendo assim a necessidade de construção de um mosaico. Este foi realizado através da ferramenta *mosaicking georeferenced*.

Ainda neste software recortou-se a área da bacia do Caeté através da ferramenta *subset data via ROI's,* tendo como região de interesse o vetor da área da bacia cedida pelo LAIT.

Por fim, classificaram-se as imagens, atribuindo certo conjunto de elementos de imagem (pixeis) em determinada classe (NOVO,1989). O método escolhido foi o *Maximum Likelihood* supervisionado, o qual por meio de um algoritmo de análise estatística separa as classes considerando as amostras coletadas.

Para a coleta das amostras foram consideradas as seguintes classes: água, solo exposto, floresta sucessional inicial/pasto, floresta sucessional secundária/ombrófila densa, nuvens e sombras.

Na categoria Solo Exposto estão inclusas áreas: urbanas, de rodovias, de exposição total do solo como os locais de extração de areia, de exposição parcial da terra devido ao início de novos ciclos de cultura e áreas degradadas.

Nas imagens de sensores remotos esta categoria apresenta alta reflectância, formas geométricas bem definidas e tonalidades variando de acordo com a ocupação (ANDERSON[12] et al., 1979 apud ALMEIDA, 1999).

A elevada reflectância ocorre, sobretudo com picos na banda 5 compreendendo a faixa de 1,55 – 1,75 µm do espectro eletromagnético (Figura 10).

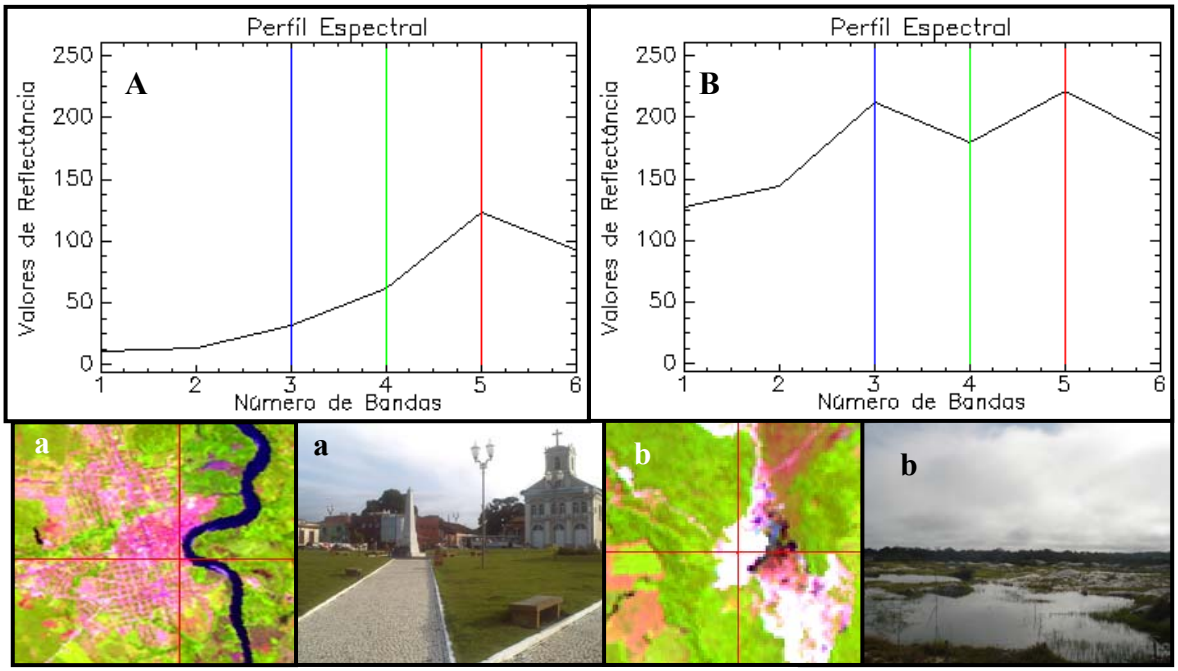

Figura 10 – A) Apresenta o perfil espectral da área urbana; a) área urbana; B) Perfil espectral de solos totalmente expostos; b) locais de extração de areia para utilização em construção civil.

A classe Água compreende os rios e outros corpos d'água ao longo da bacia do Caeté. Nesta classe a absorção nos comprimentos de onda do infravermelho próximo é característica (Figura 11).

[12] ANDERSON, J.R. et al. *Sistema de Classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados e sensores remotos*. Rio de Janeiro, IBGE, 78 p. 1979, (série Paulo Assis Ribeiro)

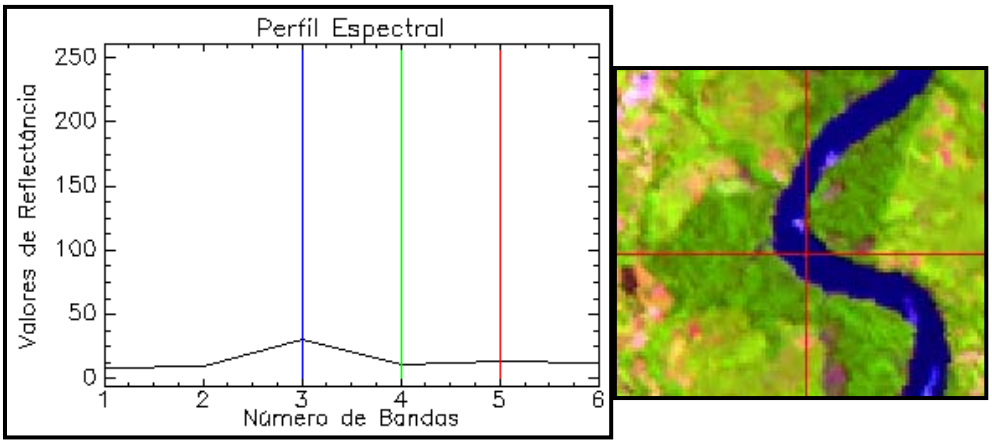

Figura 11 – Perfil espectral de corpos hídricos, elevada absorção nas bandas 4 e 5.

A classe Floreta Sucessional Inicial/Pasto, denominada de capoeirinha (IBGE, 1992), é a mesma denominação usada pelos nativos da região, a qual apresenta grande quantidade de ervas e arbustos e poucas árvores (ALMEIDA, 1999).

Apresenta-se espectralmente com textura lisa a média, com cobertura vegetal uniforme e rala, apresenta-se com forma geométrica e, com textura rugosa quando há maior incidência de indivíduos de porte arbustivo (VENTURIERI, 1996).

A pastagem incluída nesta classe foi composta pelas regiões que se apresentaram espectralmente com tonalidades verde brilhante, laranja e amarelo (Figura 12).

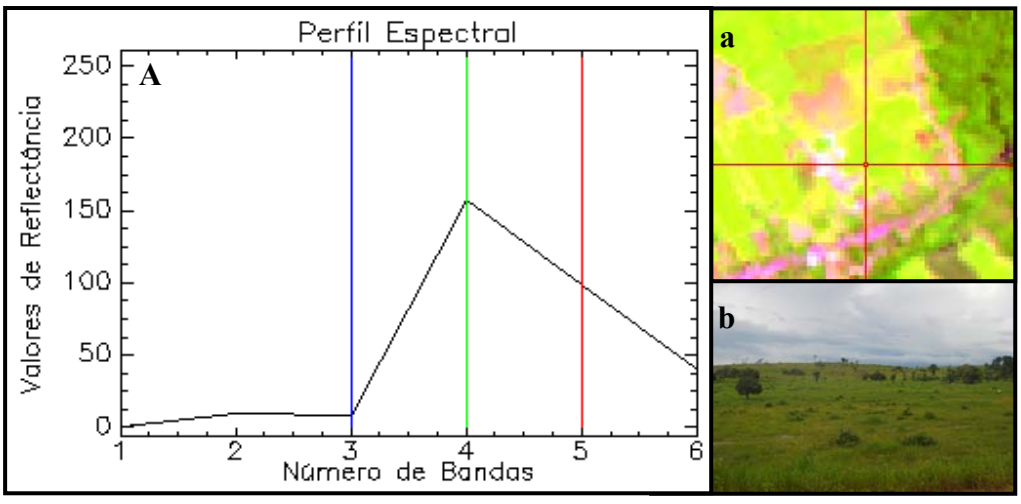

Figura 12 - A) Perfil espectral com elevada reflectância na faixa 0,75 - 0,90um (banda 4) a) Área de pasto b) Foto da área de pastagem.

A categoria Floresta Sucessional Secundária/Ombrófila Densa é compostas tanto das Florestas Ombrófilas Densas de Igapó como as de Terra Firme, as quais se

confundem muito espectralmente, podendo ser diferenciados devido a proximidade da Floresta Ombrófila de Igapó com os rios.

Os padrões espectrais destas florestas aparecem com tonalidades escura e a textura lisa ou mosqueada (SANO[13] et al., 1989 apud ALMEIDA, 1999).

Nesta categoria entraram também as Florestas Sucessionais Intermediarias ou Secundárias, denominada de capoeira (IBGE, 1992), pois o trabalho não requeria uma diferenciação entre estas classes, apesar da capoeira apresentar textura lisa a média e tonalidade média ao claro, diferenciando o seu perfil espectral da floresta densa de igapó ou de terra firme principalmente na reflectância da faixa de 1,55 – 1,75µm (banda 5) (Figura 13).

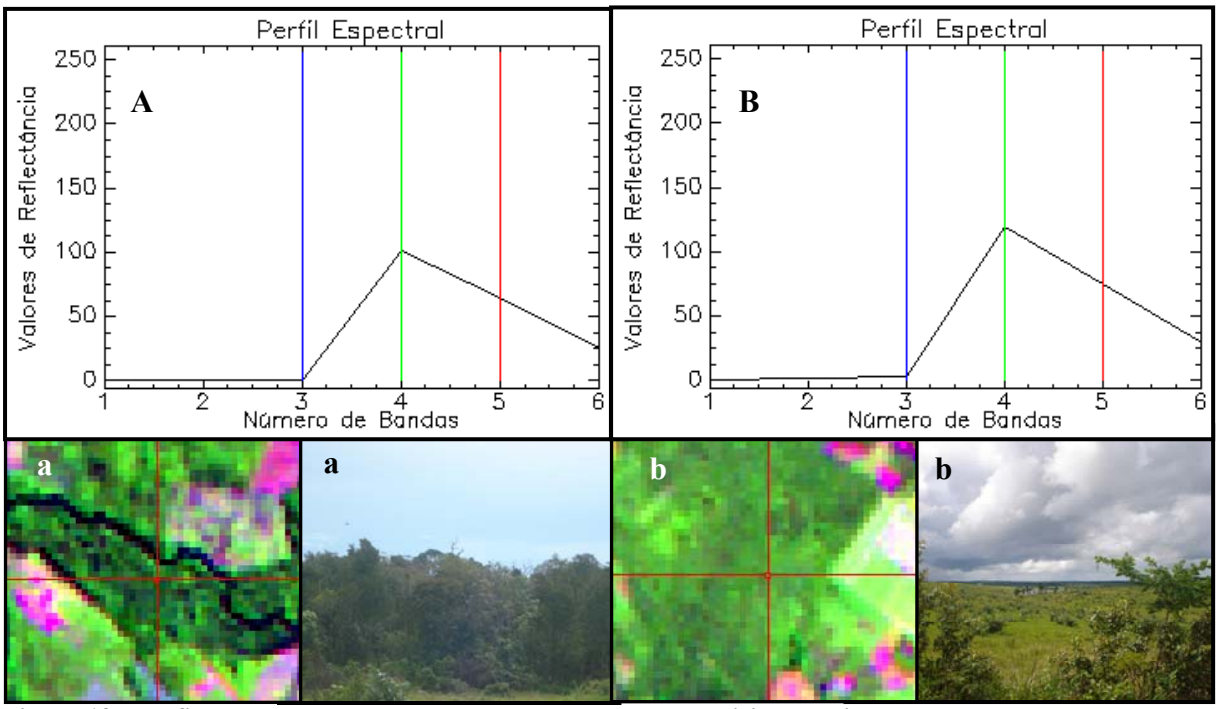

Figura 13 - Perfil espectral com grande absorção na porção do visivel, devido a presença de água. a) Floresta Ombrófila de Igapo. B) Perfil espectral da Floresta Sucessional Intermediaria. b) Área de Floresta Secundária.

A classe sombra foi considerada, pois oculta alvos encobertos por ela. Com relação ao perfil espectral apresentado nesta imagem percebe-se a elevada absorção e um pico de reflectância na porção 0,76 – 0,90µm (banda 4), demonstrando uma possível interferência desta classe com vegetação. Uma das características da região NE paraense

[13] SANO, E.E. et al. *Levantamento do uso atual da terraatravés de imagem do Landsat 5-TM na Microrregião de Tomé-Açu e alguns Municípios das Microrregiões do Baixo Tocantins e Guajarina Pará*. Belém, SUDAM-CHSRA/OEA, 67p. 1989.

é a presença de nuvens durante todo o ano, inviabilizando muitas vezes a obtenção de imagens de sensores passivos (Figura 14).

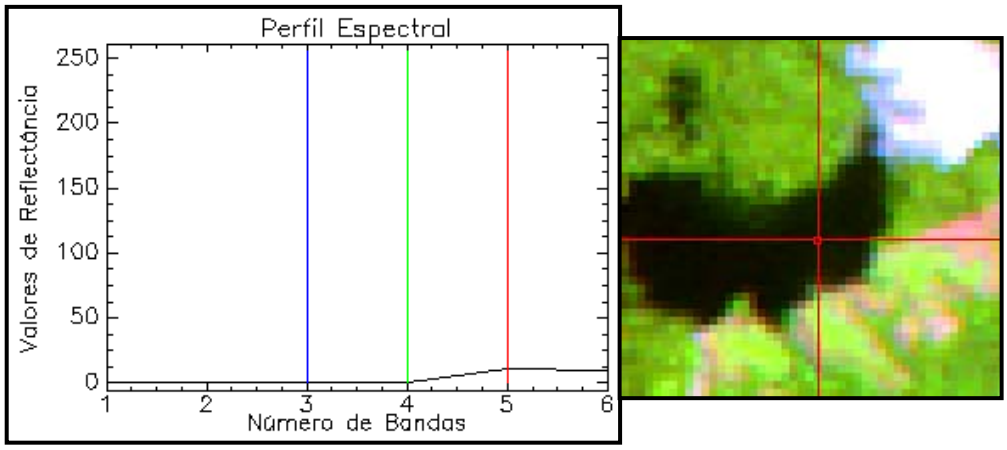

Figura 14 – Perfil espectral de áreas cobertas por sombras.

As imagens classificadas foram exportadas com suas classes em tons de cinza no formato *.tiff*, para a realização do mapeamento temático no software ArcGIS 9.2. Neste software utilizou-se a conversão *raster to features* da ferramenta *spatial analyst*, o que permitiu o cálculo das áreas (classes agora vetorizadas), por meio da ferramenta *Xtools*.

4.7.3 – Elaboração do Mapa de Áreas de Preservação Permanente

A delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) foi realizada utilizando os critérios estabelecidos pela Lei Federal nº. 7.803, de 18 de julho de 1989 (Brasil, 1989), que alterou a redação do Novo Código Florestal Brasileiro, instituído pela Lei Federal nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965, que considera APP, as florestas e demais formas de vegetação natural, situadas ao longo dos rios ou qualquer curso de água, desde o seu nível mais alto em uma faixa marginal variável (30 a 500 metros) em função da largura do curso. Para isto utilizou-se a ferramenta *buffer* (*Proximity*) do pacote *Analysis Tools* do ArcGIS 9.2.

4.7.4 – Extração do Índice de Vegetação (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI foi extraído utilizando as ferramentas de transformação (NDVI) do software ENVI 4.3, escolhendo-se a faixa acima de 0,6 para representação das áreas com concentração vegetal e de biomassa das imagens geradas.

4.8 – ELABORAÇÃO DA CARTA DE APTIDÃO AGRICOLA

Esta carta foi elaborada levando-se em consideração a metodologia adotada por Ramalho Filho et al (1983). Baseado nos níveis de manejo B e C e nos fatores limitantes do solo (deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio, suscetibilidade a erosão e impedimentos a mecanização) construiu-se um *checklist* com o auxilio de especialistas em pedologia da EMBRAPA e por meio deste elaborou-se a carta de aptidão agrícola. O *checklist* e as descrições dos fatores limitantes podem ser visualizados no Anexo II.

4.9 – DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DO SOLO

Para estabelecer os valores de vulnerabilidade natural a perda do solo utilizou-se a metodologia desenvolvida por Crepani et al (2001), na qual são considerados valores relativos e empíricos para representar o comportamento esperado para os temas geologia, geomorfologia, uso e cobertura da terra, pluviosidade e solos frente aos processos naturais de intemperismo e erosão, os quais são responsáveis pela perda do solo.

4.9.1 – Geologia

O aspecto principal a ser analisado para atribuição de valores de vulnerabilidade à perda de solo é o grau de coesão, o qual é entendido como a intensidade da ligação entre os minerais que constituem as rochas.

Em rochas pouco coesas devem prevalecer os processos modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de formação de solos (pedogênese) (PALMEIRA, 2005).

Os processos intempéricos podem ser classificados como físicos ou químicos. No intemperismo físico predominam os processos de desintegração, onde as rochas são separadas em partes sem haver alteração na estrutura cristalina. No intemperismo químico prevalecem os processos de decomposição, os quais causam a destruição da estrutura cristalina dos minerais que formam as rochas (PALMEIRA, 2005).

Para se atribuir uma posição dentro de uma escala de vulnerabilidade à denudação (intemperismo + erosão), levando-se em conta o grau de coesão utilizou-se a tabela 6 desenvolvida por Crepani (2001).

Tabela 6 – Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármores	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: Crepani et al (2001).

4.9.2 – Geomorfologia

Os valores de vulnerabilidade natural à perda de solo atribuídos á geomorfologia foram baseados na análise das formas de relevo e associados aos índices morfométricos (amplitude altimétrica, declividade e grau de dissecação).

Para atribuir o valor de vulnerabilidade associado à amplitude altimétrica considerou-se a seguinte relação: quanto maior a diferença encontrada entre as cotas máximas e mínimas, extraídas dos dados SRTM da região e contidas nas unidades geomorfológicas, maior o valor de vulnerabilidade atribuído. Por outro lado, os menores valores de vulnerabilidade foram associados aos menores valores de amplitude altimétrica.

Os valores de amplitude altimétrica estão relacionados à energia potencial contida nas águas das precipitações pluviais que descem do ponto mais alto para o ponto mais baixo das unidades geomorfológicas. Quanto maior a energia potencial, transformada em energia cinética na descida das encostas, maior será a capacidade de erosão das águas pluviais (PALMEIRA, 2005).

Os valores de vulnerabilidade para a declividade levam em consideração o ângulo de inclinação das encostas em relação ao horizonte para cada unidade

geomorfológicas. Quanto maior a inclinação maior a declividade e, portanto, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, o que se traduz em maior velocidade para as massas de água em movimento e, conseqüente, maior poder erosivo. Desta forma, quanto maior a declividade, maior o valor de vulnerabilidade à perda de solo atribuído (PALMEIRA, 2005).

Para a dissecação do relevo pela drenagem, o valor de vulnerabilidade foi atribuído considerando-se a densidade de drenagem.

A intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha. Rochas e solos impermeáveis dificultam a infiltração das águas pluviais e, conseqüentemente, apresentam maior quantidade de água em superfície para ser drenada em direção às partes mais baixas do terreno, o que implica em um número maior de canais de drenagem, em maior disponibilidade de energia potencial para o escoamento superficial (*runoff*) e, portanto, maior capacidade erosiva (PALMEIRA, 2005).

Os valores calculados dos índices morfométricos foram associados aos valores de vulnerabilidade natural à perda de solo, conforme mostrado nas tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 – Valores de vulnerabilidade à perda de solo para a amplitude.

Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade
<20	1,0	77 - 84,5	1,7	141,5 - 151	2,4
20 - 29,5	1,1	84,5 - 94	1,8	151 - 160,5	2,5
29,5 – 39	1,2	94 - 103,5	1,9	160,5 - 170	2,6
39 - 48,5	1,3	103,5 - 113	2,0	170 - 179,5	2,7
48,5 – 58	1,4	113 - 122,5	2,1	179,5 - 189	2,8
58 - 67,5	1,5	122,5 – 132	2,2	189 - 200	2,9
67,5 – 77	1,6	132 - 141,5	2,3	>200	3,0

Fonte: Crepani et al (2001).

Tabela 8 – Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas.

Declividade Porcentagem	Vul/Estab.	Declividade Porcentagem	Vul/Estab.	Declividade Porcentagem	Vul/Estab.
<3,5	1,0	17,4-19,8	1,7	34,6-37,2	2,4
3,5-5,8	1,1	19,8-22,2	1,8	37,2-39,8	2,5
58-8,2	1,2	22,2-24,5	1,9	39,8-42,4	2,6
8,2-10,3	1,3	24,5-27,2	2,0	42,4-45,3	2,7
10,3-12,9	1,4	27,2-29,6	2,1	45,3-48,1	2,8
12,9-15,1	1,5	29,6-32,1	2,2	48,1-50	2,9
15,1-17,4	1,6	32,1-34,6	2,3	>50	3,0

Fonte: Crepani et al (2001).

Tabela 9 – Valores de vulnerabilidade para o grau de dissecação do relevo. Adaptado de Florenzano et al (2008).

Densidade de Drenagens	Vuln/Estab.
<0,5	1,0
0,5-1,0	1,5
1,0-3,0	2,0

Fonte: Crepani et al (2001).

Por meio da equação 2 os valores de vulnerabilidade de cada índice morfométrico foram usados para o cálculo da vulnerabilidade natural à perda de solo.

Equação 2. $$R = \frac{G + A + D}{3}$$

onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia.

G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de Dissecação.

A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica.

D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

4.9.3 – Solos

A causa fundamental da erosão hídrica seja laminar, em sulcos ou ravinas, é a ação da chuva sobre o solo. A chuva é o agente ativo da erosão e o solo é o agente passivo (PALMEIRA, 2005).

Nas associações de solos consideradas estáveis a erosão o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade à perda de solo é 1,0 e são representados pela classe de solos do tipo Latossolos (PALMEIRA, 2005).

Nas associações de solos consideradas intermediárias o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 2,0, e são representados pela classe de solos do tipo Podzólicos ou Argissolos de acordo com EMBRAPA (1999). Os solos Podzólicos, quando comparados com os Latossolos, apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e menos intemperizados. Ocorrem geralmente em topografias um pouco mais movimentadas (PALMEIRA, 2005).

Nas associações de solos consideradas vulneráveis ocorrem solos jovens e pouco desenvolvidos aos quais é atribuído o valor 3,0, e sua característica principal é a pequena evolução dos perfis de solo (PALMEIRA, 2005).

Nestes solos o horizonte A está assentado diretamente sobre o horizonte C ou então assentado diretamente sobre a rocha mãe (não possuem o horizonte B). São considerados como sendo solos jovens, em fase inicial de formação, pois estão ainda se desenvolvendo a partir dos materiais de origem recentemente depositados, ou então porque estão situados em lugares de alta declividade, nos quais a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de intemperismo (PALMEIRA, 2005).

A tabela 10 apresenta os valores de vulnerabilidade atribuídos aos principais tipos de solos.

Tabela 10 – Valores de vulnerabilidade dos solos.

Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999)	Vulnerabilidade
Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelhos Latossolos Brunos	1
Argissolos Nitossolos Argissolos, Luvissolos, Alissolos Luvissolos Chernossolos Planossolos Espodossolos	2
Cambissolos	2,5
Neossolos Litólicos Neossolos Flúvicos Neossolos Regolíticos Neossolos Quatizarênicos Vertissolos Organossolos Gleissolos Plintossolos Afloramento Rochoso	3

Fonte: Modificada de Crepani et al. (2001).

Nas associações de solos são feitas ponderações em função da predominância das classes de solos usando as seguintes proporções: 60% e 40% para uma associação de duas classes ou 60%, 30% e 10% para uma associação com três classes de solos.

4.9.4 – Cobertura Vegetal e Uso da Terra

A ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de diversas maneiras: evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno que promove a desagregação das partículas; impede a compactação do solo que diminui a capacidade de absorção de água; aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva; suporta a vida silvestre que, pela presença de estruturas biológicas como raízes

de plantas, perfurações de vermes e buracos de animais, aumentam a porosidade e a permeabilidade do solo (PALMEIRA, 2005).

A densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem natural (cobertura do terreno) é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogenéticos que se traduzem na forma de erosão, por isso para as altas densidades de cobertura os valores atribuídos na escala de vulnerabilidade se aproximam da estabilidade (1,0), para as densidades intermediárias atribuem-se valores intermediários (ao redor de 2,0), e para baixas densidades de cobertura vegetal valores próximos da vulnerabilidade (3,0) (CREPANI, 2001).

Assim, aos processos morfogenéticos relacionam-se as coberturas vegetais de densidade (cobertura do terreno) mais baixa, enquanto que os processos pedogenéticos ocorrem em situações onde a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e maturação do solo (PALMEIRA, 2005).

A tabela 11 mostra os valores de vulnerabilidade à perda de solo para as classes de cobertura vegetal e uso da terra presentes na área de trabalho.

Tabela 11 – Valores de vulnerabilidade à perda de solo para as classes de cobertura vegetal e uso da terra.

CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA	VALORES DE VULNERABILIDADE
Floresta Ombrófila Densa	1,0
Floresta Densa de planície aluvial	1,0
Floresta Secundária (sucessão secundária)	1,2
Reflorestamento (para fins comerciais)	2,5
Pasto Sujo	2,6
Campo de Várzea	2,7
Pasto Limpo	2,8
Agricultura	3,0
Área Urbana	3,0

Fonte: Crepani et al (2001).

Entretanto como na classificação do uso e cobertura da terra algumas classes foram agrupadas como: Floresta Ombrófila Densa e Floresta Sucessional Secundária, optou-se por adotar o maior valor de vulnerabilidade natural à perda do solo.

4.9.5 – Precipitação

A causa fundamental da denudação é a ação da chuva agindo inicialmente sobre as rochas provocando o intemperismo, e mais tarde sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica. O impacto direto das gotas e o escoamento superficial do excesso de

água da chuva (*run off* ou enxurrada) são os agentes ativos da erosão hídrica, o solo é o agente passivo (CREPANI; MEDEIROS; PALMEIRA, 2004).

A erosão, produto final desta interação chuva/solo é, portanto, uma resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir à erosão. O poder da chuva em causar erosão é chamado erosividade e é função das características físicas da chuva: pluviosidade total, a intensidade ou intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal (CREPANI; MEDEIROS; PALMEIRA, 2004).

As características hidrodinâmicas e sedimentológicas possuem associações com a pluviosidade, Crepani et al. (2001) calcularam índices de vulnerabilidade natural à perda de solo com relação a intensidade pluviométrica (Tabela 12).

Assim as regiões que apresentem menores índices pluviométricos anuais e maior duração para o período chuvoso receberão valores próximos à 1,0; aos valores intermediários de pluviosidade e duração do período chuvoso associam-se os valores ao redor de 2,0, e em regiões de maiores índices de pluviosidade anual e menor duração do período chuvoso atribuem-se valores próximos de 3,0.

Tabela 12 – Índice de vulnerabilidade a perda de solo por meio da intensidade pluviométrica.

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade
< 50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	> 525	3,0

Fonte: Crepani et al (2001).

4.10 – INTEGRAÇÃO DOS DADOS EM AMBIENTE DE SIG

Visando o processamento, integração, espacialização e composição de uma base digital, os dados coletados foram inseridos em um *geodatabase* no próprio ambiente SIG, por meio do software Arc*GIS 9.2*.

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo utilizou-se a escala de vulnerabilidade desenvolvido por Crepani et al (2001) apresentada na tabela 13 que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem

valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0).

Tabela 13 – Escala de vulnerabilidade de unidades territoriais a perda do solo.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1		3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4	V	2,7			255	153	0	
U5	U	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5	E		255	255	0	
U7	N	2,4	S		204	255	0	
U8	E	2,3	T		153	255	0	
U9	R	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1	B		51	255	0	
U11	B	2,0	I		0	255	0	
U12	I	1,9	L		0	255	51	
U13	L	1,8	I		0	255	102	
U14	I	1,7	D	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	153	
U15	D	1,6	A		0	255	204	
U16	A	1,5	D		0	255	255	
U17	D	1,4	E		0	204	255	
U18	E	1,3		ESTÁVEL	0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0			0	0	255	

Fonte: Crepani et al (2001).

Para a obtenção do grau de vulnerabilidade é aplicada a equação 3 resultando na média aritmética dos valores de vulnerabilidade individuais para cada tema.

Equação 3. $$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

Onde: V = Vulnerabilidade

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação (Uso e Cobertura da Terra)

C = vulnerabilidade para o tema Clima (Intensidade Pluviométrica)

4.11 – CONSTRUÇÃO DO GEODATABASE

Para a construção do geodatabase utilizou-se o método da ESRI (2006) sobre o aplicativo ArcCatalog do Sistema ArcGis 9.2, dividindo-se sua construção em 2 etapas.

A primeira etapa consistiu-se na organização dos dados no ArcCatalog e criação dos *features dataset* (conjunto de característica dos dados), utilizando-se a ferramenta *features dataset* e configurando o sistema de coordenadas para WGS1984 UTM 23S.

A segunda etapa compôs-se da importação dos dados em formato vetorial para o *geodatabase*. Para isto, foi utilizada a ferramenta *import feature class*.

5 – BASE TEÓRICA

5.1 – SISTEMA FLUVIAL

Os sistemas fluviais são objetos de estudo desde a antiguidade por serem um dos principais condicionantes ambientais à manutenção da vida humana ao proporcionarem caminhos naturais para adentrar o continente (navegação) e por se constituírem na fonte de suprimento de água, tanto para consumo e uso doméstico, quanto para irrigação (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

Na história mais recente da humanidade foram atribuídos outros usos, a este bem natural, como a produção de energia elétrica e o lazer regido em caráter legal.

As tentativas de compreensão destes sistemas estão arraigadas em diversas ciências desde suas origens tais como:

- Na hidrologia, quando Marcus Vitruvius Pollio 100 a.C. consegue apresentar conceitos próximos aos entendidos atualmente quanto ao ciclo hidrológico e quando Pierre Perrault constatou no século XVII que a vazão fluvial era apenas cerca de 16% da precipitação na bacia hidrográfica (TUCCI, 2001).
- Na geomorfologia, Sorby em 1859 preocupou-se com as formas do leito de rios e Powell em 1876 introduziu o conceito de nível de base de erosão fluvial. Havendo com Davis em 1909 a elaboração do principio de denudação fluvial, conhecido como ciclo de erosão. Encontrando-se estas teorias em autores consagrados como Schumm (1977) e Leopold, Wolman & Miller (1964). Uma grande contribuição para a introdução destes conceitos no Brasil deve-se a Chritofoletti (1974) e a Suguio e Bigarella (1990).
- Na sedimentologia, termo proposto em 1932 por H.A. Wadell e definido por ele como o estudo científico dos sedimentos, apesar de sua origem empírica nos primórdios da Humanidade, quando o Homem começou a escolher nas cascalheiras os elementos que melhor se adaptavam à sua mão para utilizá-los como ferramentas (DIAS, 2004). Esta ciência se utilizou de diversos experimentos aliados com a hidráulica para compreender os processos envolvidos nos transporte dos sedimentos.

- Na engenharia de sedimentos, a busca por uma maior compreensão do ciclo hidrossedimentológico (deslocamento, transporte e depósito de partículas

sólidas), ganhou uma posição de maior destaque, tanto na academia, como nas políticas públicas após estudos que demonstraram prejuízos de U$ 6,8 bilhões anuais decorrentes da remoção não controlada de sedimentos de bacias hidrográficas nos Estados Unidos (BORDAS; SEMMELMANN, 2001).

No Brasil um grande marco para estudo destas questões foi a criação da Comissão de Engenharia de Sedimentos da Associação Brasileira de Recursos Hídricos em 1989. Tendo o objetivo de promover o estudo e a definição de diretrizes necessárias ao conhecimento e controle de problemas relacionados aos sedimentos (CES, 2006).

- Na hidrometria, parte integrante da hidrologia que visa a medição das variáveis hidrológicas básicas (precipitação, nível de água, vazões entre outras) e suas variações no tempo e espaço (SANTOS, 2001).

  A qual encontrou no Brasil, a partir do início do século XX, as condições necessárias para organiza-se, evoluindo gradativamente tanto em metodologia operacional quanto em locais monitorados. Tendo como marco de modernização a parceria entre o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica e a U.S. Geological Survey – Water Resources Division, através do programa da USAID-Agency For International Development, criando o Sistema de Informações Hidrológicas – SIH, o qual possibilitou o tratamento informatizado dos dados hidrológicos (IBIAPINA et al., 1999).

Sistema Fluvial pode ser definido como o conjunto dos elementos e das relações entre si e entre os seus atributos (CHRISTOFOLETTI, 1974). Sendo extremamente importante a percepção de que o conjunto de elementos está interligado para formar um todo com propriedades e características próprias (BERTALANFFY, 1975).

Por uma questão de conveniência o Sistema Fluvial pode ser dividido em três zonas de forma ideal (Figura 15).

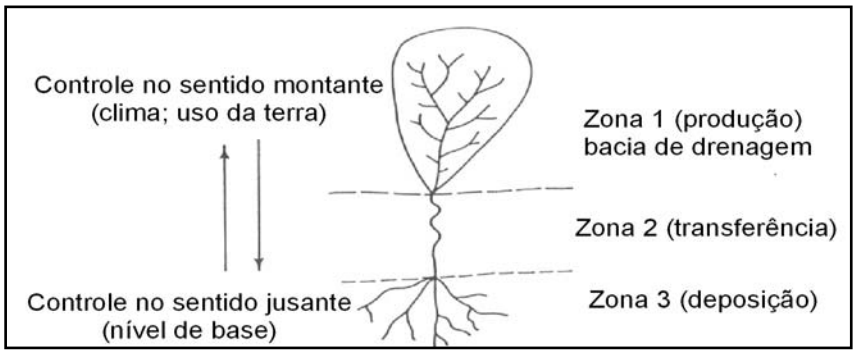

Figura 15 – Sistema Fluvial ideal. Fonte: adaptado de Schumm (1977).

Zona 1, bacia de drenagem ou área fonte de sedimentos constitui-se na porção superior do sistema. Zona 2 ou de transferência é onde existe uma estabilidade no sistema devido o equilíbrio entre a entrada e saída de sedimentos. Conseqüentemente, a Zona 3 compõem a área de deposição dos sedimentos (SCHUMM, 1977).

Esta divisão em zonas foi realizada a partir da predominância de erosão, transporte ou deposição, pois é claro que os três processos ocorrem de forma simultânea e nas três zonas. Podendo cada zona ser considerada um sistema aberto (SCHUMM, 1977).

Tais simplificações da realidade são necessárias, pois uma visão holística é complementada pela visão reducionista.

Reducionismo e holismo, análise e síntese, são enfoques complementares que, usados em equilíbrio adequado, ajudam a chegar a um conhecimento mais profundo da realidade (CAPRA, 2001).

5.1.1 – Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica encontra-se na zona fonte de sedimentos constituindo-se da porção superior de um sistema fluvial (SCHUMM, 1977). Uma bacia hidrográfica é um área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. O limite de uma bacia hidrográfica é conhecido como divisor de drenagens ou de águas (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2003).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características ambientais como: a morfologia, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal, por exemplo. A fim de entender as inter-relações existentes entre essas características e os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, torna-se necessário expressar em termos quantitativos tais características da bacia (LIMA, 1996).

A bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema geomorfológico aberto, recebendo energia do clima reinante sobre a bacia, e perdendo continuamente energia através do deflúvio (LIMA, 1996).

A bacia hidrográfica, como sistema aberto encontra-se em equilíbrio dinâmico. Em qualquer momento existe equilíbrio entre forma e forma (ex. entre a variável "área" e a variável "comprimento do canal" da bacia), ou entre forma e processo (ex. "área" x "vazão média"), ou entre processo e processo (ex. "vazão" x "sedimentos em suspensão"). Se ocorrer alguma modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou ainda na forma do sistema, deve ocorrer uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio (LIMA, 1996).

5.1.2 – Morfometria de bacias hidrográficas

O conjunto de canais de escoamento interrelacionados compõe a drenagem fluvial, a qual possui uma área de influência denominada de bacia de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1974), que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto do canal fluvial, sendo limitada pelo divisor de drenagem ou divisor de águas (COELHO NETTO, 2001).

As características físicas de uma bacia hidrográfica são todos os dados que podem ser extraídos de forma direta e indireta (através de índices) de mapas e produtos de sensoriamento remoto (ALVES; CASTRO, 2003).

De acordo com Christofoletti (1974), a partir da metade do século XX a análise das bacias hidrográficas começaram a ganhar um caráter mais objetivo com os trabalhos de Horton (1945) e Strahler (1957; 1958).

As bacias de drenagem, segundo Christofoletti (1974) podem ser classificadas de acordo com o escoamento global como:

1. Exorreicas, quando as bacias desembocam diretamente no nível marinho;
2. Endorreicas, quando as drenagens são internas e não possuem escoamento até o mar;
3. Arreicas, quando não há nenhuma estruturação em bacias hidrográficas, como nos desertos, ocorrendo obscurecimento das linhas e padrões de drenagens;
4. Criptorreicas, quando as bacias são subterrâneas.

Além desta classificação existe uma classificação muito utilizada em geomorfologia, devido estar galgada nas formas geométricas, é a classificação dos padrões de drenagem, apresentada por Christofoletti (1974) como os arranjos espaciais dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região, tendo como tipos básicos de padrões de drenagem os observados na figura 16.

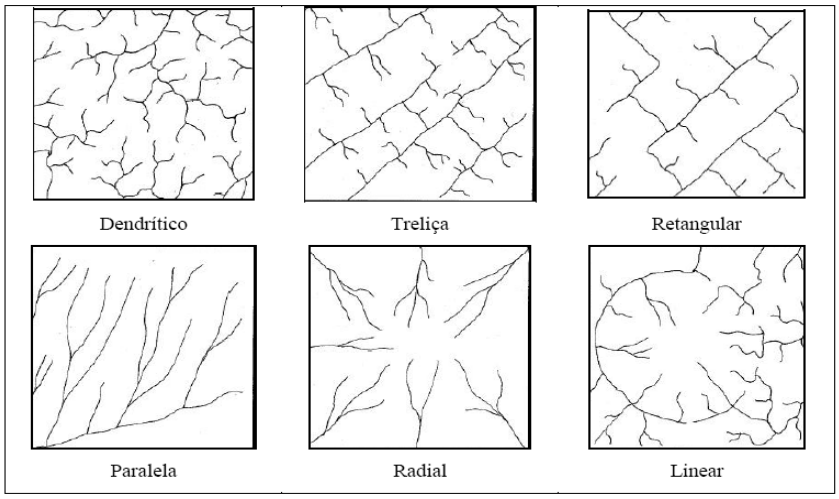

Figura 16 – Padrões de drenagem. Fonte: Christofoletti (1974).

A análise morfométrica encontra-se dividida em: linear, areal e hipsométrica (CHRISTOFOLETTI, 1974).

A análise linear refere-se às medições da relação de bifurcação, relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem, relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação, extensão do percurso superficial, relação do equivalente vetorial e gradiente dos canais (Christofoletti, 1974).

A análise areal envolve a forma da bacia, densidade hidrográfica, densidade de drenagem, relação entre as áreas da bacia e coeficiente de manutenção.

Por fim a análise hipsométrica envolve a elaboração da curva hipsométrica, o coeficiente de massividade e o coeficiente orográfico.

Alguns destes parâmetros são expostos por Lana;Alves;Castro (2001).

A - Quanto à **Forma da Bacia Hidrográfica**

- **Relação de Relevo** ($Rr = \frac{\Delta a}{L}$), onde Δa é a amplitude altimétrica e L é o comprimento do canal principal. Esse parâmetro estabelece a relação entre a diferença de altitudes máxima e mínima na bacia e o comprimento total do canal principal (SCHUMM[14], 1956 apud LANA;ALVES;CASTRO, 2001).

- **Densidade Hidrográfica** ($Dh = \frac{n}{A}$), onde n é o número de canais e A é a área total da bacia. Esse parâmetro relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia hidrográfica. Em outras palavras, expressa a magnitude da rede hidrográfica, indicando sua capacidade de gerar novos cursos d'água em função das características pedológicas, geológicas e climáticas da área (FREITAS[15], 1952 apud LANA;ALVES;CASTRO, 2001). Vale ressaltar que a densidade hidrográfica e a densidade de drenagem referem-se a aspectos diferentes da textura topográfica (LANA;ALVES;CASTRO, 2001).

- **Densidade de Drenagem** ($Dd = \frac{C}{A}$), onde C é o comprimento total dos canais e A é a área total da bacia. Esse índice relaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia de drenagem. Essa variável se relaciona diretamente com os processos climáticos atuantes na área estudada, os quais influenciam o fornecimento e o transporte de material detrítico ou indicam o grau de manipulação antrópica. Em outras palavras, para um mesmo tipo de clima, a densidade de drenagem depende do comportamento hidrológico das rochas. Assim, nas rochas mais impermeáveis, as condições para o escoamento superficial são melhores, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem. O contrário

[14] SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Geological Society of America Bulletin*, n. 67, p. 597-646, 1956.
[15] FREITAS, R.O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. *Boletim Paulista de Geografia*. São Paulo, v. 11, p.53-57, 1952.

acontece com rochas de granulometria grossa (Horton[16], 1945 *apud* LANA;ALVES;CASTRO, 2001).

B - Quanto aos **Componentes da Rede Hidrográfica**

- **Coeficiente de manutenção** ($Cm = \frac{1}{Dd} 1000$), onde Dd é a densidade de drenagem. Esse parâmetro fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (SCHUMM[17], 1956 LANA;ALVES;CASTRO, 2001).
- **Gradiente de Canais** (Gc = a_{max} / L) (%), onde a_{max} é a altitude máxima e L é o comprimento do canal principal. Esse índice é a relação entre a cota máxima e o comprimento do canal principal expresso em porcentagem. A sua finalidade é indicar a declividade dos cursos d'água (HORTON[18], 1945 apud LANA;ALVES;CASTRO, 2001).

C - Quanto aos **Parâmetros Combinados**

- **Índice de Circularidade** ($Ic = \frac{A}{Ac}$), onde A é a área total da bacia e Ac é a área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia. Esse índice representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia, que, na expansão areal, melhor se relaciona com o escoamento fluvial. Assim, Ic=0,51 representa um nível moderado de escoamento, não contribuindo na concentração de águas que possibilitem cheias rápidas. Valores maiores que 0,51 indicam que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas). Já os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais

[16] HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*. v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.
[17] SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Geological Society of America Bulletin*, n. 67, p. 597-646, 1956.
[18] HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*. v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

alongada favorecendo o processo de escoamento (MÜLLER, 1953 e SCHUMM[19], 1956 apud LANA;ALVES;CASTRO, 2001).

- **Índice de Sinuosidade** ($Is = \frac{L}{dv}$), onde L é o comprimento do canal principal e dv é a distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal. Relaciona o comprimento verdadeiro do canal (projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois pontos extremos do canal principal (SCHUMM[20], 1963 apud LANA;ALVES;CASTRO, 2001). Valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo. Já os valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. Sabe-se, entretanto, que a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais (LANA;ALVES;CASTRO, 2001).

Com relação as formas do terreno como exposto por Valeriano (2008) o cruzamento das curvaturas horizontal e vertical do terreno permite a caracterização de concentração e acúmulo do escoamento superficial em uma região (Figura 17).

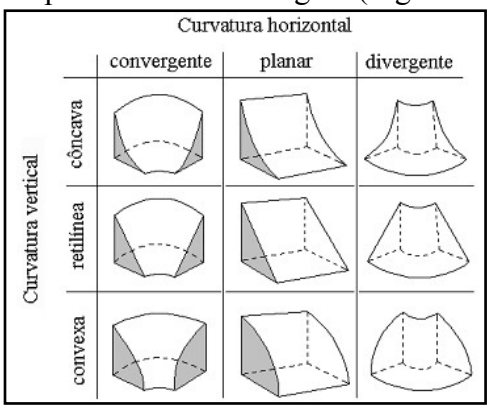

Figura 17 – Combinação das curvaturas para caracterização das formas do terreno. Fonte: Valeriano (2008).

Para a obtenção das formas do terreno é necessário o cruzamento entre os mapas de curvatura vertical e horizontal, utilizou-se para isto a equação 4 na ferramenta *spatial analyst* do ArcGis 9.2 e a tabela 14 a qual demonstra a relação da forma do terreno com o fluxo dominante.

[19] SCHUMM, S.A., Evolution of drainage systems and slope in badlands of Perph Amboy. Geologycal Society of American Bulletin, n. 67, p. 597-646, 1956.
[20] SCHUMM, S.A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Geological Society of America Bulletin*. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

Equação 4. forma_relevo=([ch_reclas] == 1 & [cv_reclas] == 1) * 1 + ([ch_reclas] == 1 & [cv_reclas] == 2) * 2 + ([ch_reclas] == 1 & [cv_reclas] == 3) * 3 + ([ch_reclas] == 2 & [cv_reclas] == 1) * 4 + ([ch_reclas] == 2 & [cv_reclas] == 2) * 5 + ([ch_reclas] == 2 & [cv_reclas] == 3) * 6 + ([ch_reclas] == 3 & [cv_reclas] == 1) * 7 + ([ch_reclas] == 3 & [cv_reclas] == 2) * 8 + ([ch_reclas] == 3 & [cv_reclas] == 3) * 9

Tabela 14 – Formas do terreno.

Tipos	Formas		Fluxo Resultante	Domínio
	Curvatura Horizontal	Curvatura Vertical		
1	divergente	convexa	Hiperdispersor	Dispersão
2	divergente	retilinea	Mesodispersor Longitudinal	
3	divergente	côncava	Hipodispersor	
4	planar	côncava	Mesodispersor Radial	
5	planar	retilinea	Transição	Transição
6	planar	convexa	Mesoconcentrador Radial	Concentração
7	convergente	Côncava	Hipoconcentrador	
8	convergente	Retilínea	Mesoconcentrador Longitudinal	
9	convergente	Convexa	Hiperconcentrador	

Fonte: adaptado de Silva (2007).

Com relação as declividades de uma bacia hidrográfica (Tabela 15), estas podem ser divididas em seis classes segundo a classificação da EMBRAPA[21] (1979 apud CARDOSO et al., 2006).

Tabela 15 – Classificação da declividade.

Declividade (%)	Discriminação
0 a 3	Relevo Plano
3 a 8	Relevo Suavemente Ondulado
8 a 20	Relevo Ondulado
20 a 45	Relevo Fortemente Ondulado
45 a 75	Relevo Montanhoso
> 75	Relevo Fortemente Montanhoso

Fonte: EMBRAPA apud Cardoso 2006.

[21] EMBRAPA. Serviço Nacional de levarvação de solos. Súmula da 10 reunião técnica de levantamento de solos Rio de Janeiro. 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânia 1).

5.2 – HIDROMETRIA

5.2.1 – Medição de Vazão Líquida

Os perfiladores Doppler conhecidos comercialmente como Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP's) e Acoustic Doppler Profiler (ADP's) tiveram suas origens em aplicações oceanográficas, porém nos últimos 10 anos a introdução deste método de medição de vazão em rios e canais tem sido o expoente do avanço destas medições (RICARDO, 2008).

As limitações quanto ao uso do ADCP em grandes, médios ou pequenos cursos d'água dependem da freqüência do aparelho e da quantidade de células de profundidade que ele pode discriminar (TIAGO FILHO et al., 1999).

A freqüência do aparelho e o conheciemnto do ambiente fluvial é que irá determinar uma boa medição. Quanto maior a freqüência do ADCP melhor para medir locais de baixa profundidade, pois segundo Tiago Filho et al. (1999), o efeito Doppler refere-se à mudança de freqüência do sinal transmitido pelo sonar, causada pelo movimento relativo entre o aparelho e o material em suspensão da água sob a ação de feixe das ondas sonoras.

Como o material em suspensão se desloca na mesma velocidade da corrente de água, a magnitude do efeito Doppler é diretamente proporcional à essa velocidade. Medindo-se a freqüência dos ecos que retornam do material em suspensão e comparando-a com a freqüência do som emitido, o ADCP determina a velocidade da partícula que é a mesma da corrente da água (TIAGO FILHO et al., 1999).

A crescente necessidade de melhoria do uso, controle e avaliação de *inland waters* e a necessidade de instrumentos para uma melhor medida de corrente em rios levou a esta versátil ferramenta que desde 1985 tem sido intensamente usada e aceita pelo United States Geological Survey, U.S. Army Corps of Engineers, Environment Protection Authority, U.S. Bureau of Reclametion e numerosos Estados e outras agências governamentais (DALKIN; SPAIN, 2006).

O efeito Doppler que é a mudança observada na freqüência de uma onda, devido ao movimento relativo entre a fonte e o observador, permite aos Acoustic Doppler Current Profiler – ADCP's realizarem medições, emitindo vários pulsos acústicos, para determinar a velocidade da água, a profundidade e a velocidade da embarcação, corrigindo estas informações com dados dos sensores de temperatura e inclinação,

fazendo uma média ou composição válida para cada conjunto de células (região da seção transversal do rio medida pelo ADCP) (SANTOS 2001).

Existe uma área que não é medida pelo ADCP, tornando-se necessário uma estrapolação dos dados, esta área é composta por uma camada próxima da superfície, uma camada próxima do fundo e a região de cunha (próxima as margens). Estas áreas são variáveis e dependem fundamentalmente dos parâmetros inseridos no momento da coleta dos dados.

Existem dois métodos utilizados pelo software WinRiverII para extrapolação dos valores de descargas para estas áreas não amostradas, o método *Constant Method*, o qual por ser simplista, não segue descrições hidráulicas aceitas para a distribuição vertical das velocidades (Teledyne RD Instruments 2008).

O outro método é o *Power Method,* o qual utiliza a integração dos dados de profundidade com a anti-derivada da *Power law* discutida por Chen (1991) *in* Teledyne RD Instruments (2008). A diferença entre os métodos pode ser percebida na figura 18.

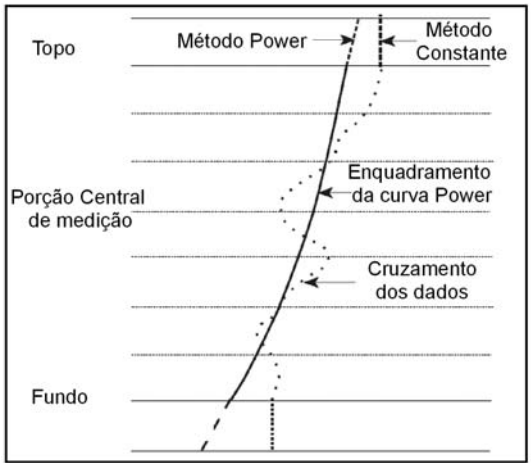

Figura 18 – Diferenças entre as curvas de extrapolação realizadas pelos Method Constant e Power. Fonte: adaptado de Teledyne RD Instruments (2008).

O ADCP utiliza o som para medir a velocidade da água. O som transmitido pelo ADCP está no espectro do ultra sônico (acima dos 24KHz – máximo audível pelo ser humano) (SIMPSON, 2001).

O ADCP usa o principio Doppler para medir a velocidade da água. Princípio que diz respeito a mudança na freqüência de uma fonte para a velocidade relativa da fonte e do observador (SIMPSON, 2001).

Se a exata freqüência da fonte é conhecida, então a frequência do observador pode ser calculada, usando-se a equação 5 para o cálculo da mudança devido o efeito Doppler para as velocidades relativas da fonte e do observador (SIMPSON, 2001).

Equação 5.

$$F_D = F_S\left(\frac{V}{C}\right)$$

Onde: F_D = é a mudança de frequência em Hz;

F_S = é a frequência transmitida do som para a fonte estacionária, em Hz;

V = velocidade relativa entre a fonte sonora e a onda sonora do receptor (a velocidade da qual o observador está caminhando em direção a fonte sonora), m/s;

C = a velocidade do som, m/s.

O ADCP, por meio dos transdutores, transmite pulsos acústicos chamados de *ping*, escutando o eco de retorno dos acústicos *backscatters* (intensidade de retorno do pulso sonoro por partículas de sedimentos e outros materiais) (SIMPSON, 2001) (Figura 19).

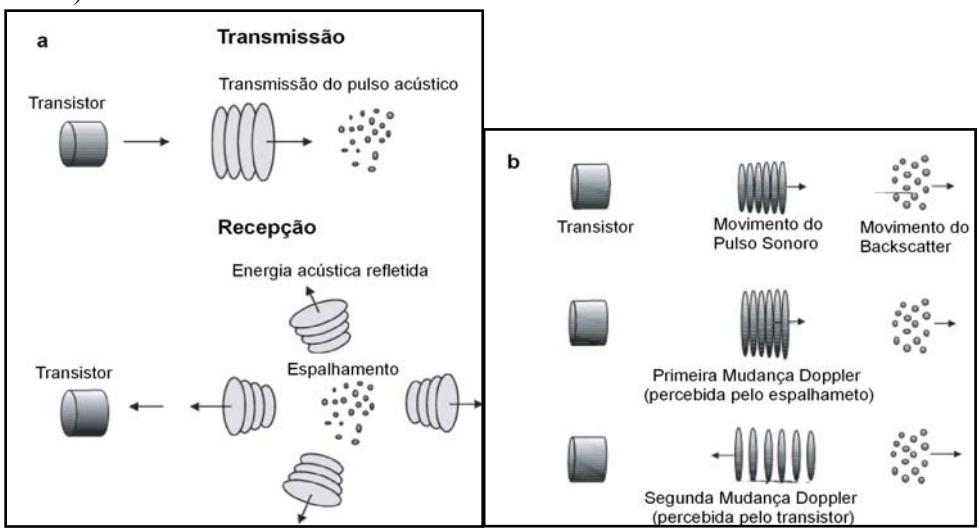

Figura 19 - a) Um pulso acústico sofrendo espalhamento b) Pulso refletido apresentando dois momentos. Fonte: adaptado de Simpson (2001).

O transdutor é composto de 4 *beams* (feixes de ultrassom), que trabalham de forma independente com ângulos de 20°-30° do eixo vertical (Figura 20).

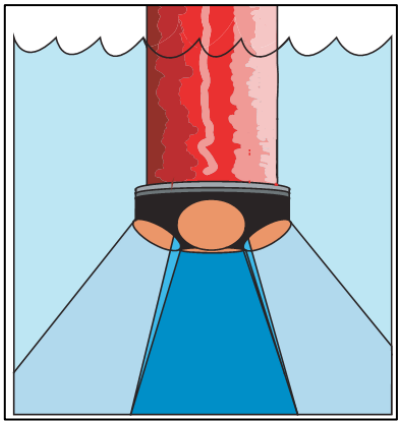

Figura 20 - A configuração dos Beams é chamada Janus.
Fonte: Simpson (2001).

A computação da velocidade em três dimensões requer três *beams* acústicos, o quarto é introduzido para o cálculo de erro da velocidade.

Dentre as tecnologias de processamento de sinais dos ADCP tem-se:

- Pulso incoerente ou *NarrowBand*: o sistema transmite um único pulso longo, sendo utilizado o efeito Doppler propriamente dito (mudança de freqüência) para o cálculo da velocidade do escoamento, apresentando uma incerteza de curto prazo relativamente grande;
- Processamento coerente pulso a pulso: é o mais preciso (menor incerteza de curto prazo), emitindo pulsos curtos com defasagem temporal que impeça a sobreposição de sinais sucessivos. Utiliza a diferença de fase das ondas para calcular o efeito Doppler, sendo restrito a determinadas faixas de velocidade e profundidade;
- Processamento *Spread Spectrum* ou BroadBand: utiliza o princípio de processamento coerente, sendo os pulsos sucessivos, porém, emitidos em intervalos que permitam sua simultaneidade durante o perfilamento. Sua incerteza é intermediária em relação aos outros processamentos (RICARDO et al., 2008).

O ADCP se utiliza ainda de um recurso de posicionamento que pode ser o *bottom tracking* (rastreio de fundo) ou um GPS acoplado.

O *bottom tracking* se utiliza de um pulso mais longo, com alcance aproximadamente duas vezes maior que o dos pulsos utilizados para a medição de velocidade (RICARDO, 2008).

A geração dos perfis de velocidade ocorre através da divisão de cada vertical (*ensemble*) em várias células (*bins* ou *cells*) uniformes. O número de células de cada vertical depende da profundidade total e do tamanho de cada célula, fornecida pelo

usuário. O perfilador realiza a amostragem de várias velocidades dentro de cada célula, sendo a respectiva vazão de cada uma calculada a partir da média dessas velocidades, calculada através de uma função triangular de ponderação (RICARDO, 2008).

Dentre os modos de operação, o modo de operação 1 é o modo mais robusto, é chamado de modo dinâmico e permite uma boa coleta de dados em qualquer ambiente. Ele trabalha bem em áreas de forte turbulência e baixa concentração de *backscatter*. Em áreas rasas (1m) e acima de 6m (TELEDYNE RD INSTRUMENTS, 2008).

5.3 – SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2002).

A distinção dos materiais ocorre de acordo com a interação da Radiação Eletromagnética com os mesmos, mais especificamente a sua reflectância espectral, que corresponde a razão entre a energia refletida pela energia incidente na superfície do material. Essa resposta espectral dos materiais é captada por Sistemas Sensores e registrada na forma de imagens. Cada alvo se comporta de maneira distinta, ou seja, apresentam diferenças de comportamento ao longo do espectro eletromagnético (IBGE, 2001).

Este espectro está dividido em bandas cujas denominações estão relacionadas com as formas com que a radiação pode ser detectada (Figura 21).

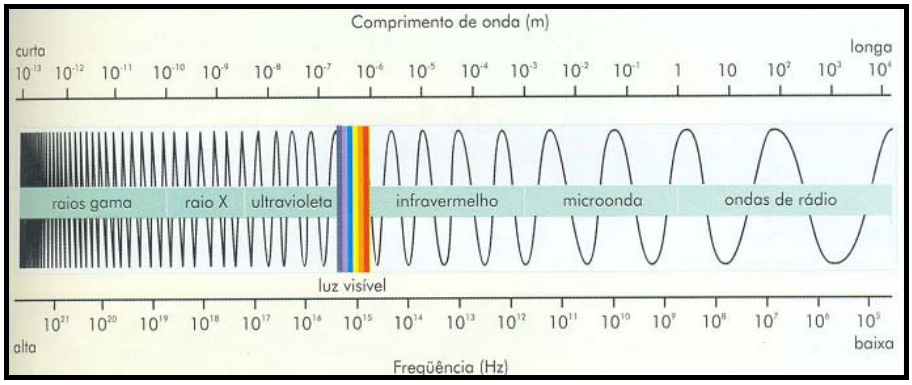

Figura 21– Representação do espectro eletromagnético. Fonte: Florenzanno (2002).

Segundo ROSA (2004), o sensoriamento remoto possibilita a obtenção de dados de forma rápida, confiável e repetitiva, em diferentes faixas espectrais e escalas; e os

SIG's permitem a ligação dessas informações com outros tipos de produtos, tornando estas duas tecnologias complementares.

Por meio de softwares de processamento de imagem e de SIG é possível realizar tanto o pré-processamento da imagem, tão necessário para obter as correções das influências atmosféricas e as correções geométricas que possibilita a introdução no dado raster de parâmetros cartográficos, quanto o realce de imagem propriamente dito. Os SIGs visam basicamente a elaboração de mapas e/ou cartas e análises espaciais.

O processamento digital de imagem pode ser dividido em: a) pré-processamento composto pela retificação e restauração de imagem; b) processamento composto pelo realce de imagem; classificação de imagem; integração de dados e introdução no SIG; analise hiperespectral de imagem; modelamento biofísico e transmissão e compressão de imagem (LILLESND; KIEFER; CHIPMAN, 2004).

5.3.1 – Classificação supervisionada

De acordo com Crosta (1992), na classificação supervisionada o usuário identifica alguns dos pixels pertencentes às classes desejadas e deixa ao computador a tarefa de localizar todos os demais pixels pertencentes àquelas classes, baseado em alguma regra estatística preestabelecida. Neste tipo é necessário que o usuário tenha algum conhecimento da área a ser classificada, antes de iniciar o processo.

Segundo Santos (2002), o princípio da classificação supervisionada é baseado no uso de algoritmos para se determinar os pixels que representam valores de reflexão característicos para uma determinada classe. A classificação supervisionada é a mais utilizada na análise quantitativa dos dados de sensoriamento remoto.

Crosta (1992) considera que várias áreas de treinamento podem ser definidas para uma mesma classe, para assegurar que os pixels a ela pertencentes são realmente representativos dessa classe.

Centeno (2003) afirma que a classificação Maxver é a classificação supervisionada mais aplicada no tratamento de dados adquiridos por satélites. A base estatística deste método é bastante complexa e, para que a classificação seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de pixels para cada conjunto de treinamento.

O conjunto de treinamento pode ser entendido como os contornos ao redor de cada classe na figura 22. Da mesma forma, se as áreas de treinamento forem realmente representativas das superfícies que se deseja classificar, os mesmos contornos podem ser vistos como a probabilidade de qualquer pixel desconhecido pertencer à determinada classe (CROSTA, 1992).

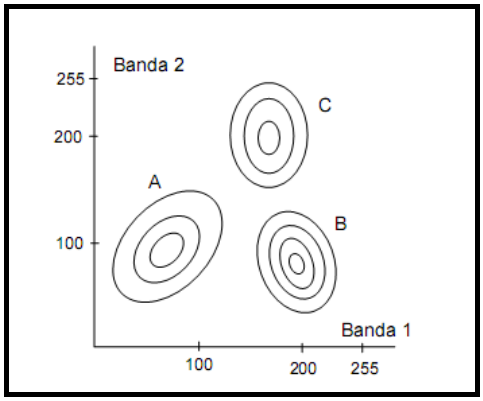

Figura 22 – Espaços de atributos para as classes A, B e C, mostando na forma de contornos a densidade de pixeis nos diversos conjuntos de treinamento. Fonte: Crosta (1992).

5.3.2 – Índice Kappa

Um mapa temático precisa apresentar o seu grau de confiabilidade, assim é indispensável considerar e definir sua exatidão estatística. Na matriz de erros, os pixels classificados de forma correta e errada são analisados em termos de distribuição percentual. A matriz de erros descreve as exatidões individuais de cada categoria do mapa, em conjunto com erros de inclusão e omissão. O índice kappa (K) inclui no cálculo do seu coeficiente todos os elementos da matriz de erros e não apenas os elementos da diagonal principal (KUX; BLASCHKE[22], 2005 apud TANCREDI, 2007). A tabela 16 apresenta o valor de kappa associado aos valores de qualidade de classificação.

[22] KUX, H.J.H; BLASCHKE,T. *Sensoriamento remoto e SIG avançados* – novos sistemas sensores, métodos inovadores. 2005. Oficina de Textos, São Paulo. 286p.

Tabela 16 – Valores de Kappa desenvolvidos.

VALOR DE KAPPA	QUALIDADE DO MAPA TEMÁTICO
< 0,00	Péssima
[0,00 – 0,20[	Ruim
[0,20 – 0,40[	Razoável
[0,40 – 0,60[	Boa
[0,60 – 0,80[	Muito Boa
[0,80 – 1,00]	Excelente

Fonte: KUX; BLASCHKE apud Tancredi, 2007.

5.3.3 – Série Landsat

A série LANDSAT foi iniciada no final da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. O primeiro satélite da série começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999 com o lançamento do LANDSAT-7. Atualmente o único satélite em operação é o LANDSAT-5, que leva a bordo o sensor TM e contribui para o mapeamento temático da superfície terrestre. O LANDSAT-7 iniciou suas atividades em abril de 1999 e encerrou em 2003, utilizando o sensor ETM^{+} (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Este instrumento foi capaz de ampliar as possibilidades de uso dos produtos LANDSAT, porque manteve a alta resolução espectral (característica importante desse sistema) e conseguiu ampliar a resolução espacial da banda 6 (Infravermelho Termal) para 60 metros além de inserir a banda pancromática e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução (BATISTELLA, 2007).

A antena de recepção do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) localizada em Cuiabá capta, desde os anos 70, imagens de todo território nacional, o que representa um enorme e único acervo de dados sobre nosso país. Este sistema orbital é atualmente um dos mais utilizados na Embrapa Monitoramento por Satélite (BATISTELLA, 2007).

As principais aplicações são: Acompanhamento do uso agrícola das terras; apoio ao monitoramento de áreas de preservação; atividades energético-mineradoras; cartografia e atualização de mapas; desmatamentos; detecção de invasões em áreas indígenas; dinâmica de urbanização; estimativas de fitomassa; monitoramento da cobertura vegetal; queimadas Secas e inundações; sedimentos em suspensão nos rios e

estuários (BATISTELLA, 2007). As características dos sensores da serie landsat podem ser visualizadas na tabela 17.

Tabela 17 - Principais características dos sensores da série Landsat.

Missão	Land Remote Sensing Satellite (Landsat)						
Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)						
País Responsável	Estados Unidos						
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7
Lançamento	27/7/1972	22/1/1975	5/3/1978	16/7/1982	1/3/1984	5/10/1993	15/4/1999
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	em atividade	Inativo (05/10/1993)	Inativo (2003)
Órbita	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	s.d.	Polar, Circular e heliossíncrona
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	s.d.	705 km
Inclinação	99°	99°	99°	98,20°	98,20°	s.d.	98,3°
Tempo de Duração da Órbita	103,27 min	103,27 min	103,27 min	98,20 min	98,20 min	s.d.	98,9 min
Horário de Passagem	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:45 A.M.	9:45 A.M.	s.d.	10:00 A.M.
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	s.d.	16 dias
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+

Fonte: Batistella (2007).

5.3.4 – SRTM

O Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) é um projecto conjunto entre National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA). O objetivo deste projeto foi produzir dados topográficos digitais para 80% da superfície da Terra (todos os terrenos áreas entre 60 ° norte e 56 ° de latitude sul) (Figura 23), com pontos de dados localizados em cada 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros) (USGS, 2008).

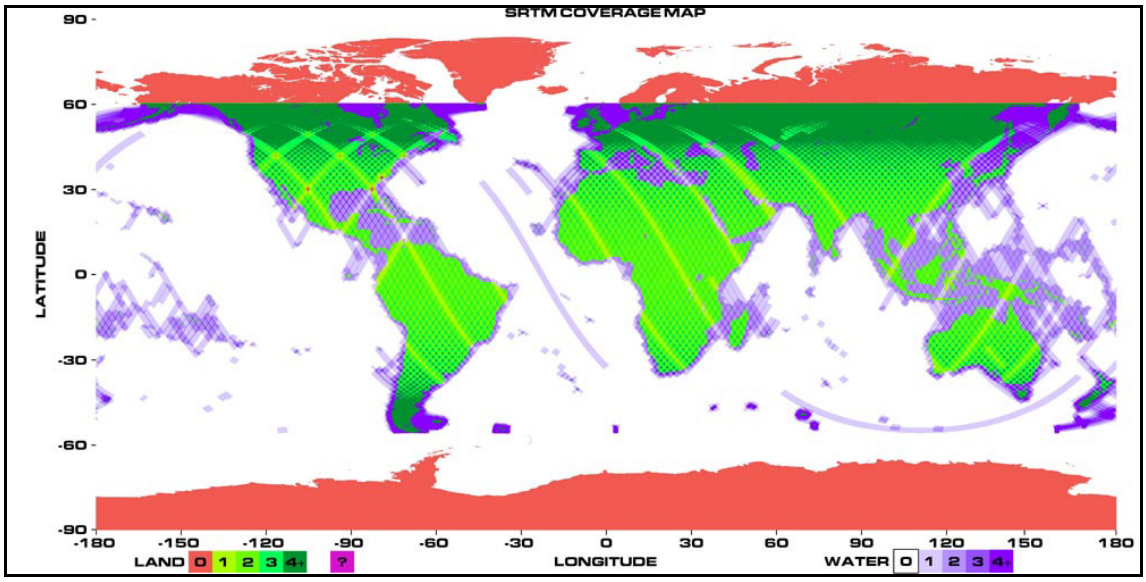

Figura 23 – Área coletada pelo SRTM. Fonte: USGS (2008).

SRTM fez uso da interferometria, na qual duas imagens de radar são tomadas a partir de posições ligeiramente diferentes. As diferenças entre estas imagens permite o cálculo da superfície elevação. Para obter duas imagens radar tomadas a partir de diferentes localizações a SRTM hardware consistiu de uma antena radar na lançadeira payload bay e uma segunda antena radar anexado ao final de um mastro prorrogado 60 metros para fora do ônibus espacial (Figura 24) (USGS, 2008).

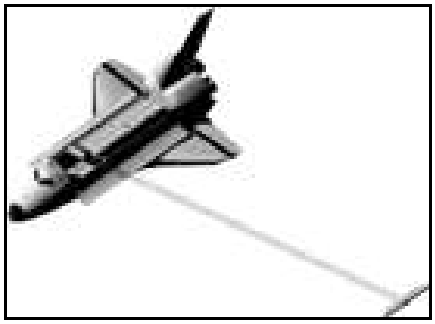

Figura 24 – Forma de coleta dos dados SRTM. Fonte USGS (2008).

5.3.5 – NDVI

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é uma das ferramentas mais antigas, mais conhecidas e utilizadas para calcular o índice de vegetação, sendo expresso pela equação 6.

Equação 6.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Onde, $\mathbf{p_{NIR}}$ é a reflectância no infravermelho próximo e $\mathbf{p_{RED}}$ é a reflectância no vermelho, este índice é adimensional e pode variar entre -1 e 1, sendo comumente a faixa de resposta a uma vegetação e biomassa entre 0,2 e 0,8 (ENVI, 2008).

Alguns trabalhos como de Firmino et al. (2009); Libos et al. (2009); Louzada et al. (2009) relacionam o NDVI com a precipitação de uma área imageada.

A imagem gerada pelo NDVI apresenta os tons de cinza (0 a 256) variando entre -1 e +1, onde os tons mais escuros estão próximos a -1 e os mais claros estão relacionados com valores próximos a +1, correspondendo respectivamente as características de estresse hídrico e a uma vegetação exuberante.

Regiões com água apresentam valores negativos, próximos a -1, no NDVI o mesmo ocorrendo com áreas de sombra. As nuvens refletem de forma semelhante no visível e no infravermelho próximo, portanto espera-se que o valor do pixel seja em torno de zero. O solo nu ou com vegetação rala apresenta valores positivos, mas não muito elevados. Vegetação densa, úmida e bem desenvolvida apresenta os maiores valores de NDVI, próximos a 1 (FIRMINO et al., 2009).

O NDVI apresenta alguns problemas para a análise da vegetação devido a relação não linear entre o NDVI e a biomassa ou cobertura vegetal. Entretanto, em áreas onde a cobertura vegetal não é muito densa, estudos mostram uma forte relação entre o NDVI e a biomassa, cobertura vegetal e atividade vegetal (LOUZADA et al., 2009).

5.4 – USO E COBERTURA DA TERRA

O Levantamento do Uso e da Cobertura da Terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Envolve pesquisas de escritório e de campo, voltadas para a interpretação, análise e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando a sua classificação e espacialização através de cartas (IBGE, 2006).

Os conceitos atribuídos à cobertura e ao uso da terra guardam íntima relação entre si e costumam ser aplicados alternativamente. Geralmente, as atividades humanas estão diretamente relacionadas com o tipo de revestimento do solo, seja ele florestal, agrícola, residencial ou industrial. Dados de sensoriamento remoto como fotografias aéreas e imagens de satélite, podem ser correlacionados com a cobertura da terra e usados para mapear o tema. Entretanto, como o sensor remoto não registra a atividade

diretamente, mas características da superfície da terra que retratam o revestimento do solo, as atividades de uso da terra correlacionadas à cobertura precisam ser interpretadas a partir de modelos, tonalidades, texturas, formas, arranjos espaciais das atividades e localização no terreno (IBGE, 2006).

5.5 – APTIDÃO AGRÍCOLA

O Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras é uma forma de avaliação dos atributos das terras (solo, clima, vegetação, geomorfologia etc.) permitindo uma orientação de como se deve utilizar seus recursos a nível regional e nacional (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA[23], 1981 apud PEREIRA NETO, 1994).

A metodologia proposta por Ramalho Filho; Pereira e Beek [24] (1978) apud Pereira Neto (1994) afirmam ser a classificação da aptidão agrícola das terras um processo interpretativo de caráter efêmero, e pode ser atualizado e substituído conforme os avanços tecnológicos. Esta metodologia considera o nível de manejo, os fatores limitantes e o grau dessas limitações para se obter as classes de aptidão.

Tendo em vista práticas agrícolas ao alcance da maioria dos agricultores num contexto específico, técnico, social e econômico são considerados três níveis de manejo, visando diagnosticar o comportamento das terras em diferentes níveis tecnológicos. Sua indicação é feita através das letras A, B e C (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1979).

Os níveis de manejo (Tabela 18) são entendidos pelo Ministério da Agricultura (1979) como: o nível de manejo A baseia-se em práticas agrícolas que refletem um baixo nível tecnológico. Praticamente não há aplicação de capital para manejo, melhoramento e conservação das terras e das lavouras. As práticas agrícolas dependem do trabalho braçal, podendo ser utilizada alguma tração animal com implementos agrícolas simples.

O nível B apresenta práticas agrícolas que refletem um nível tecnológico médio. Caracteriza-se pela modesta aplicação de capital e de resultados de pesquisa para

[23] MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. *Aptidão agrícola das terras do Paraná: estudos básicos para o planejamento agrícola*. Brasilia: SUPLAN, 1981. 138p (Aptidão Agrícola das Terras – 21).
[24] RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E.G.; BEEK, K.J. Sistema de avaliação de aptidão agrícola das terras. Brasília: SUPLAN/EMBRAPA, 1978. 70p.

manejo, melhoramento e conservação das terras e das lavouras. As práticas agrícolas estão condicionadas principalmente a tração animal.

O nível C é baseado em práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico. Caracteriza-se pela aplicação intensiva de capital e de resultados de pesquisa para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e lavouras. A motomecanização está presente nas diversas fases da operação agrícola.

Tabela 18 – Classes de aptidão agrícola.

Classes de Aptidão Agrícola	Tipos de Utilização					
	Lavouras			Pastagem Plantada	Silvicultura	Pastagem Natural
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível B	Nível B	Nível A
Boa	A	B	C	P	S	N
Regular	a	b	c	P	s	n
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)
Inapta	-	-	-	-	-	-

Fonte: Ministério da Agricultura (1979).

São os fatores limitantes do solo que permitem avaliar as condições agrícolas das terras. Estabelecem-se assim, graus de limitação para indicar a intensidade das variações destes limitantes. Em função desses graus atribuídos a cada unidade das terras resultará a classificação de sua aptidão agrícola. Os fatores limitantes são a deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio (ou excesso de água), suscetibilidade a erosão e implementação a mecanização e, encontram-se detalhadamente explicados no Anexo II.

5.6 – SIG E GESTÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

A gestão ambiental é um processo de articulação das ações dos diferentes agentes sociais que interagem em um dado espaço, com vistas a garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos ambientais – naturais econômicos e sócio-culturais às especificidades do meio ambiente, com base em princípios e diretrizes previamente acordados/definidos (LANNA[25], 1995 apud MUÑOZ, 2000).

Para uma adequada gestão de bacias hidrográficas é fundamental que os atores sociais envolvidos tenham conhecimento do ambiente, das potencialidades e

[25] LANNA, E.A. *Gerenciamento de Bacias Hidrográficas*. Aspectos conceituais e metodológicos. IBAMA. Brasília, 1995.

fragilidades, compreendendo, assim, os mecanismos de regulação do uso da terra e dos demais recursos naturas (SOUZA; FERNANDES[26], 2000 apud DILL, 2007).

Esta temática de gestão de bacias vem sendo cada vez mais aceita nos países da América Latina, entretanto a falta de uma clareza conceitual nesta matéria ocasiona conflitos e sobreposições de missões, responsabilidades e funções entre instituições e dificulta a formulação de políticas e leis claras sobre o tema. As atuais discrepâncias que ainda persistem nas diferentes orientações de vários termos, que são usados para referir-se aos processos de gestão de bacias sugere uma necessidade de classificar estes conceitos (DOUROJEANNI; JOURAVLEV; CHÁVEZ, 2002). A tabela 19 sintetiza os diversos enfoques da gestão de bacias e a figura 25 apresenta uma hierarquização destes enfoques.

A tabela 19 é uma matriz que relaciona os grupos de fatores as etapas de gestão de bacias e os objetivos deste processo, definidos pela quantidade de elementos e recursos naturais que contém a gestão, mostrando a terminologia utilizada em cada caso.

Tabela 19 – Classificação de ações de Gestão no nível de Bacias hidrográficas

Etapas de Gestão	Objetivo da Gestão em Bacias Hidrográficas			
	Para o Aproveitamento e manejo integrado	Para aproveitar e manejar todos recursos naturais	Para Aproveitar e manejar só a água	
			Multisetorial	Setorial
	a	b	c	d
Prévia	**Estudos, planos e projetos (ordenamento de bacias)**			
Intervensão	*River Basin Development* - Desenvolvimento integrado de bacias ou desenvolvimento regional	*Natural Resources Development* - Desenvolvimento ou aproveitamento de Recursos Naturais	*Water Resources Development* - Desenvolvimento ou aproveitamento de recursos hídricos	*Water Resources Development* - água potável, esgoto, irrigação e drenagem, hidroenergia
Prmanente	*Envaronment Management* - Gestão ambiental	*Natural Resources Management* - Gestão ou manejo de recursos naturais	*Water Resources Management* - Gestão da água	*Water Resources Management* - Gestão da água potável, irrigação e drenagem
		Watershed Management - Manejo ou ordenação de bacias		

Fonte: adaptado de Dourojeanni[27] (1994apud DOUROJEANNI; JOURAVLEV; CHÁVEZ, 2002).

[26] SOUZA, E.R.; FERNANDES, M.R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentável das atividades rurais. Inf. Agropec. Belo Horizonte. 207: 15-20, 2000.

[27] DOUROJEANNI, A. *Comisión Políticas públicas para el desarrollo sustentable*: la gestión integrada de cuencas Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Territorial y Ambiental (CIDIAT). 1994.

Figura 25 – Hierarquização de ações de gestão em nível de bacias hidrográficas. Fonte: adaptado de Dourojeanni[28] (1997 apud DOUROJEANNI; JOURAVLEV; CHÁVEZ, 2002).

A gestão e o geoprocessamento possuem em comum a questão da espacialidade, pois todo ambiente se caracteriza por uma localização espacial e por processos dinâmicos (que ocorrem no tempo), modificando as variáveis ambientais no tempo e espaço (RUHOFF, 2004).

A Gestão Ambiental, implementada e institucionalizada pelas conferências mundiais sobre o meio ambiente, conforme Lanna (1995) *apud* Ruhoff (2004) é um processo de articulação das ações dos diferentes agentes sociais que interagem em um determinado espaço, para garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos naturais às especificidades do meio ambiente, com base em diretrizes estabelecidas. Ainda pode-se salientar que a Gestão Ambiental é implementada por: I) Políticas Ambientais; II) Planejamento Ambiental; e III) Gerenciamento Ambiental. Através do planejamento ambiental é estabelecida a adequação da utilização dos recursos naturais, o controle e a proteção do meio ambiente. Com o gerenciamento ambiental, regula-se na prática, o uso, o controle, a proteção e a conservação dos recursos naturais, estabelecidas pelas políticas ambientais.

Atualmente observa-se um crescente interesse no desenvolvimento e utilização das ferramentas SIG's de geoprocessamento para este fim atendendo assim diversas aplicações em uma variedade de áreas do conhecimento, sendo justificada esta procura

[28] DOUROJEANNI, A. Conceptos para la gestión del agua: temas en debate, Segundo Taller de Gerentes de Organismos de Cuenca en América Latina y el Caribe (Santiago de Chile, 11 al 13 de diciembre de 1997).

principalmente pela possibilidade de relação de dados alfanuméricos com dados espaciais e a possibilidade de integrar dados de diferentes fontes.

Este crescente desenvolvimento pode ser percebido pela realização de eventos específicos na área de SIG's no Brasil desde os anos 80, promovidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pela Editora Sagres de Curitiba, responsável pelo periódico Fator GIS. Atualmente a sua sucessora, Editora MundoGeo, publica na internet e, em meio impresso, as revistas InfoGeo e InfoGPS, sendo responsável também pelos eventos em geoprocessamento. Nestes eventos, como o Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto e o GeoBrasil, têm sido apresentados e publicados trabalhos de diversificado interesse temático (GARCIA; PINTO, 2005).

Segundo Kampel (2002), os SIG's são ferramentas computacionais para Geoprocessamento que permitem realizar análises completas, integrando dados de diversas fontes e criando banco de dados georreferenciados. Os SIG's são normalmente utilizados para a geração de mapas, como suporte para a análise de fenômenos, como um banco de dados geográficos com funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais, e ainda na modelagem de processos e fenômenos naturais permitindo o diagnóstico ambiental e seus prognósticos.

Em um ambiente computacional, a noção de mapa deve ser estendida para incluir diferentes tipos de dados como imagens de satélites, modelos numéricos e dados coletados *in situ*. Assim, um SIG é capaz de integrar numa única base de dados, informações espaciais provenientes de imagens de satélites, mapas cartográficos, arquivos batimétricos, dados meteorológicos históricos etc (KAMPEL, 2002).

Um SIG permite fazer relacionamento ou associação entre tabelas ou entre registros de uma tabela com pontos, linhas ou áreas de uma imagem. É através destes relacionamentos que se consegue ampliar mais as informações ligadas a uma imagem e a tornar a análise mais completa. Uma ferramenta SIG pode ser definida como um sistema gerenciador de dados geográficos (DANTAS; FERNÁNDEZ, 2004).

A principal utilidade desse sistema é o de possibilitar a correlação, a qualquer momento, das informações contidas em *layers*, organizadas em diversas escalas, possibilitando a extração de elementos resultantes de combinações variáveis das informações contidas nos *layers.* (COSTA, 2004)

Os sistemas que compõem o SIG podem ser divididos em:

- Sistemas de entrada de dados: sistema de processamento digital de imagens (PDI), digitalização de mapas, sistema de posicionamento global (GPS), dados tabulares (planilhas eletrônicas) e dados estatísticos;
- Sistemas de armazenamento de dados: banco de dados espacial (mapas digitais) e banco de dados de atributos (alfanuméricos);
- Sistemas de análise de dados: sistema de análise geográfica (operações algébricas), sistema de análise estatística e sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD);
- Sistemas de saída de dados: sistema de exibição cartográfica (saída de mapas para a tela, impressora, plotter e arquivos digitais).

Nos SIG's inicialmente, define-se o nível de abstrações do modelo de dados: Nível do Mundo Real – contém os elementos da realidade geográfica a serem modelados; Nível Conceitual – comporta as ferramentas de modelagem dos dados, determinando quais classes serão criadas no SGBD; Nível de Representação – associa os dados geográficos identificados no nível conceitual às classes de representações, que variam conforme a escala, projeção e data de aquisição dos dados; Nível de Implementação – define padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para implementar as diferentes representações (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Dentro destes níveis de abstrações, os dados e objetos geográficos são representados em classes de dados geográficos, tais como mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, modelos numéricos do terreno e imagens (RUHOFF, 2004).

Entretanto a grande característica dos SIG's é a analise espacial que eles possibilitam. Esta foi dividida por Silva (2003) em analise de superposição, análise não cumulativa, analise algébrica cumulativa e de redes.

A análise de superposição foco deste trabalho é dividida em imposição, colagem, comparação, associação e sincronização (Tabela 20).

Tabela 20 – Diferenças nas operações de superposição.

Operações de Superposição	Caracteristicas
Imposição	Seleção de uma determinada área para ser analisada em todos os planos de informação
Colagem	Preservação das áreas de um mapa com imposição de atributos de outro mapa as regiões preservadas
Comparação	Preserva áreas entre planos de informação com o mesmo atributo
Associação	Gera áreas georreferenciadas a partir da determinação de grupos em planos de infomação diferentes
Sincronização	Superposição de mapa onde cada interseção representa uma nova categoria

Em resumo, os objetos de muitos estudos de bacias hidrográficas incluem a segmentação da bacia, identificação das redes de drenagem, caracterização das declividades do terreno e, quantificação do escoamento por exemplo. A obtenção destas variáveis é dificultada por métodos tradicionais. Uma das melhores soluções encontradas está na utilização de Modelos Digitais de Elevação como o SRTM através de SIG's para a extração destes dados morfométricos (LYON, 2003). Estes se constituem em dados básicos para o conhecimento do ambiente, de suas potencialidade e fragilidades tão necessárias para a tomada de decisão no processo de gestão de bacias hidrográficas. Além disso, utilização de geotecnologias como o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto permitem uma abordagem integrada de dados do meio físico. Sendo então ideal para trabalhar a complexidade dos processos envolventes em uma bacia hidrográfica. Uma estrutura esquemática de um SIG para este fim pode ser observado na figura 26.

.

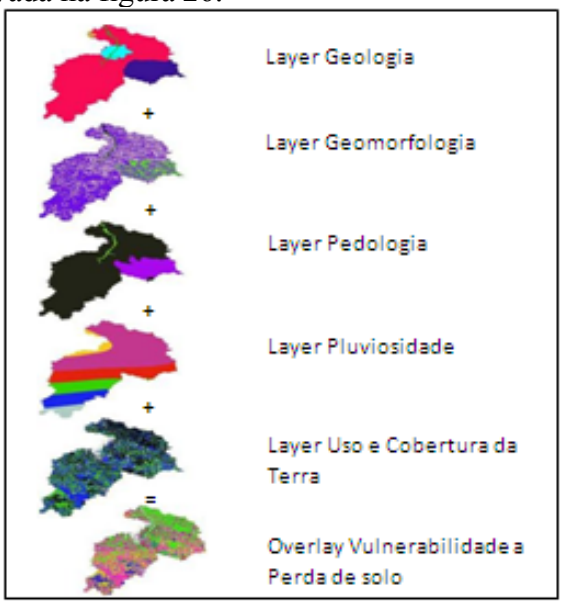

Figura 26 – Esquema de um SIG aplicado a integração e análise de dados geográficos.

5.7 – GEODATABASE

Um banco de dados é uma coleção de dados armazenados em formato de estruturas usadas em computador (HARVEY, 2008).

Dos tipos de bancos de dados, o relacional trás consigo a vantagem em representações geográficas e cartográficas como: mantendo a integridade dos dados, o uso da linguagem *structured query language* – SQL e alem de ser possível definir diferentes views do mesmo dado em diferentes tabelas do banco de dados (HARVEY, 2008).

O *geodatabase* possui algumas facetas que aprimoram a tecnologia de banco de dados relacional: ele pode representar dados geográficos em quatro manifestações (objetos discretos, fenômenos contínuos, superfícies e referencia para locais); possui uma estrutura para definir e administrar conjunto de dados de sistemas de coordenadas espaciais e armazenar *shapes* promovendo operações espaciais; ele pode definir relações gerais e arbitrarias entre objetos e características e; pode promover ligações naturais de tabelas para características armazenadas (ZEILER, 1999).

O *personal geodatabase* é implementado como um Microsoft Access *database*, sendo construído no ArcInfo e apropriado para projetos SIG (ZEILER, 1999).

6 – RESULTADOS

Por não haver necessária concordância entre o limite da bacia hidrográfica e as áreas (divisões) municipais (tabela 21 e figura 27) um dos maiores desafios na construção desse espaço de gestão do território é o próprio uso de bacias hidrográficas como unidades de gestão, pois esta leva ao pensamento holístico na administração dos recursos naturais, como por exemplo, o uso do rio Caeté, ou a água subterrânea nesta bacia.

Tabela 21 – Área dos municípios e parte pertencente à bacia do Caeté.

CARACTERISTICAS / MUNICIPIOS	AREA TOTAL (km²)	AREAS E PORCENTAGENS DOS MUNICIPIOS CONTIDOS NA BACIA (km²/%)	PORCENTAGEM DA BACIA COMPOSTA PELOS MUNICIPIOS (%)
Bonito	587,49	183,91/31,31	8,92
Bragança	2090,23	987,17/47,23	47,90
Capanema	614,03	128,45/20,92	6,23
Ourém	562,13	179,00/31,84	8,69
Santa Luzia do Pará	1350,77	448,93/33,24	21,78
Tracuateua	852,22	133,30/15,64	6,47

Estes municípios terão que está em completa harmonia administrativa para a gestão de seus recursos naturais, uma vez que o percentual apresentado da composição da bacia por estes municípios é heterogênio estando a maior quantidade – 47,90% em Bragança e a menor – 6,23% em Capanema.

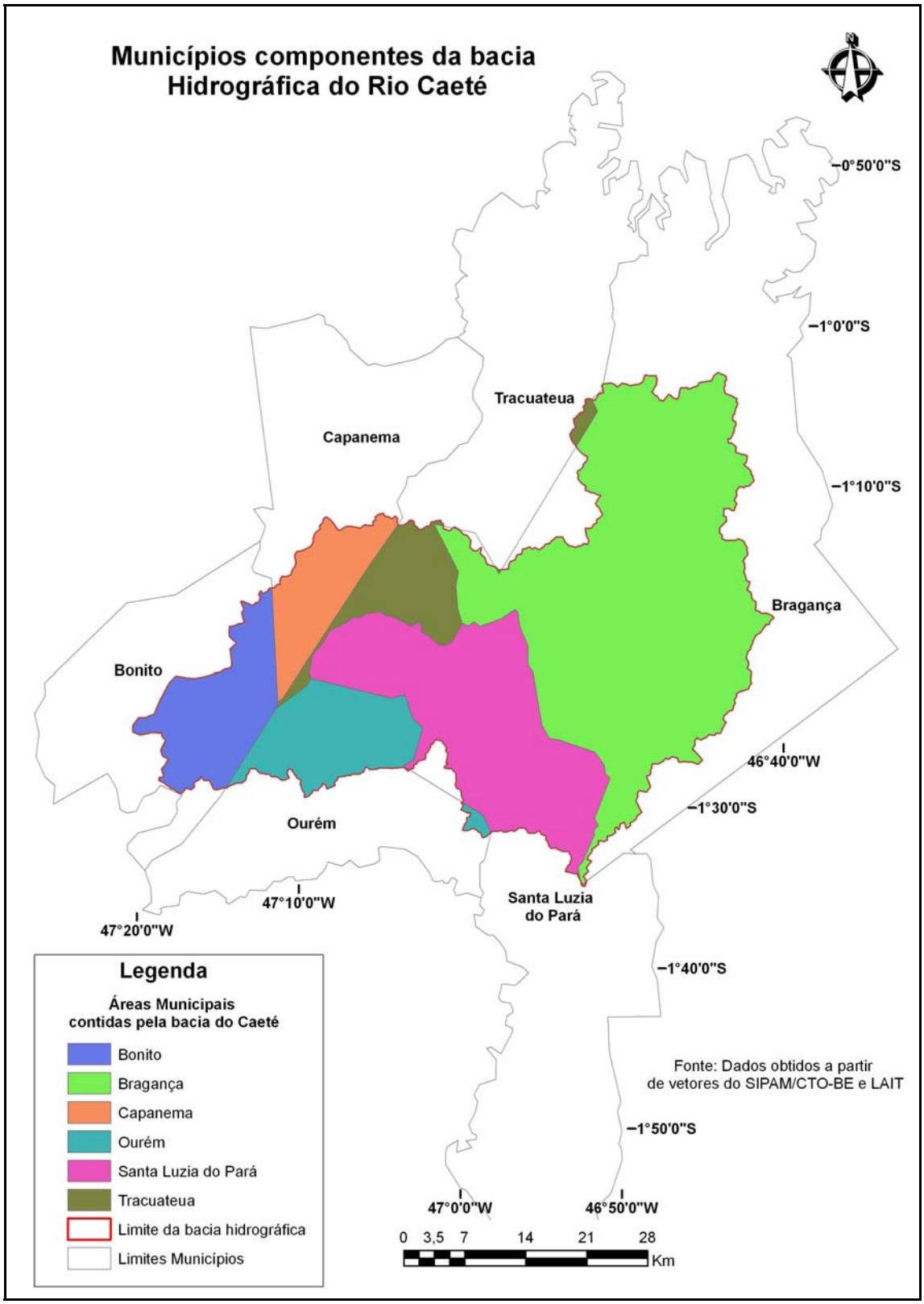

Figura 27 – Porções municipais englobadas pela bacia do Caeté.

6.1 – MORFOMETRIA

A bacia do rio Caeté apresenta o padrão de drenagem dendrítico e uma assimetria quanto ao comprimento de seus afluentes, onde os mais extensos localizam-se na margem direita e os menores na margem esquerda.

Trata-se de uma bacia de quinta ordem segundo a hierarquia de Strahler (1986) podendo ser visualizada com seu divisor topográfico e sua rede de drenagem hierarquizada na figura 28. Esta bacia apresenta um perímetro de 316,92 Km e área total de 2060,75 Km². O comprimento de seu canal principal é de 120,79 Km. A diferença de altitude máxima é de 101 m e o comprimento total de seus canais é de 1449,051 Km.

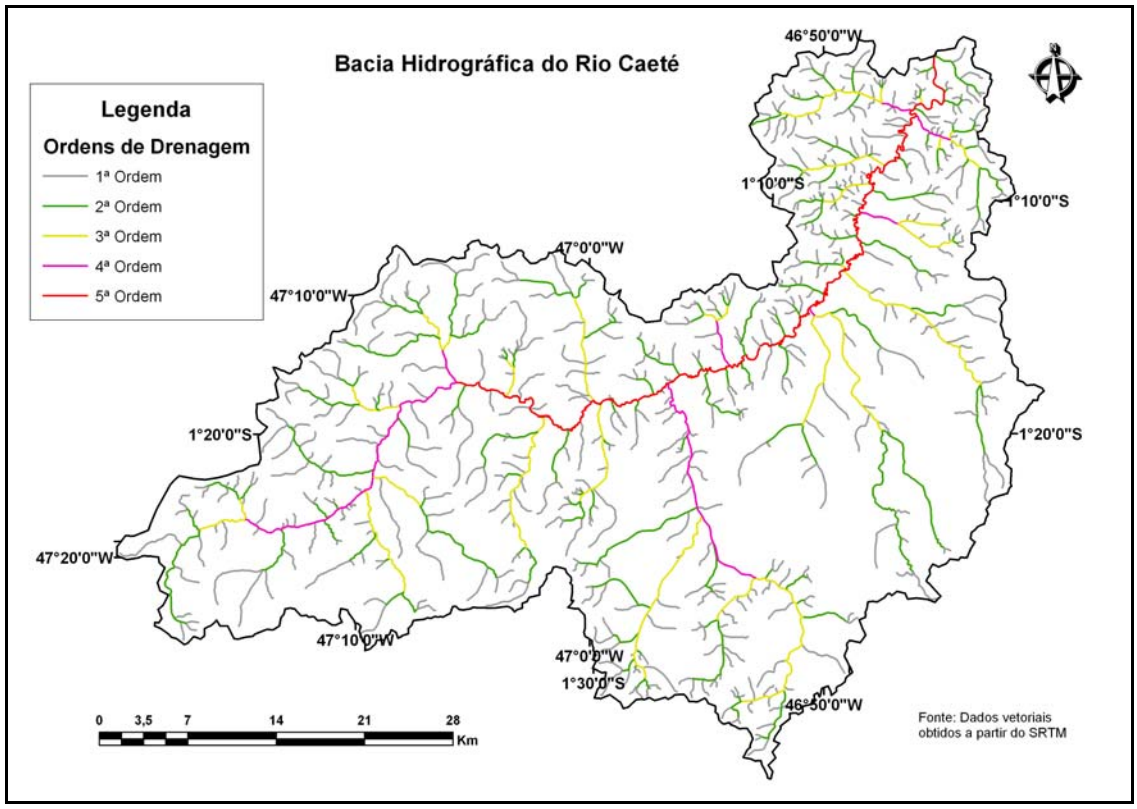

Figura 28 – Hierarquias de drenagem

A distribuição espacial de altitudes e declividades pode ser visualizada nas respectivas figuras 29 e 30. Nas figuras 31 e 32, são apresentadas respectivamente as percentagens de cada classe hipsométrica e de declividade em relação a área total da bacia.

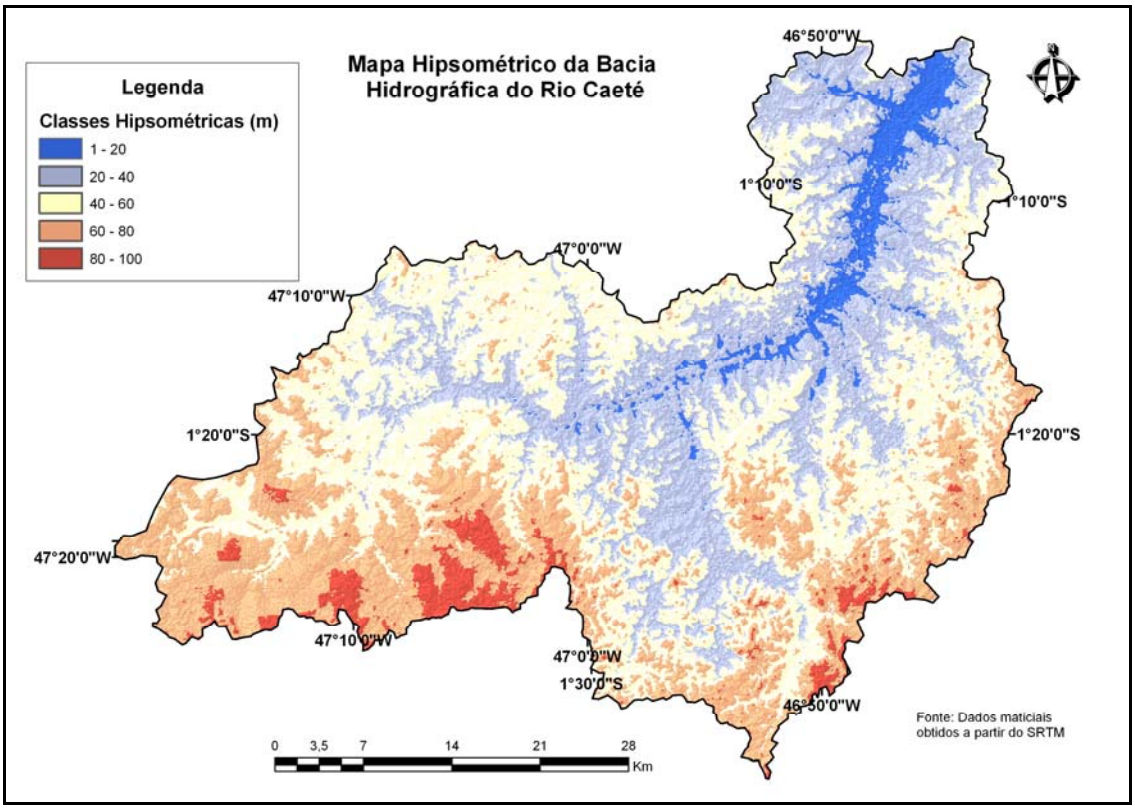

Figura 29 – Classes hipsométricas

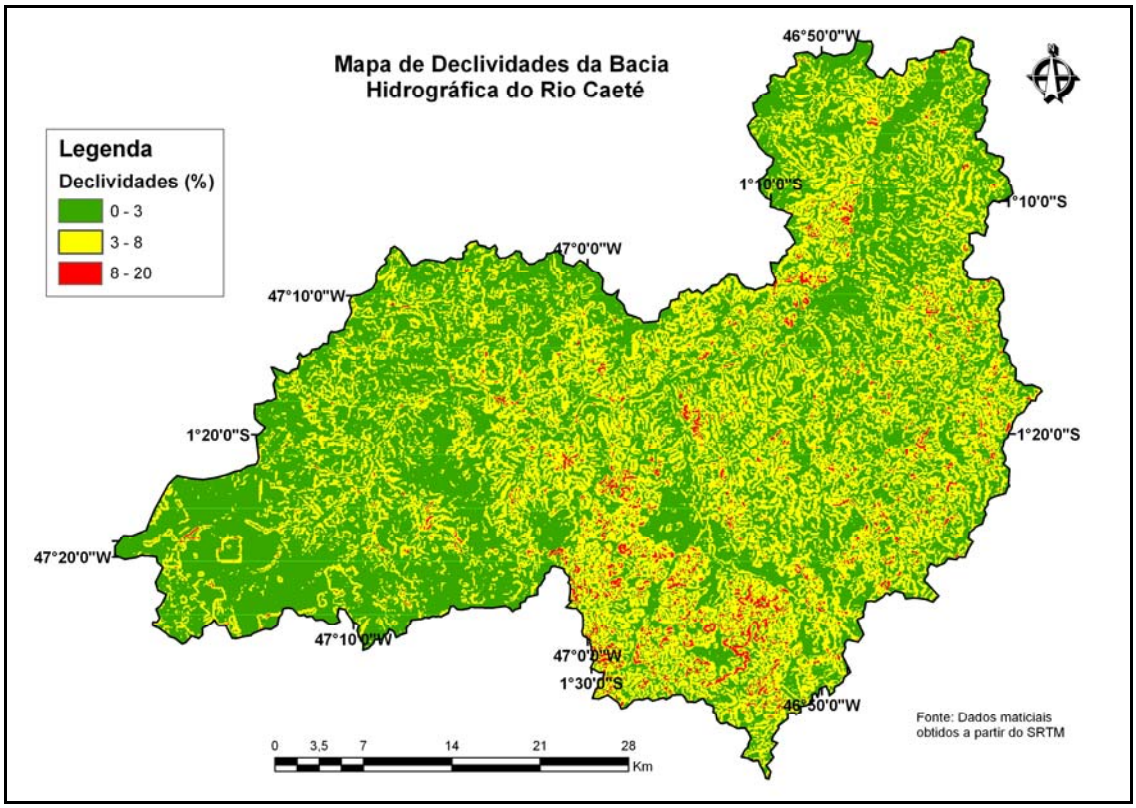

Figura 30 – Declividades da Bacia do Caeté.

A área da bacia é composta por 40,07% de valores altimétricos entre 40 a 60 m e apresenta altitude média de 49,70 m.

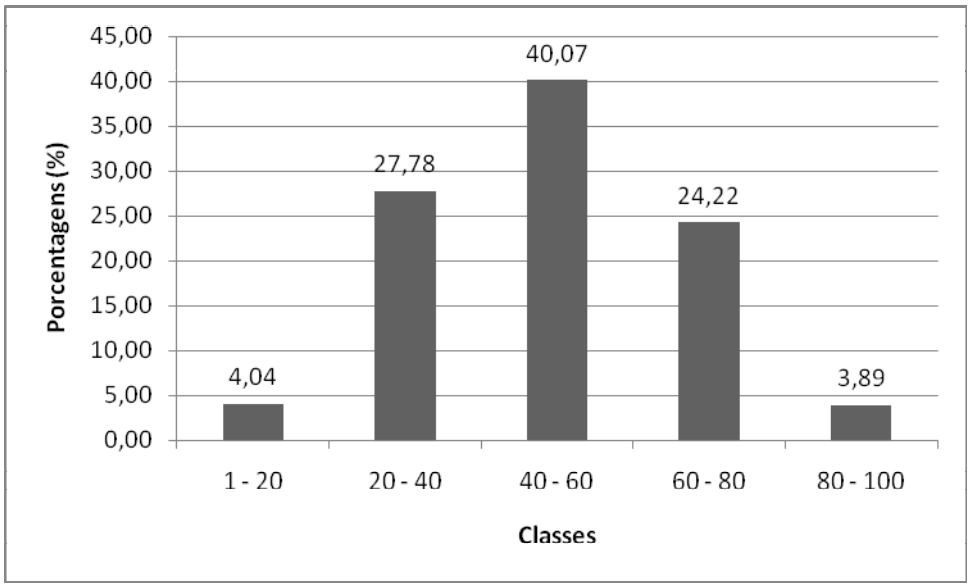

Figura 31 – Relação entre classes hipsométricas e suas porcentagens na composição da bacia hidrográfica.

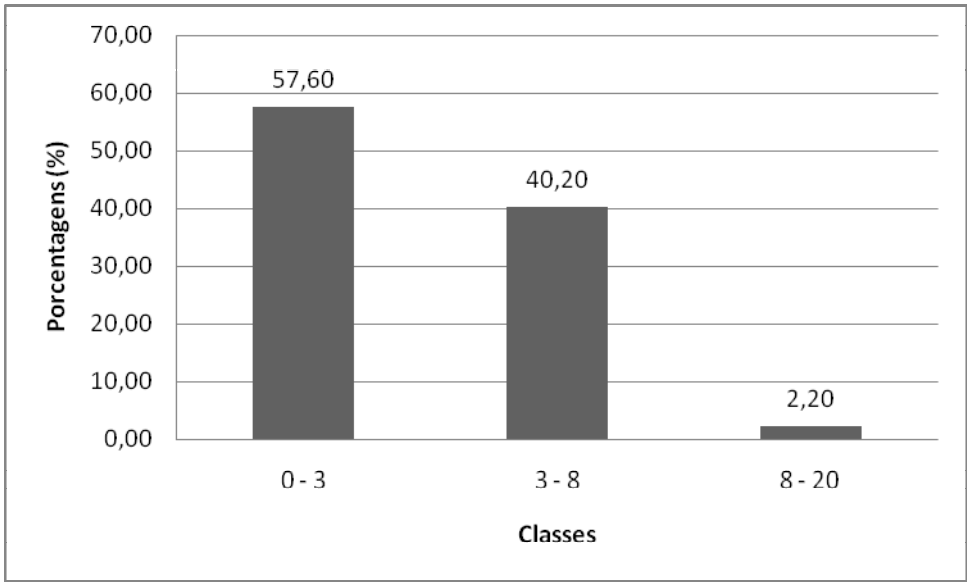

Figura 32 – Relação entre classes de declividade e suas porcentagens na composição da bacia hidrográfica.

A bacia apresenta uma declividade média é de 3,04% e pode ser classificada com relevo plano com 57,59% de sua área compreendida entre 0 a 3% de declividade.

A tabela 22 mostra as características fisiográficas medidas para a bacia hidrográfica do Caeté.

Tabela 22 – Características fisiográficas da bacia do Caeté.

Parâmetros Avaliados	Valores Obtidos	Unidades
Área de Drenagem	2060,76	Km^2
Perímetro	316,92	Km
Comprimento do Canal Principal	120,79	Km
Comprimento Total dos Canais	1449,05	Km
Relação de Relevo	0,000836	-
Densidade Hidrográfica	0,2639	$(Km^2)^{-1}$
Densidade de Drenagem	0,70	km/km^2
Coeficiente de manutenção	1422,14	m^2/m
Gradiente de Canais	0,86	%
Índice de Circularidade	0,25	-
Índice de Sinuosidade	1,62	-

A espacialização das orientações de vertentes assim como as curvaturas verticais e horizontais e, geração do mapa da forma do terreno, podendo ser visualizadas respectivamente nas figuras 33, 34, 35 e 36.

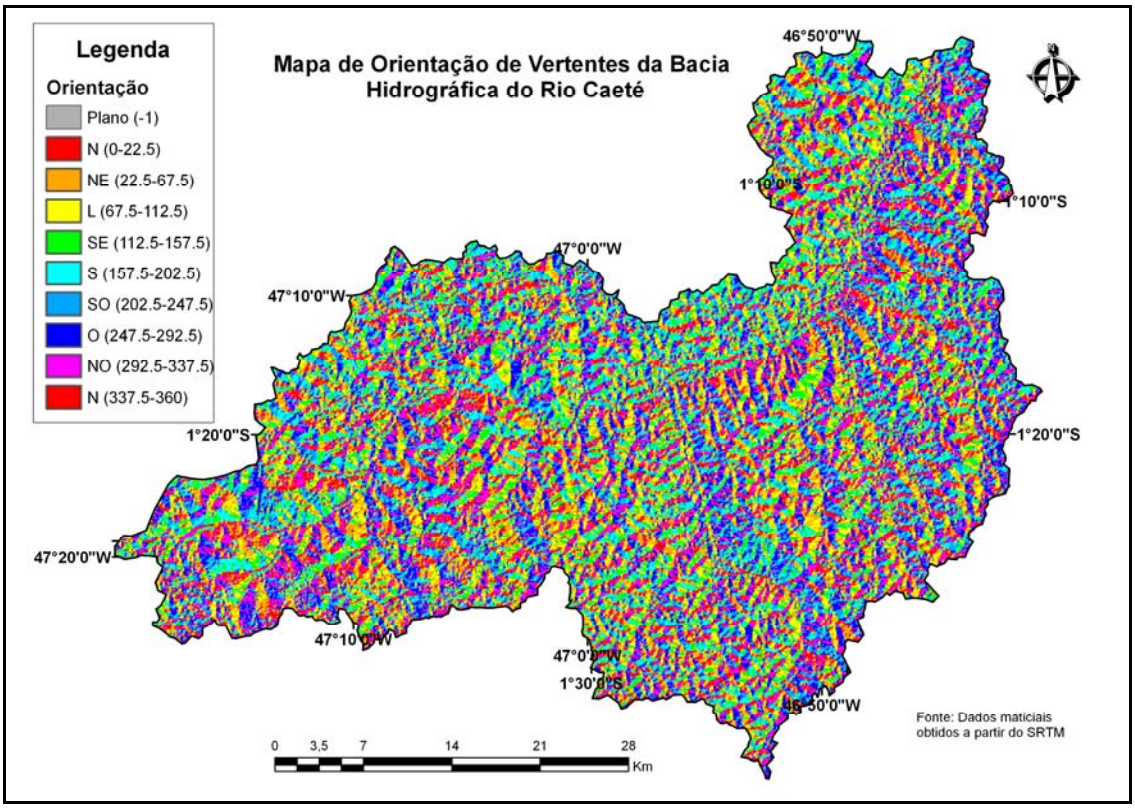

Figura 33 – Orientação de vertentes.

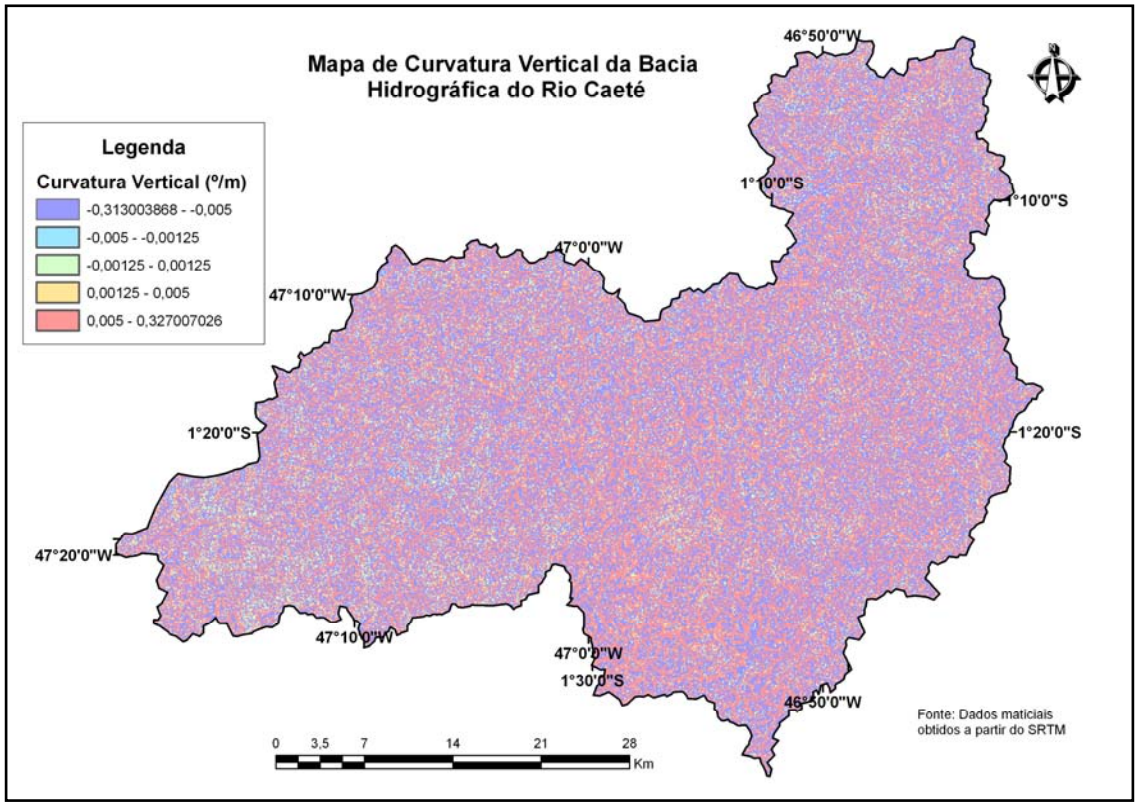

Figura 34 – Caráter côncavo/convexo da bacia dividida em 5 classes.

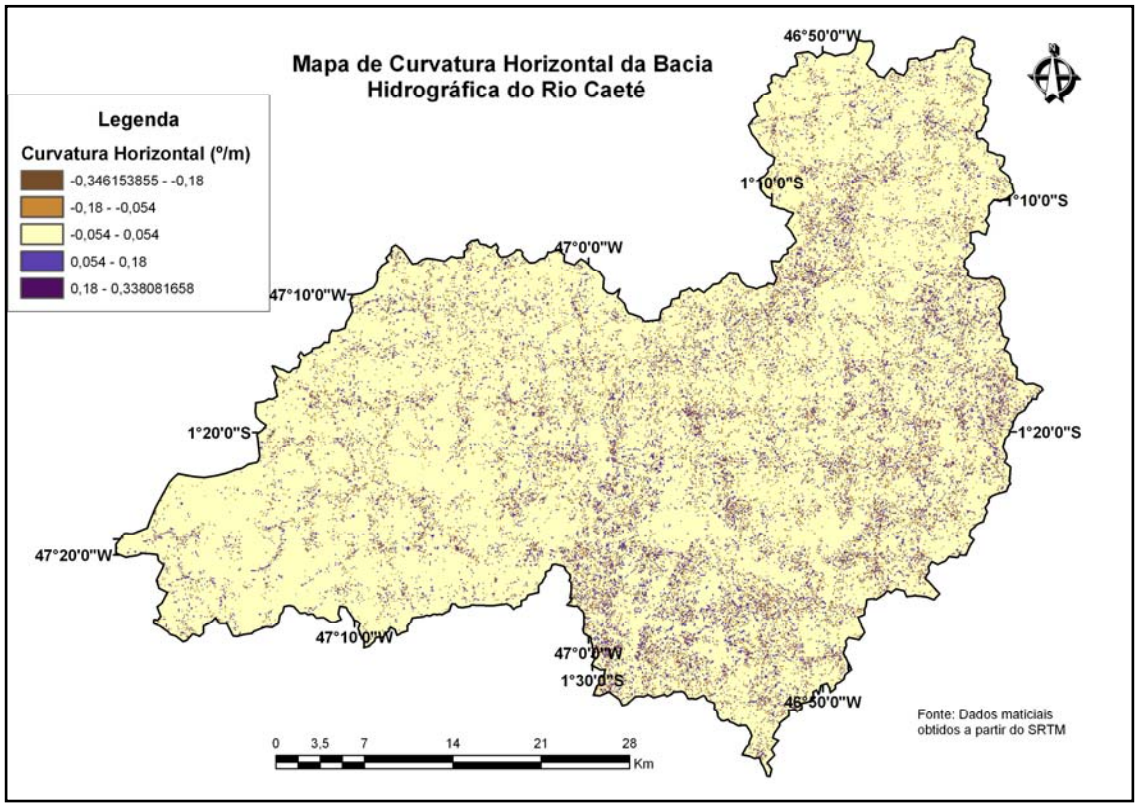

Figura 35 – Variação da orientação das vertentes ao longo de distancias determinadas representada em 5 classes.

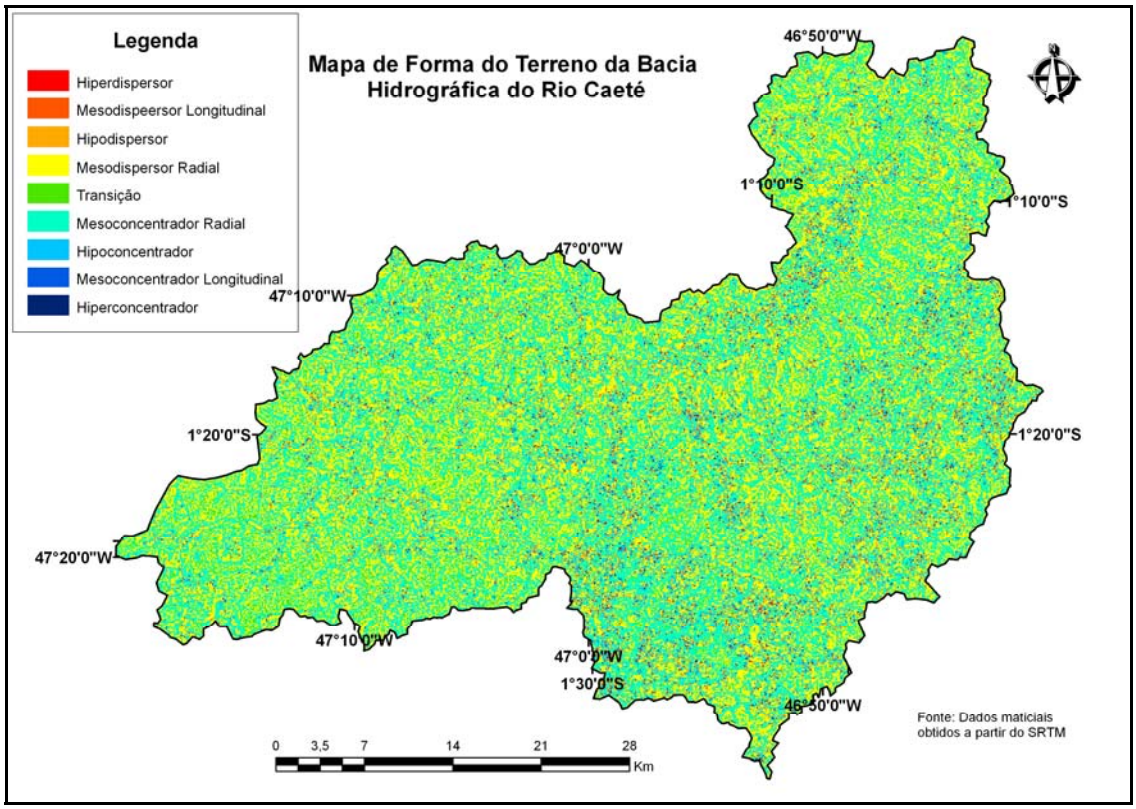

Figura 36 – As formas de terreno representadas em 9 classes.

A quantificação dos domínios dos fluxos na bacia devido as formas de terreno podem ser visualizados na tabela 23.

Tabela 23 – Domínio dos fluxos em relação à área da bacia.

Domínio	Procentagem da área da Bacia	Área (Km²)
Concentração	44,36	914,02
Transição	5,49	113,13
Dispersão	50,14	1033,12

Para melhor visualização da hipsometria na bacia em estudo foram traçados três perfis transversais e o longitudinal ao longo da bacia do Caeté a qual está dividida em 5 classes altiméricas, podendo ser vistos na figuras 37.

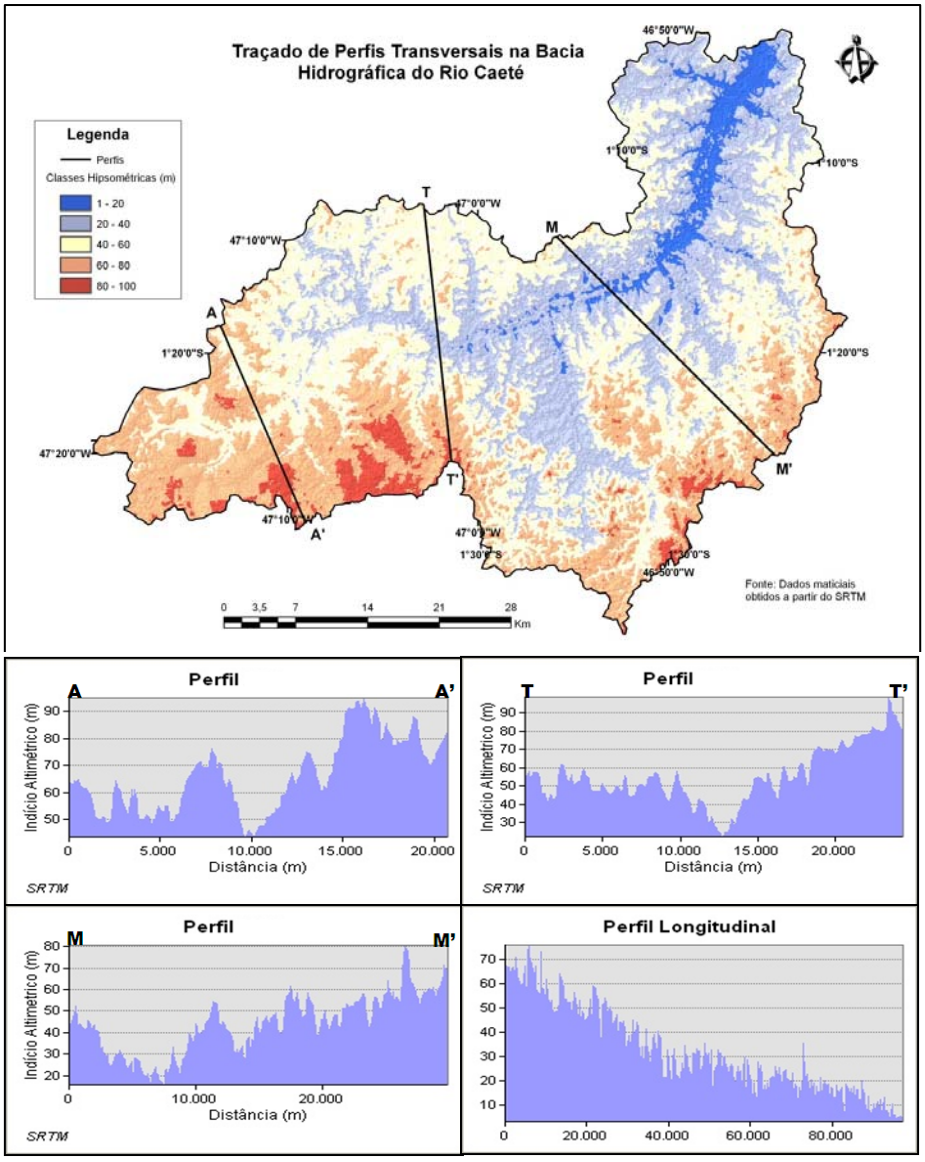

Figura 37 – Perfis transversais e longitudinal.

A visualização da bacia hidrográfica em 3D encontra-se na figura 38.

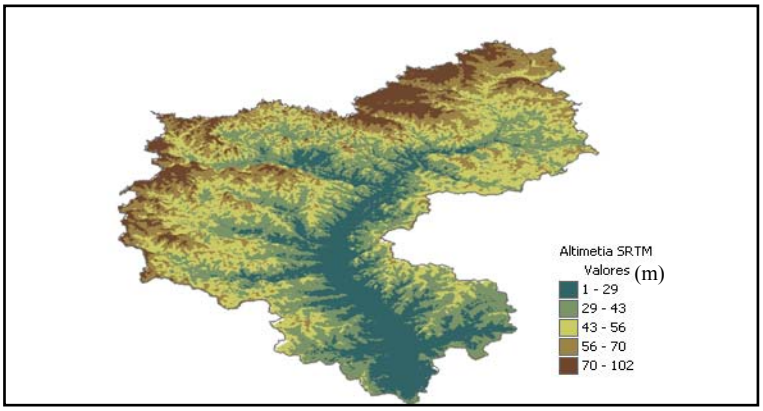

Figura 38 – Bacia em 3D.

6.2 – HIDROMETRIA

As medições de vazão e material em suspensão foram realizadas em três pontos (Figura 39).

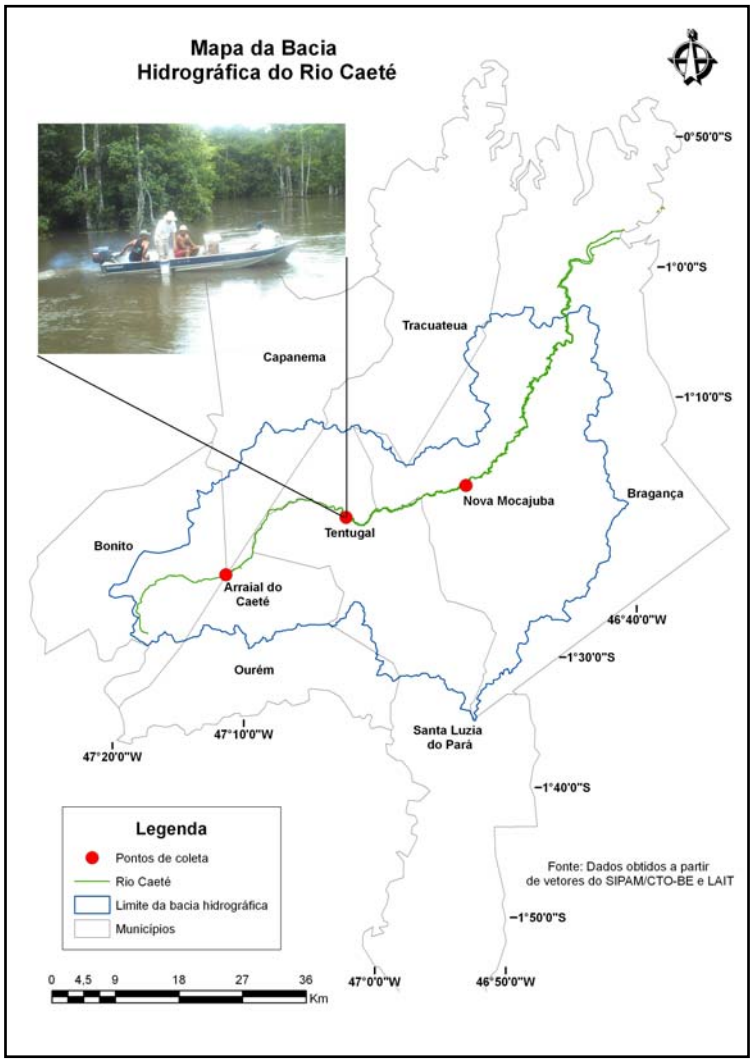

Figura 39 – Locais de coleta.

Em cada estação foram medidas as características morfológicas do canal, a vazão e a intensidade do material em suspensão para um período com maior vazão (junho/2008) e sem registro de pluviosidade nos dias de medição e; foram medidos também estas mesmas variáveis para um período com menor vazão (setembro/2008), porém com registro de pluviosidade nos dias de medição.

Na estação Nova Mocajuba e Tentugal a medição em setembro de 2008 foi realizada com a presença de fortes chuvas. Na estação pluviométrica de Santa Luzia do Pará foi registrada a precipitação de 53,9 mm no dia 13/09/2008 (data de medição).

As características morfométricas do canal podem ser visualizadas para os dois períodos de medição nas tabelas 24 e 25.

Tabela 24 – Morfometria do canal durante as medições em junho de 2008.

Estações em junho	Q média (m^3/s)	Área da seção (m^2)	Q/A (m/s)	Largura (m)	Velocidade do fluxo (m/s)
Mocajuba	87,45	116,46	0,752	43,90	0,732
Tentugal	34,14	53,26	0,642	28,16	0,619
Arraial	8,06	20,25	0,400	13,80	0,411

Tabela 25 – Morfometria do canal durante as medições em setembro de 2008.

Estações em setembro	Q média (m^3/s)	Área da seção (m^2)	Q/A (m/s)	Largura (m)	Velocidade do fluxo (m/s)
Mocajuba	33,72	83,84	0,402	34,73	0,394
Tentugal	12,09	25,69	0,470	32,33	0,478
Arraial	2,79	10,30	0,271	9,89	0,307

A concentração dos sedimentos em suspensão, obtida através da filtração a vaco pode ser visualizada na tabela 26.

Tabela 26 – Concentração de sedimentos em suspensão no rio Caeté.

Estação	Data	Q (m^3/s)	Concentração (mg/L)
Nova Mocajuba	18/6/2008	87,45	11,3
Nova Mocajuba	13/9/2008	33,72	156,0
Tentugal	19/6/2008	34,14	10,5
Tentugal	12/9/2008	12,09	386,4
Arraial do Caeté	19/6/2008	8,06	8,4
Arraial do Caeté	12/9/2008	2,79	15,8

6.2.1 – Estação Nova Mocajuba: medições em junho e setembro de 2008

No mês de junho este transecto apresentou profundidade máxima de 2,71 m e uma largura máxima de 43 m, além de irregularidades com relação as velocidades de corrente, obtendo valores predominantes entre 0,440 e 1,237 m/s e, tendo como valores mais baixos a faixa entre 0,042 e 0,440 m/s próximo a margem direita.

Para o mês de setembro, ocorreu um aumento na profundidade máxima apresentando o valor de 2,96 m e uma diminuição para a largura máxma registrando-se o valor de 29 m. Na porção central houve uma redução considerável na faixa das velocidades de corrente apresentando valores entre 0,492 e 0,967 m/s e uma ampliação para a faixa dos valores presentes nas suas margens estando entre 0,016 e 0,492 m/s (Figura 40). As medições nesta estação foram consideradas razoáveis, utilizando-se a ficha de medição da qualidade da vazão elaborada por Rodrigues (2008).

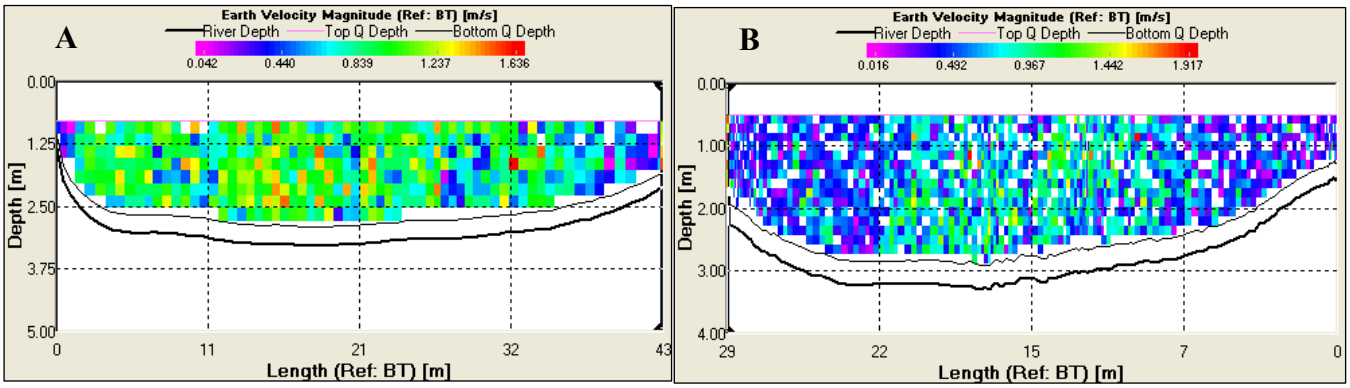

Figura 40 – A) Perfil de velocidade visualizando-se da margem esquerda (comprimento 0) a margem direita (comprimento 43m). B) Perfil de velocidade visualizando-se da margem esquerda (comprimento 29) a margem direita (comprimento 0m).

Em contra partida, observa-se zonas bem definidas de *backscatter*, com predominância de uma faixa de aproximadamente 30m de comprimento, com valores entre 89 e 92 dB para o mês de junho e uma estratificação com valores menores próximo ao fundo (valores entre 90 e 94 dB) e valores maiores próximos a superfície (valores entre 98 e 102 dB), para o mês de setembro (Figura 41).

O aumento percebido de junho para setembro justifica-se devido a coleta de dados em setembro ter sido influenciada por fortes pluviosidades.

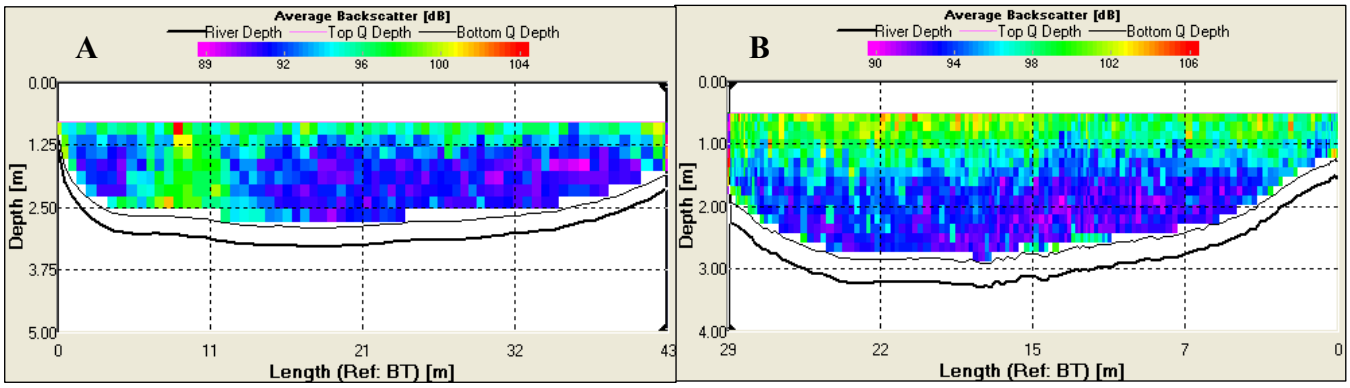

Figura 41 – A) Perfil de backscatter de junho/2008, visualizado da margem esquerda (comprimento 0) para a margem direita (comprimento 43m). B) Perfil obtido em setembro, visualizado da marem esquerda (comprimento 29m) à margem direita (comprimento 0m).

A figura 42 mostra a intensidade das correntes ao longo do perfil transversal com uma maior intensidade a 17 m da margem esquerda para o mês de junho e duas regiões de alta intensidade, uma a 10 m e outra a 16 m da margem esquerda, para o mês de setembro.

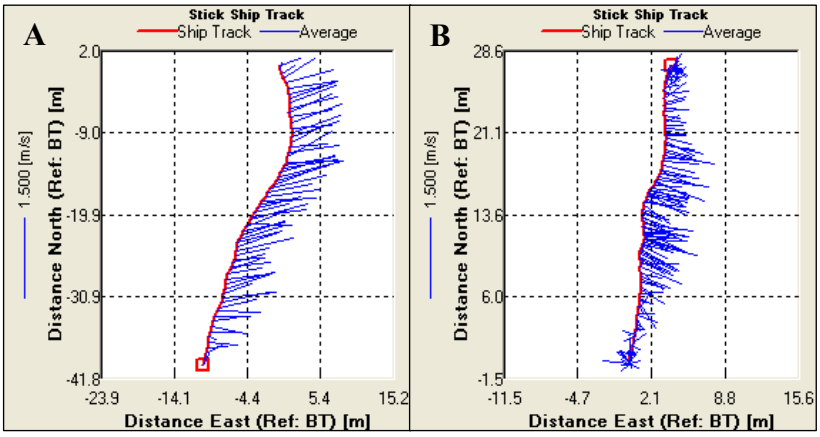

Figura 42 – A) Trajetória do barco e distribuição dos vetores velocidade, para o mês de junho. B) Trajetória do barco e distribuição dos vetores velocidade, para o mês de setembro.

6.2.3 – Estação Tentugal: medições em junho e setembro de 2008

Com uma profundidade máxima de 1,96 m e uma largura máxima de 28 m o transecto Tentugal possui uma irregularidade com relação as velocidades de corrente, obtendo valores predominantes entre 0,537 e 1,053 m/s para o mês de junho. Observou-se uma diminuição da profundidade máxima e largura máxima, apresentando respectivamente, 1,03 m e 22 m, para o mês de setembro. Os valores predominantes de velocidade de corrente permaneceram na mesma faixa de junho com o valor predominante em 0,804 m/s, este fato foi atribuído ao evento chuvoso ocorrido durante a coleta (Figura 43). Os resultados nesta estação foram considerados péssimos para os dois períodos, utilizando-se a ficha de medição de vazão com ADCP elaborada por Rodrigues (2008).

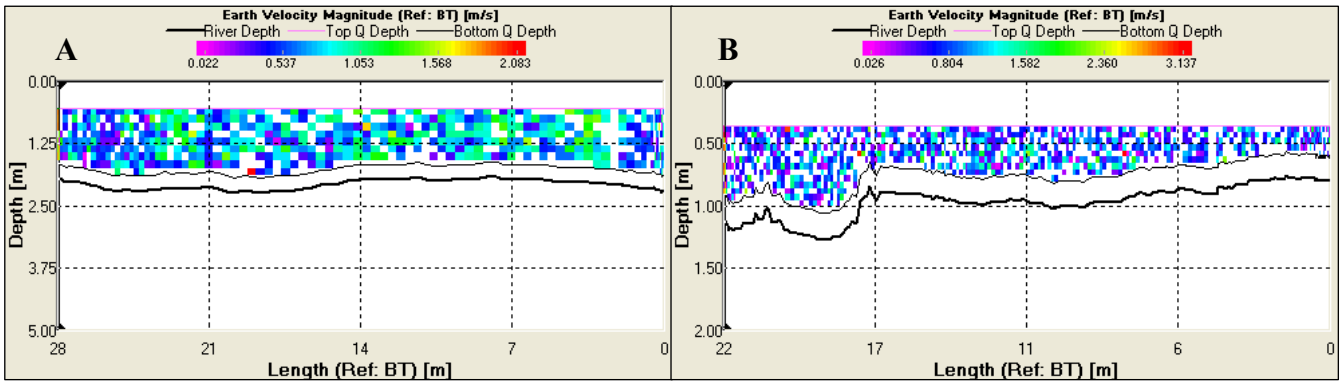

Figura 43 – A) Perfil transversal e medição das velocidades para o mês de junho. B) Perfil transversal e medição das velocidades para o mês de setembro.

Em contra partida observa-se zonas bem definidas de *backscatter*, com maior valor na porção central (entre 100 e 106 dB), valores intermediários na margem direita

(entre 88 e 94 dB) e mais baixos na margem esquerda (entre 82 e 88 dB), para o mês de junho. Durante a coleta de setembro os valores de *backscatter* variaram entre 94 e 99 dB, apresentando uma homogeneidade ao longo do perfil (Figura 44).

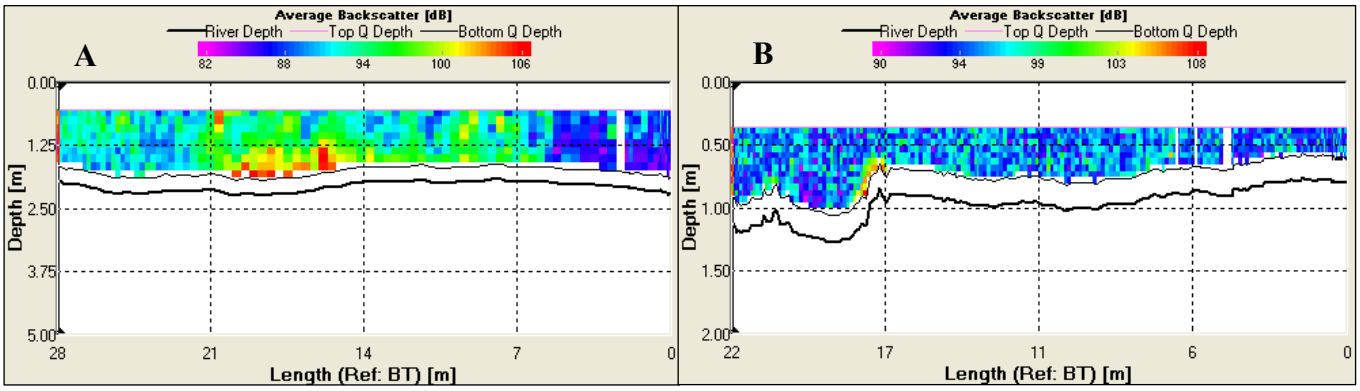

Figura 44 – A) Perfil de backscatter para o mês de junho, visualiza-se da margem direita (comprimento 0) à margem esquerda (comprimento 28m). B) Perfil de backscatter para o mês de setembro, visualiza-se da margem direita (comprimento 0) a margem esquerda (comprimento 29m).

A figura 45 mostra a intensidade das correntes ao longo do perfil transversal com uma maior intensidade a 8 m da margem esquerda, para o mês de junho e a 5 m da margem esquerda durante a medição em setembro.

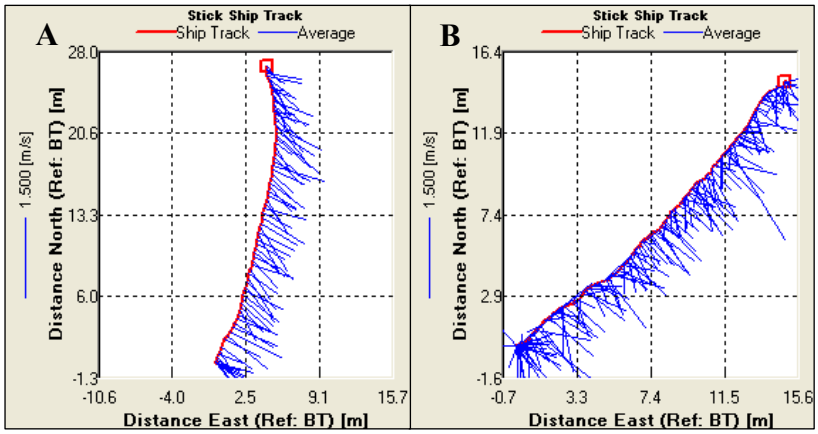

Figura 45 – A) Trajetória do barco e distribuição dos vetores velocidade durante a medição de junho. B) Trajetória do barco e distribuição dos vetores velocidade, para o mês de setembro.

6.2.4 – Estação Arraial do Caeté: medição em junho e setembro de 2008

Com uma profundidade máxima de 1,60 m e uma largura máxima de 13 m o transecto Arraial do Caeté apresentou uma irregularidade com relação as velocidades de corrente, obteveram-se valores predominantes entre 0,031 e 1,156 m/s, para o mês de junho. Durante a medição de setembro, diferentemente das outras estações, não ocorreram chuvas durante a coleta. Sua profundidade máxima para este período foi de

1,13 m, a largura máxima de 6 m e valores de velocidade variando entre 0,035 e 0,771 m/s (Figura 46). A medição nesta estação foi considerada péssima, utilizando-se a ficha de medição de Rodrigues (2008).

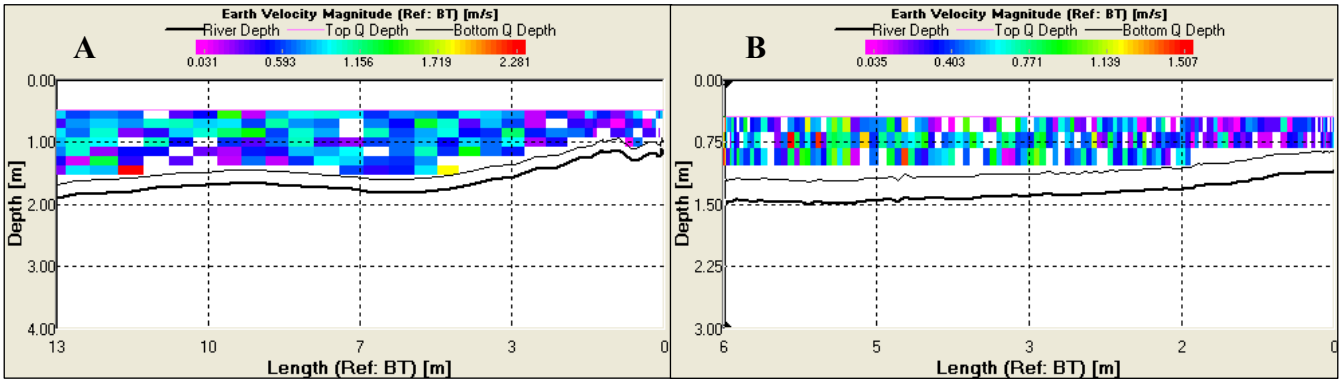

Figura 46 – A) Perfil transversal e medição de velocidade no mês de junho. B) Perfil transversal e medição de velocidade durante a medição de setembro.

Os valores de *backscatter* crescem gradativamente da margem direita para a esquerda variando entre 87 e 103 dB no mês de junho e durante a medição de setembro percebeu-se uma concentração da variação entre de 90 a 96 dB e a existência de picos de 99 dB ao longo de todo o perfil na porção mais superficial do transecto (Figura 47).

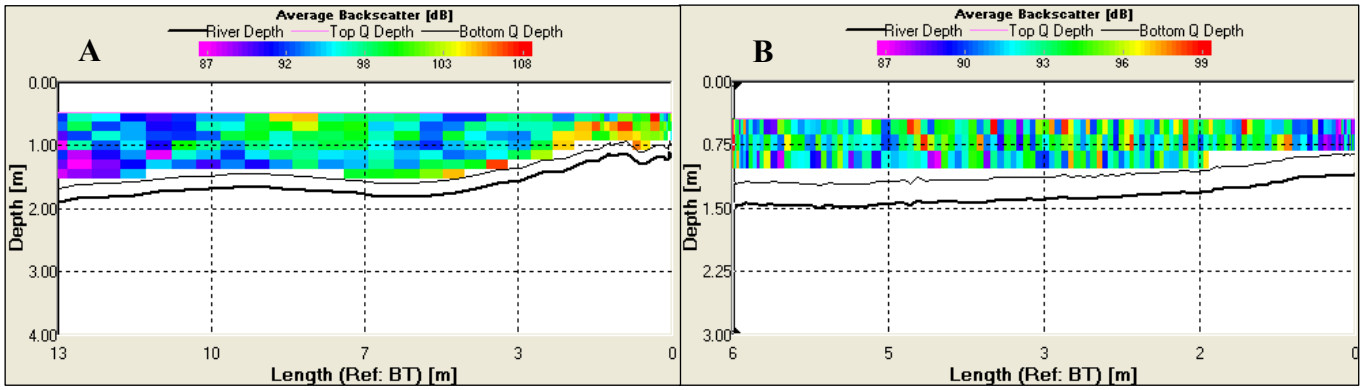

Figura 47 –A) Perfil de backscatter visualiza-se da margem direita (comprimento 0) a margem esquerda (comprimento 13m) para medição em junho. B) Perfil de backscatter visualiza-se da margem direita (comprimento 0) a margem esquerda (comprimento 6m) durante a medição realizada em setembro.

A figura 48 mostra a intensidade das correntes ao longo do perfil transversal com uma maior intensidade a 8 m da margem esquerda, durante a medição de junho e uma maior intensidade a 2 m da margem esquerda para medição de setembro.

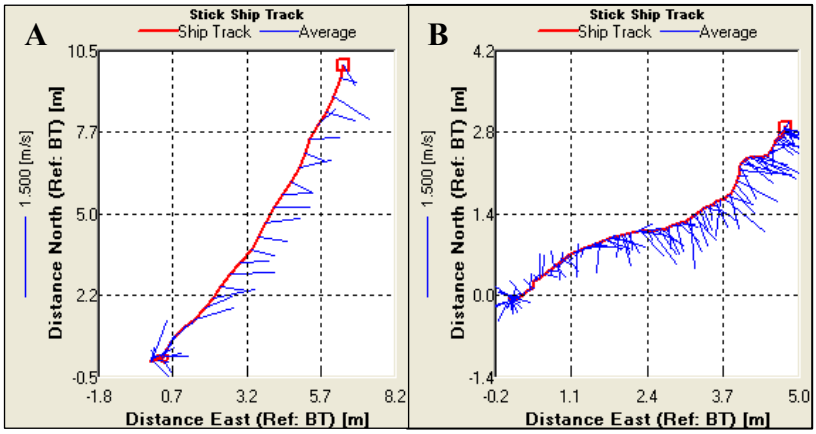

Figura 48 – A) Trajetória do barco e distribuição dos vetores velocidade, para junho. B) Trajetória do barco e distribuição dos vetores velocidade durante o mês de setembro.

6.3 – SEDIMENTOLOGIA

A concentração dos sedimentos em suspensão, obtida através da filtração a vácuo pode ser visualizada na tabela 26.

A análise textural de seções do rio Caeté está intimamente ligada as unidades geológicas e aos tipos de solo bem como a sazonalidade. Na tabela 27 pode-se verificar os resultados da analise textural do rio Caeté obtidos por Pereira (2007).

Tabela 27 – Análise granulométrica para o período seco e chuvoso.

				Data Coleta	Tamanho Médio	Grau de Seleção	Assimetria	Curtose	% Cascalho	% Areia	% Finos
Rio Caeté	Seca	Arraial	Margem	12/12/2006	Areia fina	Moderado	Negativa	Leptocúrtica	0,04	99,54	0,42
			Canal		Areia média	Moderado	Negativa	Mesocúrtica	2,639	97,2	0,16
		Tentug.	Margem	15/12/2006	Areia fina	Moderado	Positiva	Leptocúrtica	0,02	96,62	3,36
			Canal		Areia média	Baixo	Negativa	Mesocúrtica	2,94	96,96	0,1
		Jutaí	Margem	20/10/2006	Areia fina	Moderado	Aprox. simétrica	Platicúrtica	0,06	95,98	3,96
			Canal		Areia fina	Moderado	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	0	98,74	1,26
	Chuva	Arraial	Margem	28/4/2007	Areia fina	Moderado	Negativa	Platicúrtica	0,12	99,84	0,04
			Canal		Areia muito grossa	Alto	Muito positiva	Muito platicúrtica	86,4	13,57	0,03
		Tentug.	Margem	29/4/2007	Areia fina	Moderado	Positiva	Mesocúrtica	0	97,73	2,27
			Canal		Areia grossa	Moderado	Positiva	Platicúrtica	54,95	45	0,05
		Jutaí	Margem	14/5/2007	Areia fina	Moderado	Negativa	Platicúrtica	0	99,96	0,04
			Canal		Areia média	Moderado	Negativa	Platicúrtica	1,15	98,85	0

Fonte: (PEREIRA, 2007).

Com a espacialização dos pontos de amostragem textural (figuras 49 e 50) percebe-se que na presença das associações de solo GXve e nas unidades geológicas aluviões holocênicos na época seca a predominância são de sedimentos com granulometria de areia fina (2,5 a 3φ) tanto para o canal do rio principal quanto para as margens. Em contrapartida nas unidades geológicas do grupo barreiras e associações de solos LAd a predominância para o canal principal é de sedimentos com granulometria de areia média (1,5 a 2φ) e há permanência da granulometria de areia fina (2,5 a 3φ) para as margens.

No período chuvoso a tendência é de permanência da granulometria de areia fina (2,5 a 3φ) para as margens. No sentido montante ocorre aumento da granulometria no canal principal onde nas adjacências há presença de associações de solo GXve e unidades geológicas aluviões holocênicos tendo-se a presença de areia média (1,5 a 2φ) e, para as unidades geológicas do grupo barreiras e associações de solos LAd variações de areia grossa (0,5 a 1φ) a areia muito grossa (-0,5 a 0 φ).

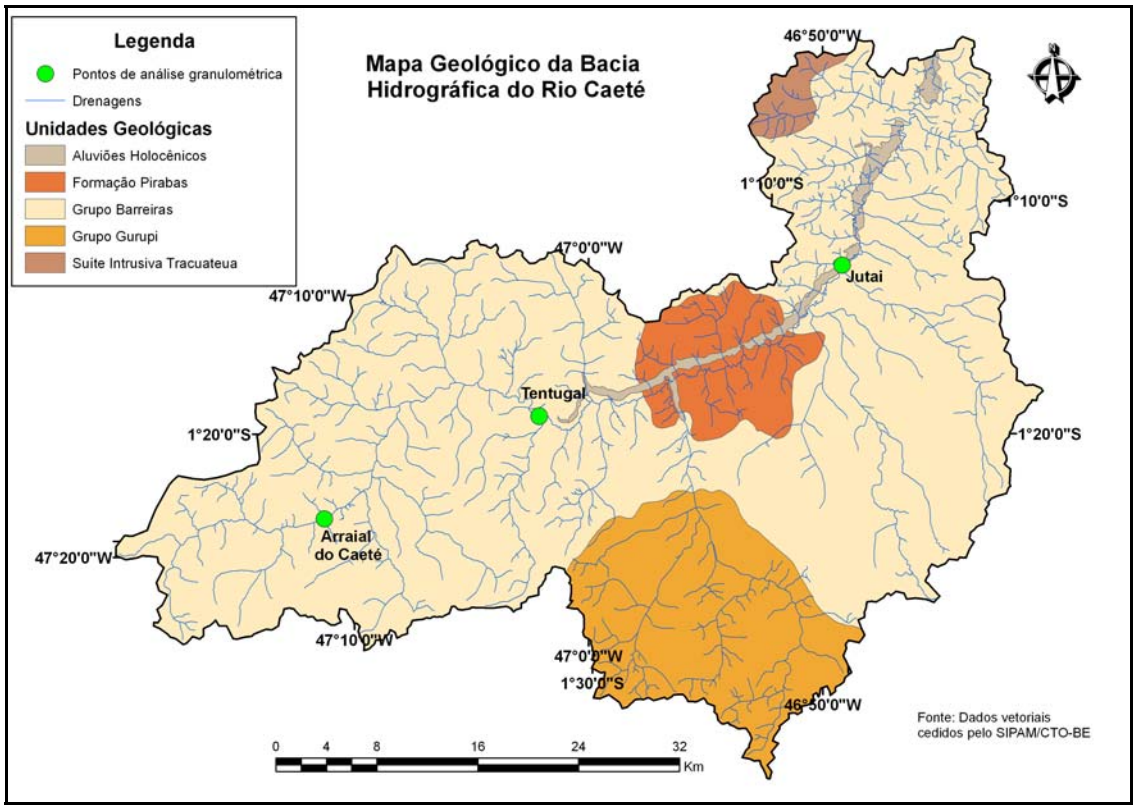

Figura 49 – Unidades geológicas e pontos de análise textural.

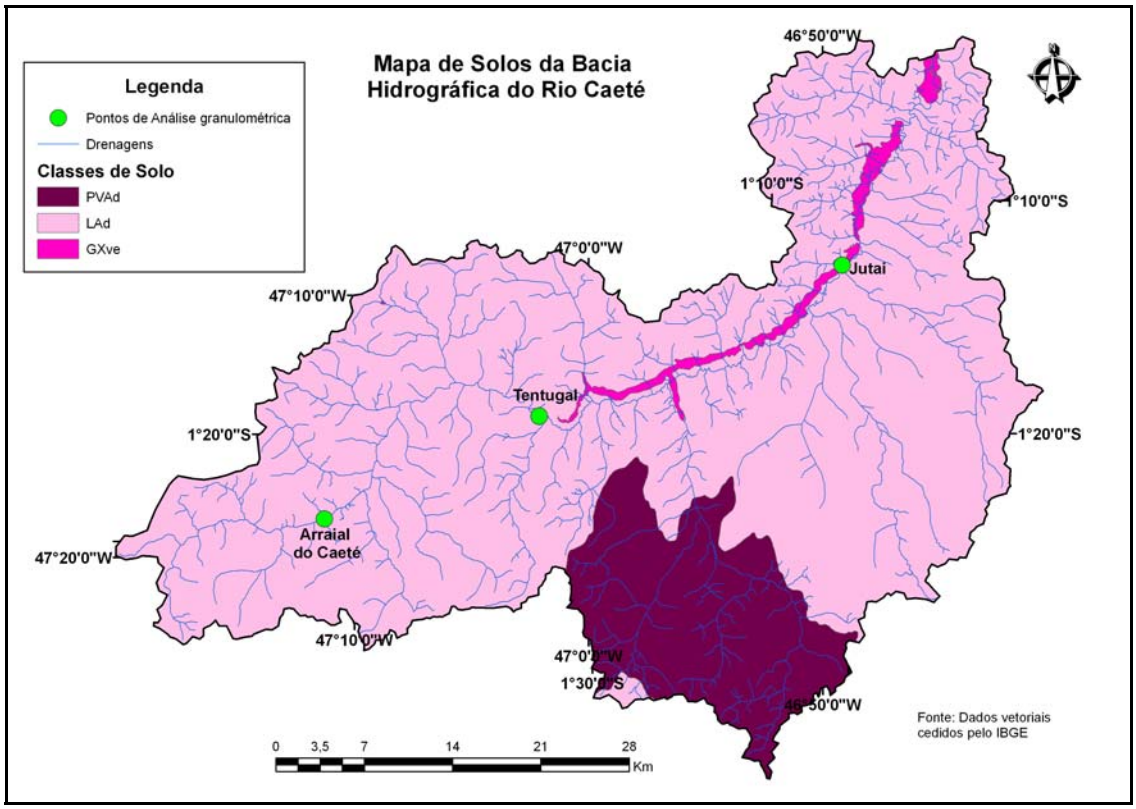

Figura 50 – Associações de solos e pontos de análise textural no rio Caeté.

As associações de solos visualizadas na figura 49 estão descritas na tabela 28 de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA-CNPS, 1999).

Tabela 28 – Descrição das associações de solos da bacia do Caeté.

Símbulo	Classificação
GXve	GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrofico típico, textura muito argilosa + NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico textura arenosa e média, ambos A moderado, relevo plano
Lad	LATOSSOLO AMARELO Distrófico argissólico, textura arenosa média, relevo plano e suave ondulado + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, textura arenosa muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta, ambos relevo suave ondulado e ondulado + NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO Hidromórfico típico, relevo plano e suave ondulado, todos A moderado (ESPODOSSOLO FERRILÚVICO Hidromórfico Típico, textura arenosa, A moderado, relevo plano)
PVAd	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico e típico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico plíntico e típico, ambos textura média cascalhenta/média cascalhenta e média cascalhenta/argilosa cascalhenta, A moderado e proeminente, relevo suave ondulado e ondulado + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico + PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, textura média e média/argilosa, A moderado, relevo plano e suave ondulado

Fonte: EMBRAPA-CNPS (1999).

6.4 – PLUVIOMETRIA

A carta pluviométrica da bacia do Caeté pode ser visualizada na figura 51. As maiores intensidades pluviométricas (375-425 mm/mês) são registrados na porção centro-norte da bacia do rio Caeté.

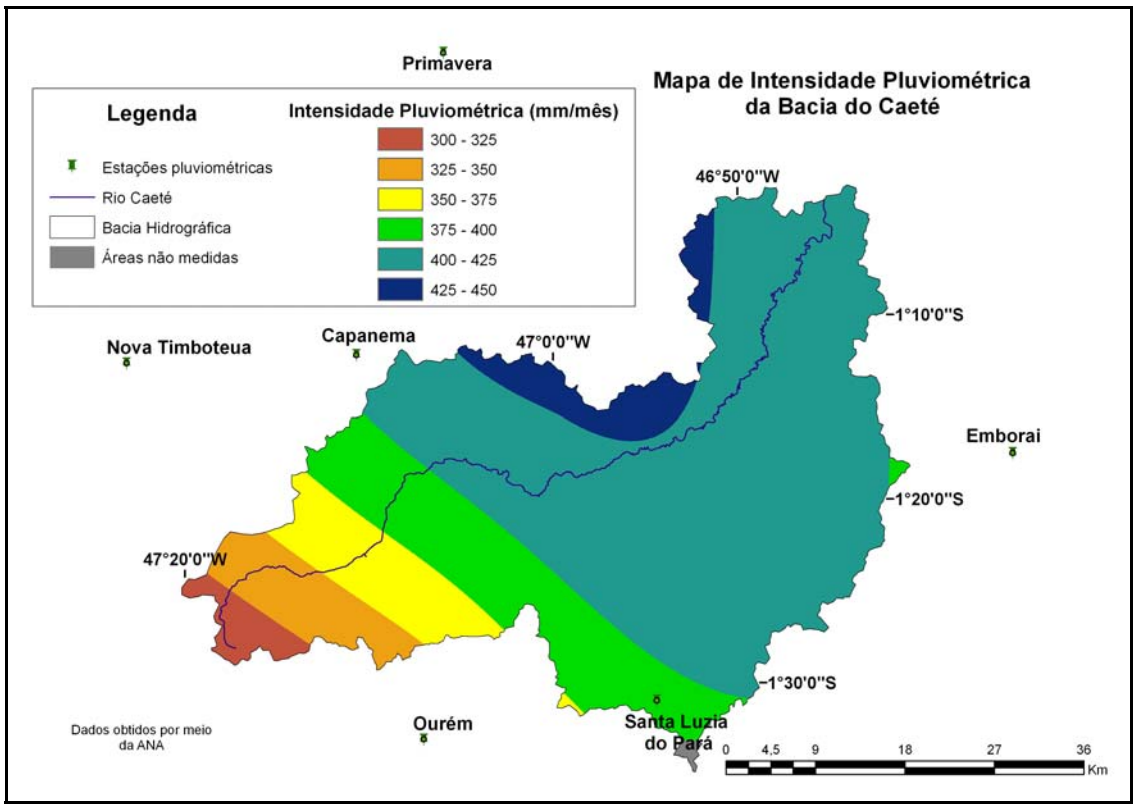

Figura 51 – Carta elaborada a partir de dados disponibilizados pela ANA.

Por meio desta carta de intensidade pluviométrica associada aos índices de vulnerabilidade a erosão estabelecidos por Crepani et al. (2001) obteve-se a relação visualizada na tabela 29.

Tabela 29 – Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade a perda de solo.

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Índice Vulnerabilidade
300-325	2,1
325-350	2,2
350-375	2,3
375-400	2,4
400-425	2,5
425-450	2,6

6.5 – USO E COBERTURA DA TERRA

A aplicação da classificação supervisionada *Maximum Likelihood* possibilitou a geração dos mapas temáticos de uso e cobertura da terra apresentados nas figuras 52, 53 e 54 com suas respectivas imagens orbitais.

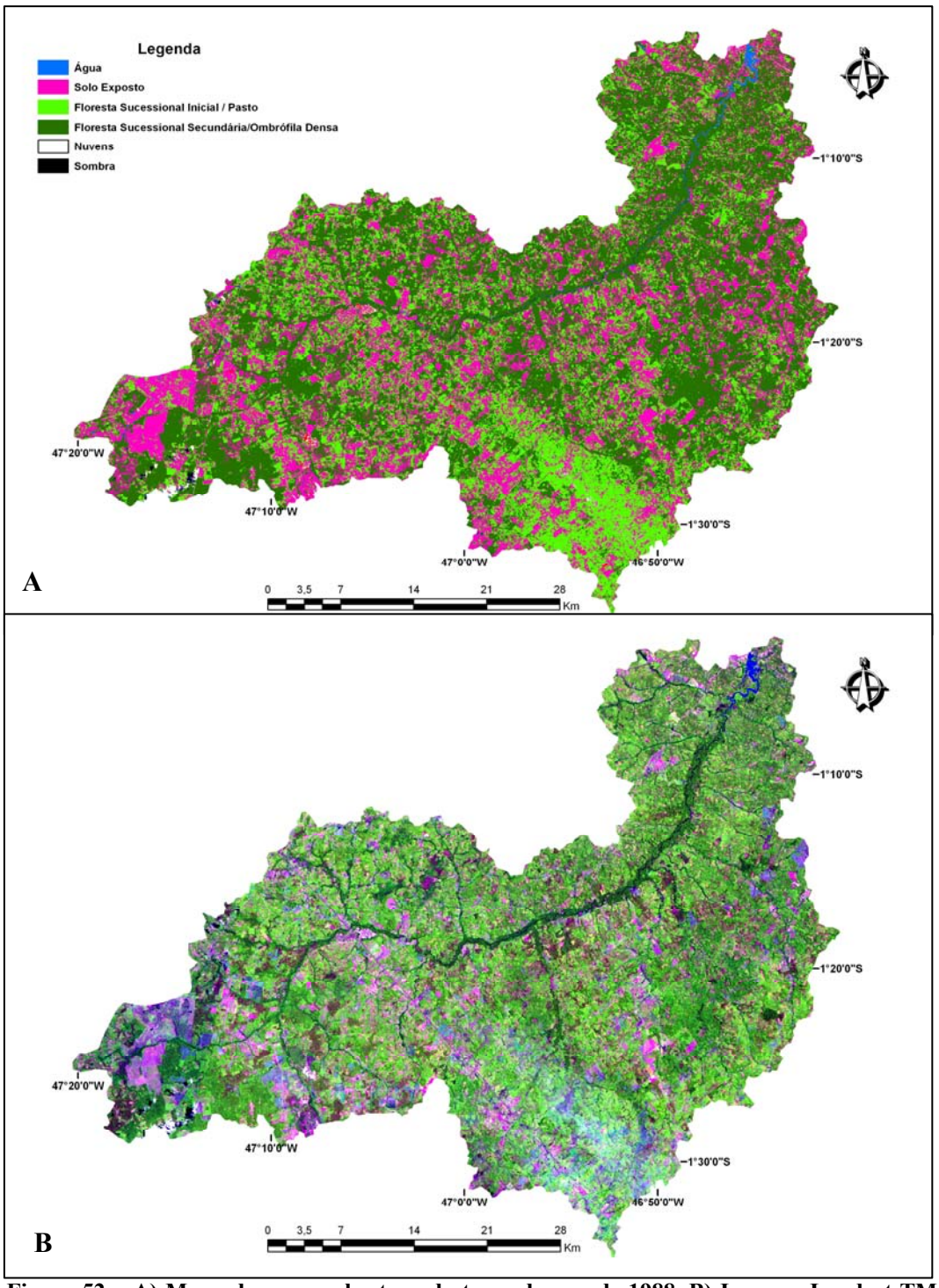

Figura 52 – A) Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1988. B) Imagem Landsat TM com as cenas 223/61 de 22/07/1988 e 222/61 de 31/07/1988 mosaicadas, visualizadas na comporsição 5R4G3B.

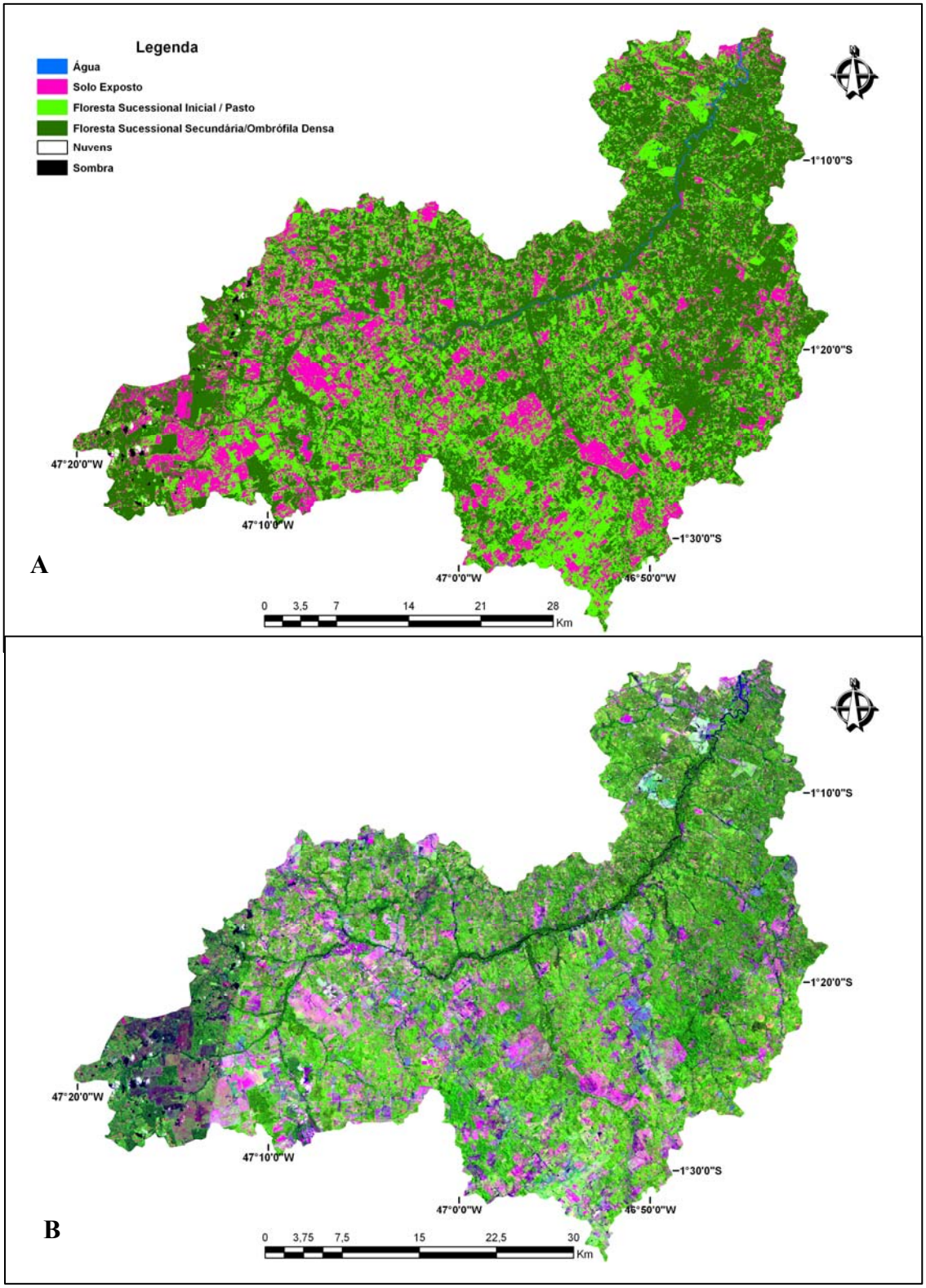

Figura 53 – A) Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1999. B) Imagem Landsat ETM$^+$ e TM, respectivamente, para as cenas 223/61 de 21/07/1999 e 222/61 de 07/08/1999 mosaicadas, visualizadas na comporsição 5R4G3B.

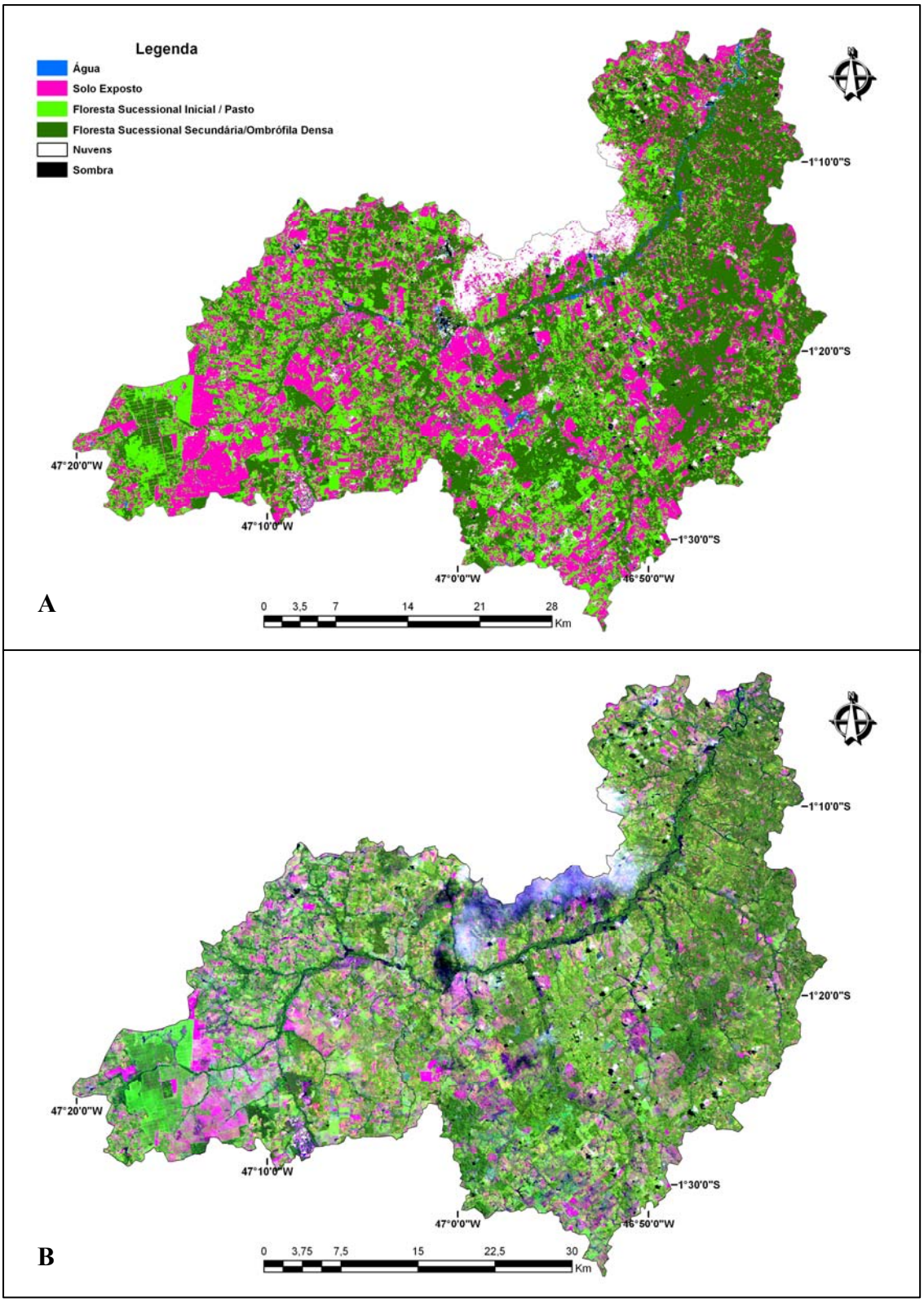

Figura 54 – A) Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2008. B) Imagem Landsat TM com as cenas 223/61 de 13/07/2008 e 222/61 de 20/06/2008 mosaicadas, visualizadas na comporsição 5R4G3B.

A figura 55 representa a porcentagem das classes de uso e cobertura da terra em relação a bacia do Caeté para o ano de 1988, com um predomínio de 45% para a classes floresta sucessional secundaria e ombrófila densa e a tabela 30 mostra os índices de vulnerabilidade para cada classe mapeada.

Tabela 30 – Índice de vulnerabilidade natural à perda de solos para as classes estudadas.

Classes	Índice de Vulnerabiliade
Floresta Secundária e Ombrófila	1,2
Floresta Inicial e Pasto	2,6
Solo Exposto	3

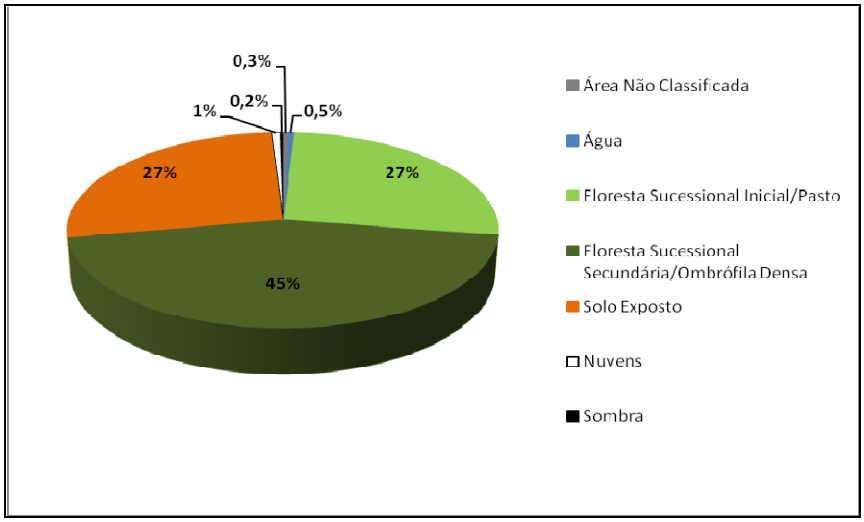

Figura 55 – Porcentagem de uso e cobertura da terra para o ano de 1988.

No ano de 1999 manteve-se como classe predominante a de floresta sucessional secundaria e ombrófila densa sendo perceptível no figura 56.

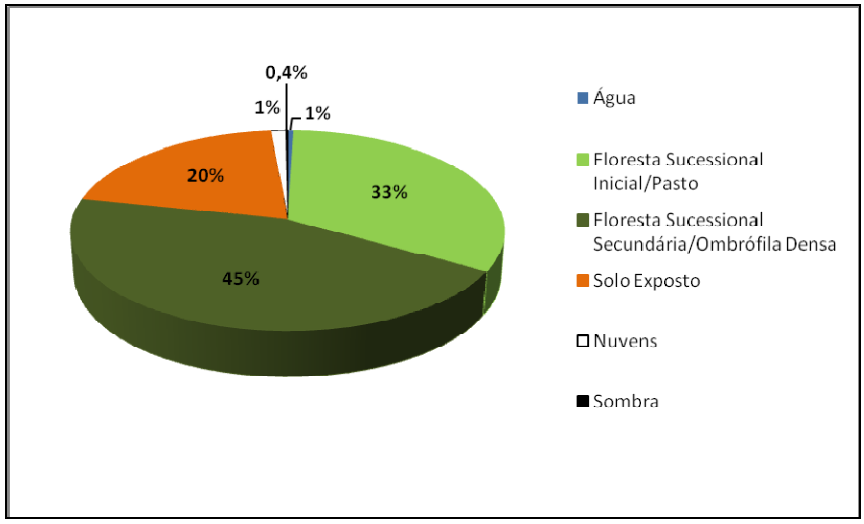

Figura 56 – Porcentagem de uso e cobertura da terra para o ano de 1999.

A figura 57 demonstra a predominância da classe floresta sucessional secundaria e ombrófila densa para o ano de 2008.

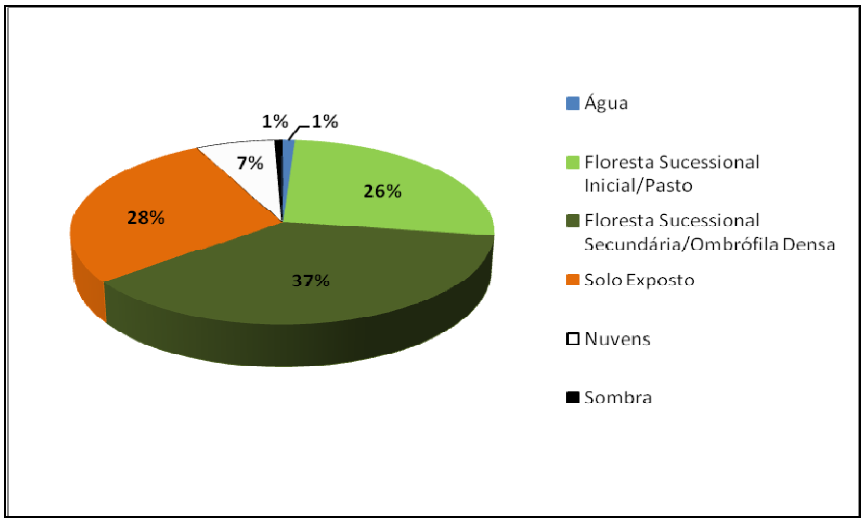

Figura 57 – Porcentagem de uso e cobertura da terra para o ano de 2008.

A qualidade da classificação das imagens orbitais pode ser visualizada na tabela 31.

Tabela 31 – Qualidade das classificações.

Imagem	Índice Kappa	Qualidade do Mapa Temático
TM 1988	0,95	Excelente
ETM⁺ 1999	0,80	Muito Boa
TM 2008	0,78	Muito Boa

Fonte: Kux; Blaschke[29] (2005) apud Tancredi (2007).

6.5.1 – Áreas de Preservação Permanente

O mapa de Áreas de Preservação Permanente – APP (Figura 58) permite a visualização espacial dos 94,74 Km² ocupados por estas áreas na bacia do Caeté, que corresponde a 4,60% da área da bacia. As classes de uso e cobertura da terra nas APP´s indicam que 40,53 km² (42,78%) da APP´s apresentam cobertura florestal, enquanto 35,79 km² (37,78%) das APP´s apresentam usos antrópicos e, portanto, em conflito com a legislação ambiental.

[29] KUX, H.J.H; BLASCHKE, T. Sensoriamento Remoto e SIG avançados – novos sistemas sensores, métodos inovadores. 2005. Ed. Oficina de Textos, São Paulo. 286 p.

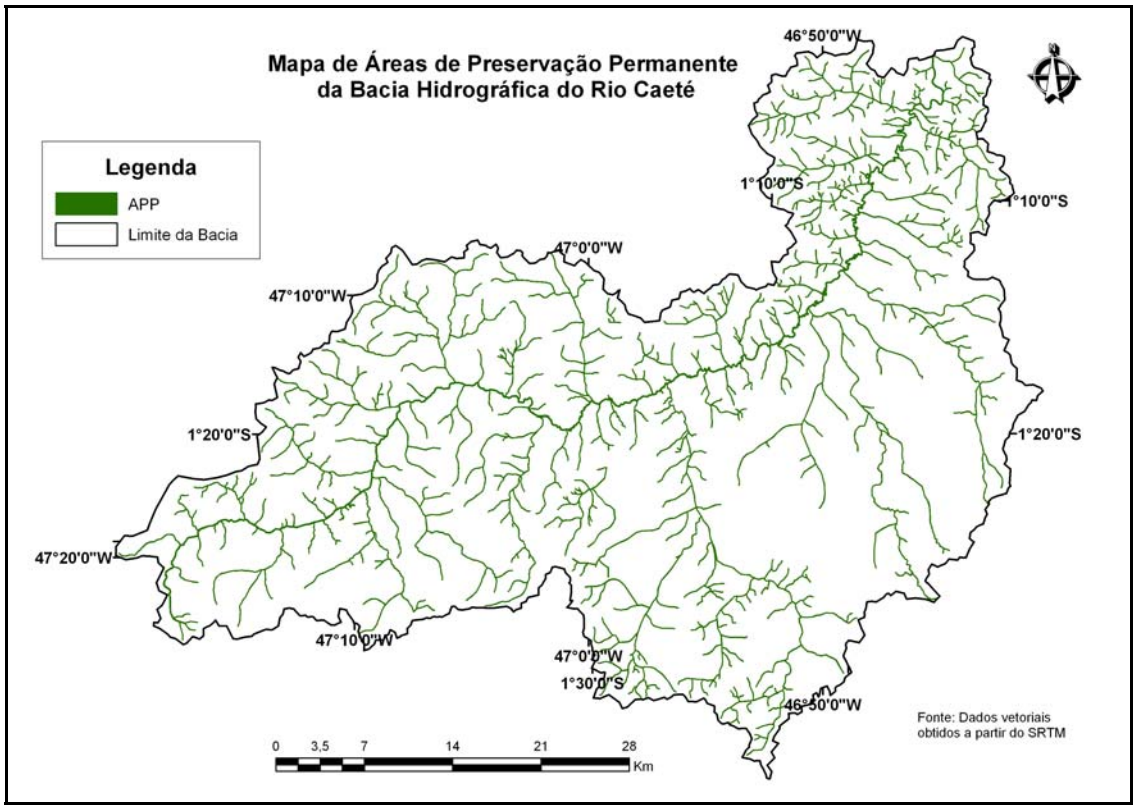

Figura 58 – APP's de acordo com a Lei nº 7.803 de 1989.

6.5.2 – NDVI e precipitação

As imagens dos sensores TM e ETM^{+} dos anos de 1999 e 2008, respectivamente, tiveram seus índices de vegetação extraídos por meio do NDVI utilizando-se o software ENVI 4.3. Houve o agrupamento dos dados em uma classe compreendendo valores de NDVI entre 0,6 e 0,8, pois os valores abaixo desta classe indicavam áreas com solo exposto, água, sombra e nuvens (Figura 59 e 60).

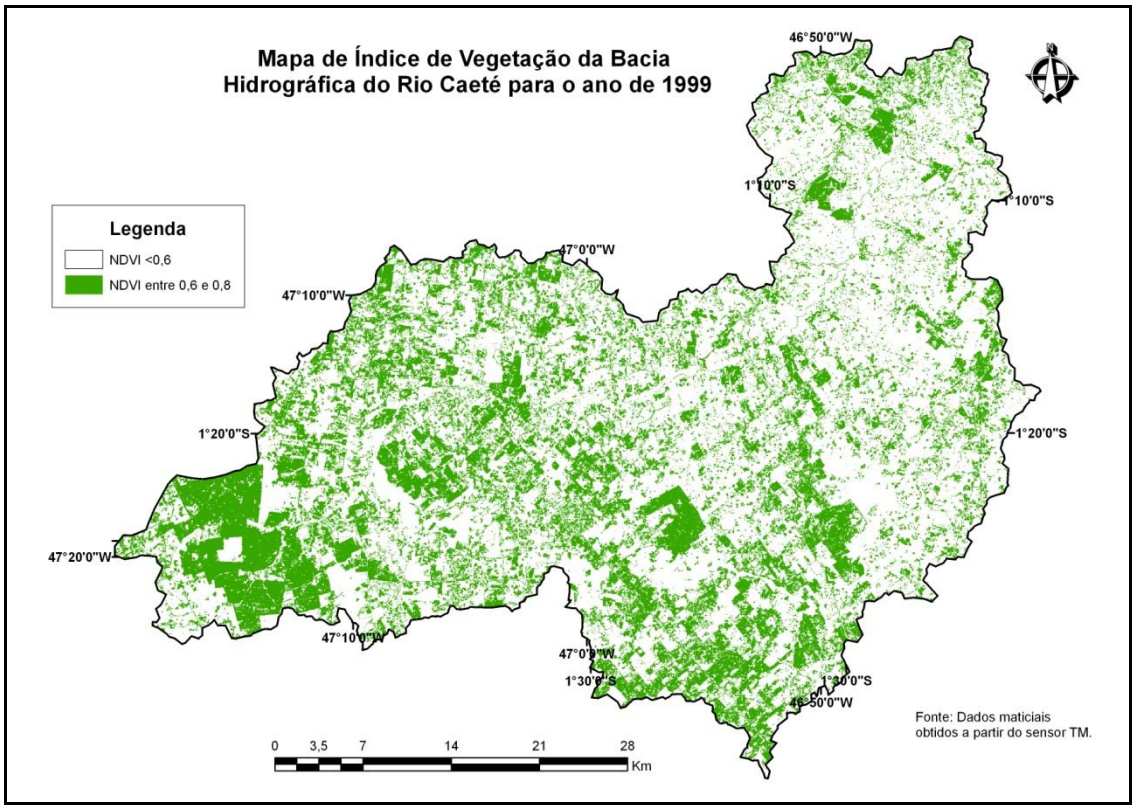

Figura 59 – Índice de vegetação para o ano de 1999.

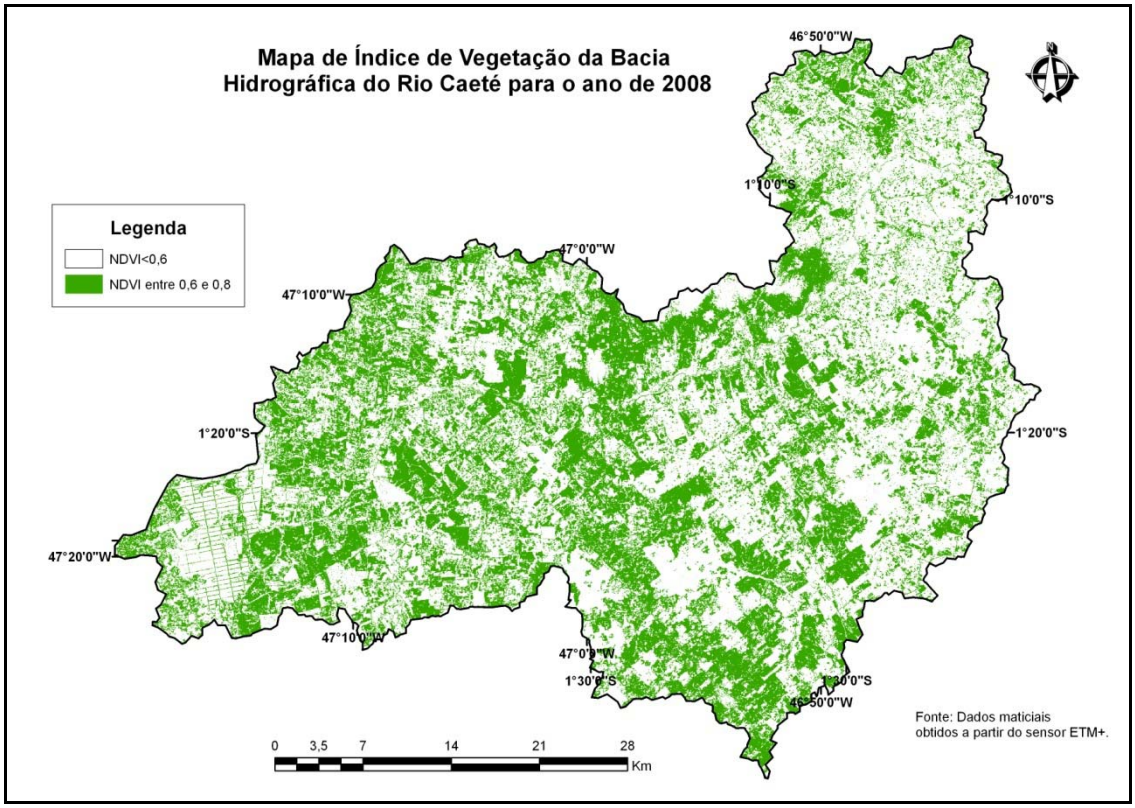

Figura 60 – Índice de vegetação para o ano de 2008.

Ocorreu um aumento de 704,52 Km^2 do ano de 1999 para 884,39 Km^2 para o ano de 2008, ou seja, um crescimento de 20,34 % da cobertura vegetal.

Com relação a pluviosidade, a única estação que localiza-se dentro da bacia do Caeté (Estação Santa Luzia do Pará) indica: quando analisa-se de forma comparativa os períodos seco (segundo semestre) e chuvoso (primeiro semestre) dos anos de 1999 e 2008, há um aumento da intensidade da precipitação para o período seco de 2008 e uma redução da intensidade no período chuvoso do mesmo ano (Figura 61).

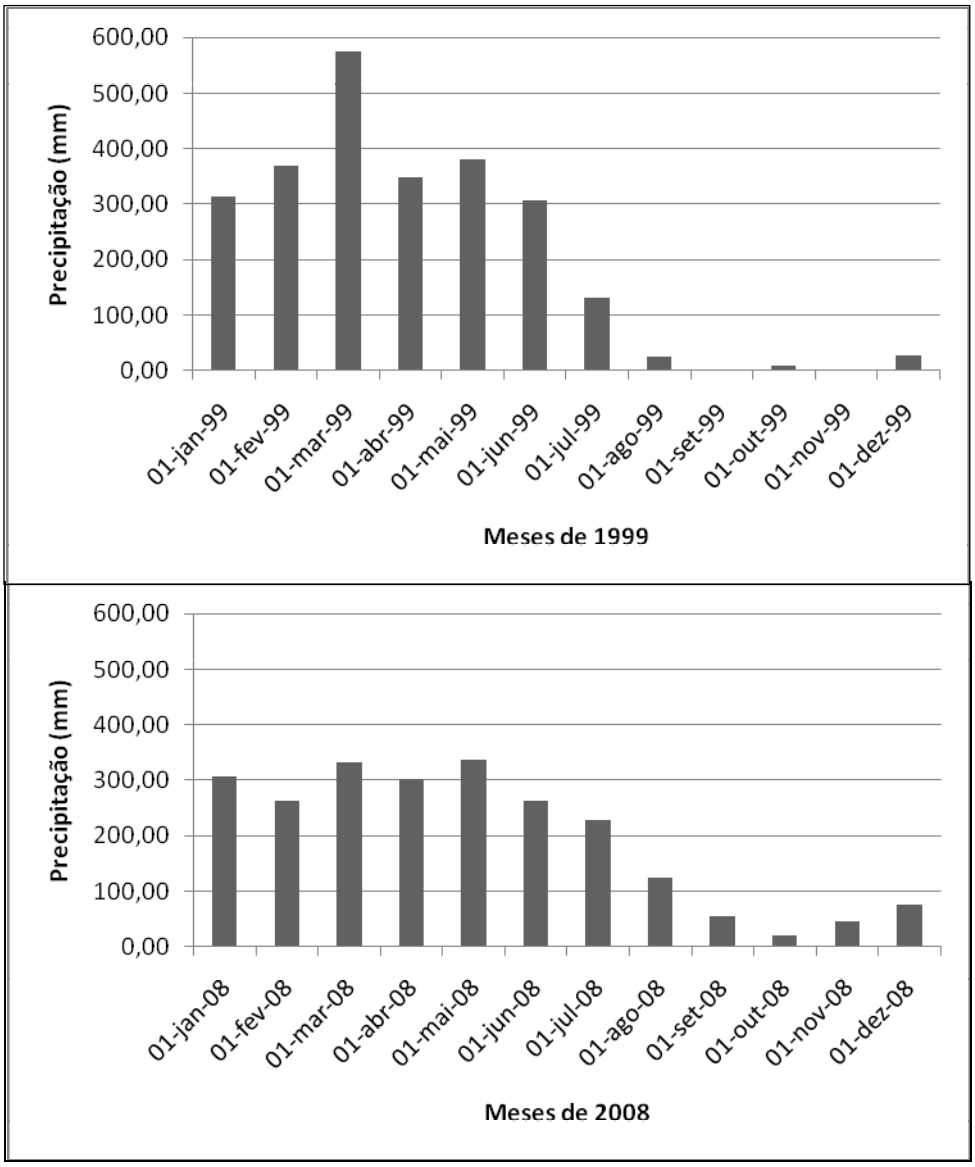

Figura 61 – Precipitação brutas para os anos de 1999 e 2008.

Percebe-se também que existe um pico de precipitação chegando próximo dos 600 mm para março de 1999, fato este que não ocorre no ano de 2008 e pode estar relacionado com questões climáticas globais como o El Niño.

Em contrapartida, as elevações verificadas na precipitação para o período seco de 2008 são atribuídas ao aumento ocorrido no NDVI, pois para alguns autores como Nicholson e Farrar[30] (1994 apud FIRMINO et al., 2009) estimaram uma relação geométrica do NDVI com a precipitação, de forma que esta relação seria forte para valores de precipitação mensal entre 25-200 mm, acima dos quais, o NDVI aumenta lentamente ou se mantém constante.

6.6 – RELAÇÃO ENTRE PLUVIOSIDADE, VAZÃO E HIPSOMETRIA

A bacia do Caeté foi dividida em três secções correspondentes com os locais de medição de vazão (Figura 37).

Na primeira secção, em Arraial do Caeté, na porção mais sudoeste da bacia, onde a vazão foi quantificada, tem-se uma área de captação de 190,76 Km², uma amplitude altimétrica de 57 m, uma densidade de drenagem de 0,55 Km/Km², uma variação na pluviosidade de 237,15 mm a 286,60 mm no mês de junho de 2008 e com uma vazão de 8,06 m³/s neste mesmo mês. No mês de setembro verificou-se uma variação na pluviosidade de 48,63 mm a 99,36 mm e uma vazão de 2,79 m³/s. Nesta seção encontra-se 34,68% de floresta sucessional inicial/pasto, 21,92% da classe floresta sucessional secundária/floresta ombrófla e 39,68% de solo exposto.

Na segunda secção delimitada pelos transectos de Arraial do Caeté ao sul e Tentugal na porção central da bacia (Figura 37) tem-se uma área de captação de 488,16 Km², uma amplitude altimétrica de 83 m, uma densidade de drenagem de 0,73 Km/Km², uma variação na pluviosidade de 225,51 mm a 256,65 mm no mês de junho de 2008 e com uma vazão de 34,14 m³/s neste mesmo mês. No mês de setembro verificou-se uma variação na pluviosidade de 72,04 mm a 126,74 mm e uma vazão de 12,09 m³/s. Nesta seção encontra-se 33,58% de floresta sucessional inicial/pasto, 28,27% da classe floresta sucessional secundária/floresta ombrófla e 32,63% de solo exposto.

Na terceira secção onde foi medida a vazão no Caeté na localidade Nova Mocajuba localizada na porção centro-norte da bacia (Figura 37) tem-se uma área de

[30] NICHOLSON, S.E.; FARRAR, T.J. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall and soil moisture in semi-arid Botswna. *Remote Sensing of Environment*, 50, p. 107-120. 1994.

captação de 751,77 Km², uma amplitude altimétrica de 91 m, uma densidade de drenagem de 0,63 Km/Km², uma variação na pluviosidade de 230,52 mm a 280,75 mm no mês de junho de 2008 e com uma vazão de 87,45 m³/s neste mesmo mês. No mês de setembro verificou-se uma variação na pluviosidade de 42,88 mm a 124,83 mm e uma vazão de 33,72 m³/s. Nesta seção encontra-se 26,89% de floresta sucessional inicial/pasto, 33,57% da classe floresta sucessional secundária/floresta ombrófla e 28,39% de solo exposto.

6.7 – CARTA DE APTIDÃO AGRÍCOLA

Na carta de aptidão agrícola (Figura 62) obtiveram-se apenas duas classes: uma regular para o nível de manejo B e boa para o nível de manejo C e; outra restrita para os dois níveis de manejo. O subgrupo 1bC compreende uma área de 2026,61 Km² (98,34%) enquanto que o subgrupo 1(bc) representa 34,14 Km² (1,66%) da bacia.

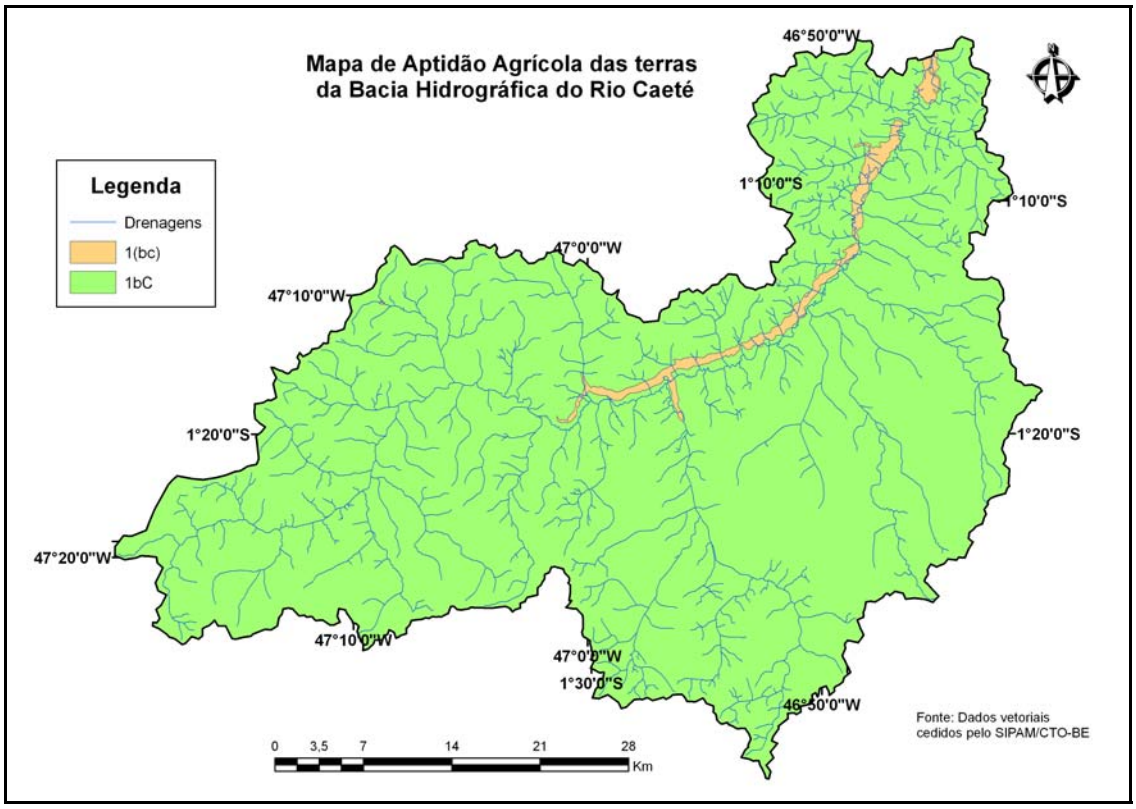

Figura 62 – Mapa de Aptidão Agricola da área de estudo para os níveis de manejo B e C.

6.8 – CARTA DE VULNERABILIDADE DE SOLOS

Os mapas geológicos, pedológicos e geomorfológicos podem ser visualizados respectivamente nas figuras 49, 50 e 63. As tabelas 32, 33 e 34 apresentam as áreas

ocupadas respectivamente por cada classe de geologia, geomorfologia e solos dentro da bacia hidrográfica do Caeté.

Tabela 32 – Classes geológicas da bacia do Caeté e índice de vulnerabilidade natural à perda de solos.

Classes Geológicas	Área (Km²)	Área (%)	Índece de Vulnerabilidade
Aluviões Holocenicos	33,61	1,63	3
Foração Pirabas	117,48	5,70	2,9
Grupo Barreiras	1588,27	77,09	2,7
Grupo Gurupi	295,65	14,35	2,1
Suíte Intrusiva Tracuateua	25,21	1,22	1,7

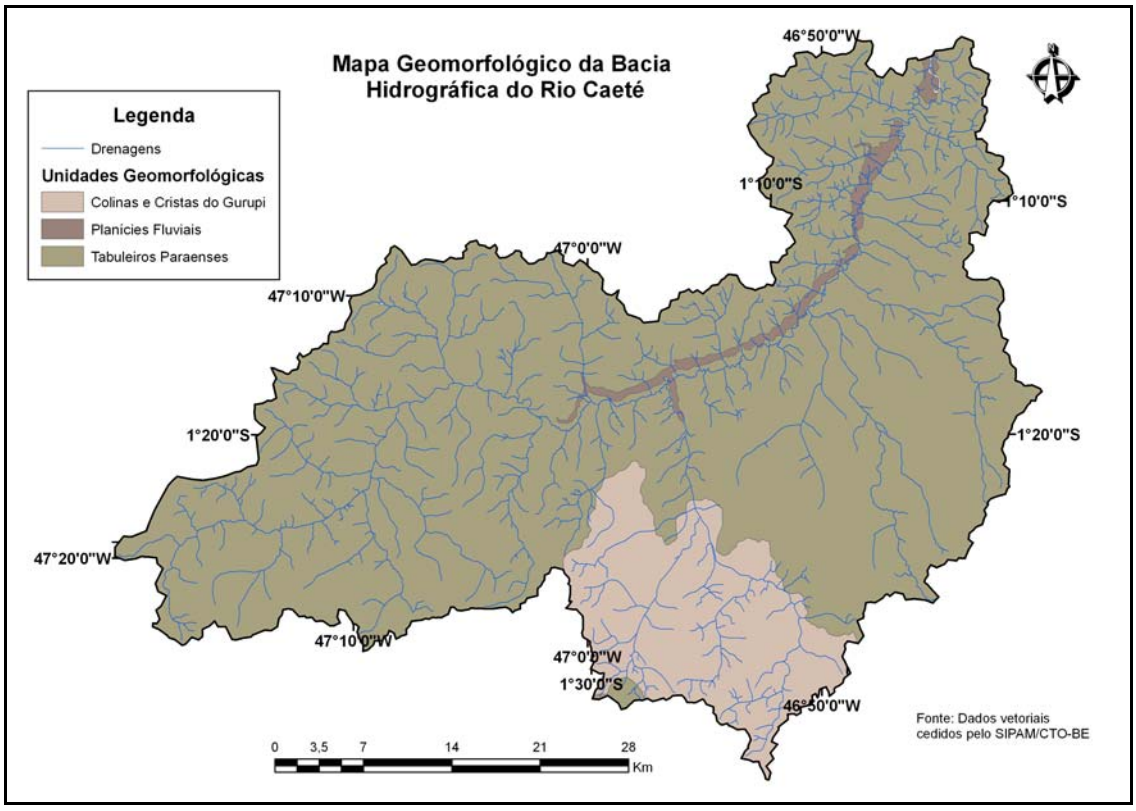

Figura 63 – Mapa geomorfológico da bacia do Caeté.

Tabela 33 – Índice de vulnerabilidade natural à perda de solos em relação a geomorfologia.

		Valores	Índice de Vulnerabilidade
Geomorfologia	Amplitude Altimétrica	60	1,5
		77	1,7
		100	1,9
	Densidade de Drenagens	<0,5	1
		0,5-1,0	1,5
		1,0-3,0	2
	Declividade	<3,5	1
		3,5-5,8	1,1
		5,8-8,2	1,2
		8,2-10,3	1,3
		10,3-12,9	1,4
		12,9-15,1	1,5
		15,1-17,4	1,6
		17,4-19,8	1,7
		19,8-22,2	1,8

Tabela 34 – Classes pedológicas da bacia do Caeté e índice de vulnerabilidade natural à perda de solos.

Classe de Solos	Área (Km²)	Área (%)	Índece de Vulnerabilidade
GXve	34,06	1,65	3
LAd	1742,10	84,54	1,8
PVAd	284,51	13,81	2,4

Para o ano de 2008 foram quantificadas as áreas de cada classe de uso e cobertura da terra contida em cada associação de solo da bacia hidrográfica do Caeté. Pode-se visualizar esta informação nas tabelas 35, 36 e 37.

Tabela 35 – Para a associação PVAd que ocupa 13,81% da bacia tem-se a predominância de floresta sucessional inicial/pasto.

PVAd		
Classes Uso e Cobertura da Terra	Área (Km²)	Área (%)
Floresta Sucessional Inicial/Pasto	65,27	48,05
Floresta Sucessional Secundária/Ombrófila Densa	19,90	14,65
Solo Exposto	30,40	22,38
Nuvem	15,68	11,54
Sombra	1,11	0,82
Água	3,49	2,57

Tabela 36 – Para a associação Lad que ocupa 84,54% da bacia tem-se a predominância de floresta sucessional inicial/pasto.

Lad		
Classes Uso e Cobertura da Terra	Área (Km²)	Área (%)
Floresta Sucessional Inicial/Pasto	343,47	34,12
Floresta Sucessional Secundária/Ombrófila Densa	230,79	22,92
Solo Exposto	341,03	33,88
Nuvem	67,26	6,68
Sombra	10,04	1,00
Água	14,14	1,40

Tabela 37 – Para a associação GXve que ocupa 1,65% da bacia tem-se a predominância de floresta sucessional inicial/pasto.

GXve		
Classes Uso e Cobertura da Terra	Área (Km²)	Área (%)
Floresta Sucessional Inicial/Pasto	1,91	32,70
Floresta Sucessional Secundária/Ombrófila Densa	0,37	6,31
Solo Exposto	1,54	26,34
Nuvem	1,16	19,91
Sombra	0,36	6,11
Água	0,50	8,60

6.8.1 – Relação geologia e declividade

Foram mensuradas as porcentagens de declividades contidas em cada unidade geológica da bacia do Caeté (Tabela 38).

Tabela 38 – Porcentagem das classes de declividades contidas nas unidades geológicas.

Classes de Declividade	Unidades Geológicas				
	Suite Tracuateua	Formação Pirabas	Grupo Gurupi	Formação Barreiras	Aluviões Holocenicos
0 – 3	70,85	49,13	40,78	61,18	55,42
3 – 8	28,98	49,02	52,31	37,47	40,59
8 – 20	0,16	1,84	6,9	1,35	3,99

6.8.2 – Relação solos e declividade

Foram mensuradas as porcentagens de declividades contidas em cada associação de solo da bacia do Caeté (Tabela 39).

Tabela 39 – Porcentagens das classes de declividades contidas em cada associação de solo.

Classes de Declividade	Associação de solos		
	GXve	PVAd	Lad
0 – 3	55,43	38,89	60,69
3 – 8	40,57	53,59	38,01
8 – 20	3,98	7,53	1,3

Com a sobreposição dos dados de geologia, geomorfologia, solos, pluviosidade e uso e cobertura da terra obteve-se o mapa de vulnerabilidade a perada de solos, visualizado na figura 64 com três graus de vulnerabilidade: moderadamente estável (9,10 Km² da área da bacia), medianamente estável (1673,20 Km² da área da bacia) e moderadamente vulnerável (197,90 Km² da área da bacia). Cada classe de vulnerabilidade com sua respectiva área de ocupação na bacia encontra-se na tabela 40.

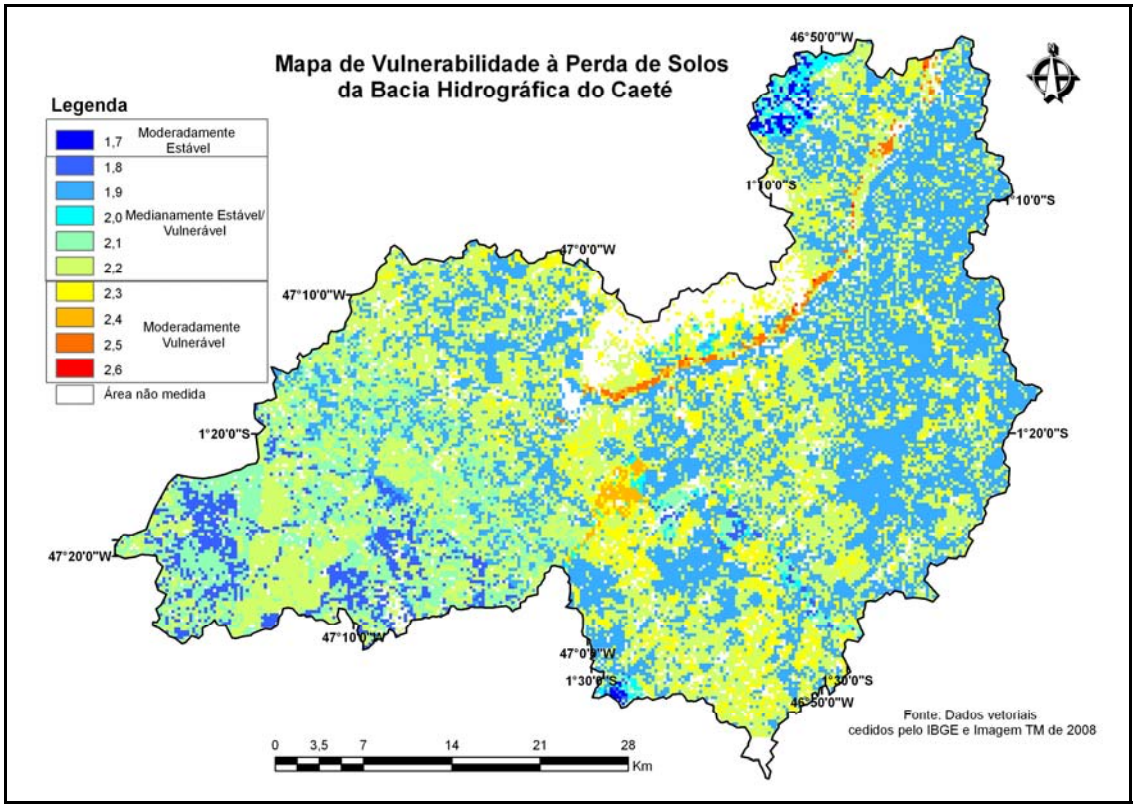

Figura 64 – Mapa de vulnerabilidade a perda de solos.

Tabela 40 – Áreas correspondentes a cada classe de vulnerabilidade natural a perda dos solos.

Classes de Vulnerabilidade	Graus de Vulnerabilidade	Área (Km²)	Porcentagem (%)
Moderadamente Estável	1,7	9,1	0,44
Medianamente Estável/Vulnerável	1,8	1673,20	81,19
	1,9		
	2		
	2,1		
	2,2		
Moderadamente Vulnerável	2,3	197,90	9,60
	2,4		
	2,5		
	2,6		
	Área medida	1880,20	91,24
	Área não medida	180,55	8,76
	Área total	2060,76	100

6.9 – BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO

O banco de dados geográfico reúne: dados vetoriais advindos das imagens de sensores orbitais de diferentes épocas (1988, 1999 e 2008), dados básicos de morfometria da bacia, rede de estradas, dados temáticos reinterpretados (Geologia, Geomorfologia, Solos, Hidrografia) e dados gerados (Intensidade Pluviométrica, Uso e Cobertura da Terra, Áreas de Preservação Permanente, Aptidão Agrícola e Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo). Este produto encontra-se em formato digital no Anexo III através de um CD-ROM.

7 – DISCUSSÃO

A análise morfométrica da bacia do Caeté indica que esta possui uma forma mais alongada do que circular, favorecendo assim o processo de escoamento superficial, pois o valor de 0,25 para o índice de circularidade evidencia esta característica. Por distanciar-se de uma circunferência, conseqüentemente possui uma baixa propensão a cheias tendo-se como parâmetros os valores de circularidade de Schumm[31] (1956 apud LANA; ALVES; CASTRO 2001).

O valor 1,62 encontrado para o índice de sinuosidade indica grau intermediário para o canal principal tomando-se como parâmetros os valores de sinuosidade de Schumm[32] (1963 apud LANA; ALVES; CASTRO 2001).

O valor 0,7 Km/Km² indica uma bacia com pobre capacidade de drenagem tendo-se como parâmetros os valores de Villela e Mattos[33] (1975 apud SANTOS; SILVA; CECÍLIO 2008).

Segundo o método de Valeriano (2008), percebe-se o domínio de dispersão como ocupando a maior porção da bacia, facilitando assim o não acúmulo e maior dispersão hidrológica na bacia.

De acordo com a metodologia proposta pela Embrapa[34] (1979 apud CARDOSO et al., 2006), a bacia do Caeté possui um relevo plano, pois registra 57,60% de sua área com declividades variando de 0 a 3%, colaborando assim para um menor escoamento superficial.

As maiores declividades, 8 a 20%, são encontradas na porção da bacia onde o embasamento é de geologia do grupo Gurupi e a associação de solos predominante é do tipo PVAd contendo 48,05% de sua área ocupada pela classe floresta sucessional secundária/pasto, além de ocorrer as intensidades pluviométricas variando entre 375 a 400 mm/mês, o que indica um dos maiores índices de vulnerabilidade a perada de solos (2,4) de acordo com a método de Crepani (2001), condições estas que propiciam um maior escoamento superficial e podendo contribuir assim para o aumento da

[31]SCHUMM, S.A., Evolution of drainage systems and slope in badlands of Perph Amboy. Geologycal Society of American Bulletin, n. 67, p. 597-646, 1956.
[32] SCHUMM, S.A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Geological Society of America Bulletin*. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.
[33] VILLELA, S.M.; MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.
[34] EMBRAPA. Serviço Nacional de levarvação de solos. Súmula da 10 reunião técnica de levantamento de solos Rio de Janeiro. 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânia 1).

granulometria dos sedimentos no canal principal percebida no período chuvoso na localidade de Jutaí, e para o aumento da concentração de sólidos em suspensão percebido na localidade Nova Mocajuba. Na localidade Jutaí além da distância da nascente, outro fator que colabora para a granulometria de areia fina no canal principal evidente no período seco é a presença da formação pirabas próximo aquela localidade.

Outro fator que contribui para o aumento da concentração de sedimentos no rio Caeté durante os eventos chuvosos é a própria presença de floresta densa nas associações de solos com predomínio dos neossolos flúvicos, os quais apresentam a menor porcentagem de floresta densa (6,31%) em relação a área que ocupam comparando com os outros tipos de associações de solos.

Em relação às vazões e sua qualidade de medições utilizou-se a ficha de medição de vazão com ADCP elaborada por Rodrigues (2008). Neste método, a qualidade varia em cinco classes (péssimo, ruim, razoável, bom e ótimo), a partir dos parâmetros estabelecidos por Gamaro (2007 apud RODRIGUES, 2008). Feita a qualidade de medição para as vazões no rio Caeté o resultado variou de péssimo até razoável; influenciada, principalmente por causa dos valores baixos resultantes da razão entre as vazões medidas e as estimadas.

Embora a qualidade dos dados tenha sido baixa, optou-se em utilizá-los na montagem do *geodatabase* e na comparação com outras variáveis físicas de interesse para a gestão da bacia, uma vez que Gamaro et al (2007) e HiBAm (1994) tratam das grandes vantagens do ADCP em relação a outros métodos de medição de vazão, tanto em rios de pequeno porte como em rios caudalosos.

A vazão e as precipitações tiveram um aumento gradativo, da porção mais a montante (Arraial do Caeté) em direção à jusante (Nova Mocajuba), entretanto, é na região de contribuição de Tentugal (seção de medição intermediária) que se encontra a maior densidade de drenagem e na seção mais a montante é onde se tem as maiores concentrações de solo exposto, fato inverso é percebido na região mais a jusante (Nova Mocajuba) que possui a maior concentração de floresta sucessional secundária/floresta ombrófila densa, ou seja, na porção da bacia de maior pluviosidade e vazão medida é onde se encontra a maior área florestada e na porção de menor pluviosidade e vazão medida é a que possui maior solo exposto.

A análise dos dados de sólidos em suspensão demonstra que sua maior concentração está ligada a intensidade pluviométrica e não ao aumento da vazão, indicando assim o período entre março e abril como o mais adequado para quantificação da exportação deste material para o estuário, pois é o período que historicamente possui os maiores índices pluviométricos, em contra partida o mês de maio apesar de apresentar maior vazão de acordo com a análise histórica do posto fluviométrico Nova Mocajuba, não é o período que irá concentrar a maior quantidade de sólidos em suspensão. A importância da quantificação dos sólidos em suspensão exportados pela porção fluvial do sistema do Caeté contribuirá para a compreensão da influência do domínio fluvial em relação ao estuário dominado por macro-maré.

A bacia do Caeté não teve uma mudança expressiva no uso e cobertura da terra para o período de 20 anos relativo a 1988 e 2008, pois a área de solo exposto sofreu um pequeno aumento de 8% nos últimos 10 anos e a classe floresta secundária/ombrófila densa apesar da redução em 8% nos últimos 10 anos ainda é a classe predominante. Este fato se deve as práticas agrícolas que estão presentes nesta região devido ao seu processo histórico de ocupação desde o inicio do século XX exportando produtos agrícolas para centros importantes, principalmente Belém. Entretanto este processo de ocupação vem comprometendo as APP's que atualmente apresentam 37,78% de sua área com usos antrópicos estando em desacordo com a legislação ambiental vigente.

O NDVI indicou um aumento com relação à quantidade de biomassa verde e do crescimento e desenvolvimento da vegetação, contrastando com a classificação supervisionada que para o mesmo período 1999 a 2008 indicou um aumento de solo exposto e uma diminuição das classes de floresta secundária/ombrófila densa e floresta inicial/pasto, isto tem relação com a presença de nuvens na imagem de 2008, causando esta interferência que foi muito sentida na classificação e teoricamente não deveria ser percebida no NDVI. Em contra partida o NDVI demonstrou íntima relação com o aumento da precipitação no período seco, percebida na estação de Santa Luzia do Pará para os anos de 1999 e 2008, confirmando as observações feitas por alguns autores como Nicholson e Farrar[35] (1994 apud FIRMINO et al., 2009) entre a relação direta do NDVI e a níveis de precipitação inferiores a 250mm/mês.

[35] NICHOLSON, S.E.; FARRAR, T.J. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall and soil moisture in semi-arid Botswna. *Remote Sensing of Environment*, 50, p. 107-120. 1994.

A bacia como um todo se mostrou homogênea com relação à aptidão agrícola das terras, dentre as características das associações dos solos analisadas a deficiência de fertilidade foi o fator preponderante para que ocorresse uma restrição para o nível de manejo B. Com relação à associação de solos GXve deve ser adotadas práticas conservacionistas e/ou sua utilização pode ser feita por agriculturas de subsistência utilizando-se de plantações como o arroz, a qual se adapta as condições deste tipos de solo, pois apesar de sua fertilidade ser superior ao restante da bacia o encharcamento deste solo inviabiliza o nível de manejo C e sua proximidade com APP's requerem uma atenção especial.

A bacia demonstrou-se medianamente estável a vulnerabilidade natural à perda de solos com predominância dos valores entre 1,8 e 2,2 e, suas áreas de maior vulnerabilidade variando de 2,3 a 2,6 segundo os índices de Crepani (2001) concentradas na porção centro-norte da bacia, onde ocorre a presença de associação de solos GXve e ocorre um intenso uso da terra em comparação com as outras associações de solo. Por outro lado as áreas menos vulneráveis encontram-se na porção norte com influência do embasamento da Suite Intrusiva Tracuateua e na porção próxima a nascente do Caeté, onde existem as maiores altitudes e as menores variações de declividade.

O comportamento hidrológico da bacia hidrográfica é função das características morfológicas (área, forma e topografia), geologia, solo, cobertura vegetal, uso e cobertura da terra. As inter-relações existentes entre estas características e os processos hidrológicos, expressadas em termos quantitativos e visualizados no espaço, corroboram para o processo de gestão desta unidade de planejamento. Haja vista que o processo de gestão perpassa fundamentalmente pelo conhecimento do ambiente em relação as suas fragilidades, potencialidades e também sobre os atores sociais envolvidos no ambiente.

Como existe uma crescente difusão das ferramentas SIG's no Brasil, a construção do *geodatabase* da bacia do Caeté permitiu analisar a bacia hidrográfca em estudo de forma quantitativa e visualizar os resultados de forma espacial, além de disponibilização dos produtos gerados para a sociedade paraense com otimização no armazenamento e administração dos dados geoespaciais, promovendo maior versatilidade e habilidade de uso, pequena limitação com relação ao tamanho do armazenamento dos dados, fácil migração de dados e permite *updates*.

8 – CONCLUSÕES

Os métodos adotados demonstraram mais uma vez a grande versatilidade da ferramenta SIG colaborando para uma melhor compreensão do meio físico e assim possibilitar aos planejadores um melhor ordenamento da região estudada.

Os produtos gerados como os mapas de vulnerabilidade natural à perda de solos, aptidão agrícola e de APP's podem ser usados para orientar no processo de ocupação da bacia.

Os dados de campo permitiram o reconhecimento das classes de uso e cobertura da terra além de identificarem de peculiaridades com relação a hidrodinâmica das seções de estudo.

A forma da bacia favorece o escoamento superficial, mas em contra partida o relevo por ser em sua maior parte plano dificulta este processo, possuindo uma baixa propensão a cheias.

No período chuvoso o aumento da capacidade do rio promove um aumento da granulometria do canal.

Na porção da bacia onde ocorre maior pluviosidade e vazão é encontrada a maior área florestada e na porção de menor pluviosidade e vazão encontra-se a maior área de solo exposto.

O estudo demonstra uma necessidade de reflorestamento das matas ciliares, sobretudo na seção delimitada pela localidade Arraial do Caeté na porção montante do rio Caeté, este estudo também colabora na compreensão das características físicas da bacia deste rio, podendo subsidiar projetos como o de revitalização da bacia do Caeté que foi proposto pela SEMA após o diagnóstico de percepção ambiental da situação da bacia elaborado em abril de 2009.

Por fim, este banco de dados possibilita a análise dos produtos gerados (mapas e dados vetoriais) de modo que determinadas áreas de interesse possam ser observadas com maior detalhe; disponibilizam-se os dados à sociedade para que sejam utilizados em benefício do desenvolvimento da região da bacia do Caeté e; possibilita a atualização dos dados à medida que novos conhecimentos e tecnologias sejam adquiridos.

9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMANN, F. Louis. 1969. *Esboço para a geologia entre a cidade de Belém-rio Gurupí e Atlântico-rio Guamá.* Belém-PA. Imprensa Universitária do Pará.

ALMEIDA, Arlete Silva de. 1999. *Dinâmica da paisagem e ecologia de florestas remanescentes primárias e sucessionais do Município de São Francisco do Pará.* Belém-PA: Museu Paraense Emílio Goeldi. (Dissertação de Mestado).

ALVAREZ, Victor Hugo; FONTES, Luiz Eduardo F.; FONTES, Maurício Paulo F. 1996. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.* MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Universidade Federal de Viçosa.

ALVES, J.M. de Paula & CASTRO, P. de Tarso Amorim. 2003. Influência de Feições Geológicas na Morfologia da Bacia do Rio do Tanque (MG) Baseada no Estudo de Parâmetros Morfométricos e Análise de Padrões de Lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*. 33(2):117-124.

ANA – Agência Nacional de Águas. 2007.*GeoBrasil recursos hídricos:* resumo executivo. Brasília – DF.

ANTUNES, Paulo de Bessa. 2001. *Direito Ambiental.* Rio de Janeiro: Editora Lumen Júris, 5ª Edição, revista, ampliada e atualizada. 657 p.

ASP, Nils E. et al., 2007.Geomorfologia de Bacias Hidrográficas e implicações para a Zona Costeira – Nordeste Paraense, Norte do Brasil. In: XII CONGRESO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR – XII COLACMAR, 2007, Florianopólis. CD-ROM de resumos do XII COLACMAR.

BATISTELLA, M. et al. 2004. *Satélites de Monitoramento*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em: http://www.sat.cnpm.embrapa.br. Acesso em: 14 abr. 2007.

BERTALANFFY, L. Von. 1975. *Teoria Geral dos Sistemas*. Petrópolis: Vozes. 351p

BORDAS, M. P. & SEMMELMANN, F. R. 2001. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, Carlos E. M. *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre. Editora UFRGS: ABRH.

BRASIL. 1989. Lei Federal nº. 7.803, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nº.s 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. *Diário Oficial da União*, Brasil, DF, 20 jul. 1989. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7803 Acesso em: 01 ago. 2008.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. 2001. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. INPE. São José dos Campos.

CAPRA, Fritjof. 2001. *O Ponto de Mutação*. Ed. Cultrix. Edição 22. 447p.

CARDOSO, Christiany Araujo et al. 2006. *Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica Do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ.* R. Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.2, p. 241-248.

CAVALCANTE, Luciana Mendes. 2000. *Neotectônica na área do Tiracambu (NE do Estado do Pará, NW do Estado do Maranhão).* Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 144p. Dissertação (Mestrado em Geologia).

CENTENO, Jorge Antônio Silva. 2003. *Sensoriamento remoto e processamento imagens digitais*. Curitiba: Ed. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 219p.

CES – *Comissão de Engenharia de Sedimentos*. 2006. Histórico. Disponível em http://www.iph.ufrgs.br/sedimentos/historico.asp Acessado em 30/04/08.

CHAVEZ Jr., P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmosphericscattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, n.3, p. 459-479, Apr.

CHAVES, M. A., 2002. Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica. In: ALVES, Marcelo Rodrigo. *Caracterização e uso da bacia hidrográfica do córrego Zerede, Timóteo-MG.* Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, 95p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) UFV, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. 1974. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2ªED.

COSTA, Francisco Ribeiro. 2004. *Influência da Neotectônica sobre os arranjos geométricos dos Aqüíferos na Região Metropolitana de Belém – Estado do Pará.*

Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 157p. Dissertação (Mestrado em Geologia).

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais**.** 1998. *Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia (PRIMAZ). Sócia-Economia do Município de Bragança.* Belém.

CREPANI, Edison; et al. 2001.*Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.* São José dos Campos. INPE.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão de; PALMEIRA Alessandro Ferraz. 2004. *Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo.* São José dos Campos. INPE.

CROSTA, Álvaro Penteado. 1993. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas: IG/UNICAMP, 170p.

DALKIN, David & SPAIN, Peter 2006. *ADCP's Today's Tool for Measuring Water Currents and Discharge*. Note Application. Teledyne Rd Instruments.

DANTAS, V F.; FERNÁNDEZ, G. A. V. 2004. Implementação de um banco de dados para a gestão de bacias hidrográficas: comparação de sistemas de informações geográficas estruturado em arquivos e em geodatabase. In: VI ENCONTRO DE ESTUDANTES DE INFORMÁTICA DO ESTADO DO TOCANTINS – ENCOINFO 2004 – 4 e 5 de novembro de 2004 CEULP/ULBRA – Curso de Sistemas de Informação – Palmas – TO.

DIAS, J. Alveirinho. 2004. *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos.* Universidade do Algarve – Faro.

DILL, Paulo Roberto Jaques. 2007. *Gestão Ambiental em Bacias Hidrográficas*. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. 146p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola).

DOUROJEANNI, Axel; JOURAVLEV, Andrei; CHÁVEZ, Guillermo. 2002. *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica.* CEPAL - SERIE Recursos Naturales e Infraestructura. Publicación de las Naciones Unidas. Santiago de Chile.

EMBRAPA-CNPS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos.* Brasília: Embrapa –SPI.

ENVI – Enviroment Visualing Images. 2008. *User's Guide*.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. 2001. *ArcGIS Spatial Analyst Tutorial*. ESRI White Paper, New York, USA.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. 2006. *Building Geodatabases Tutorial*. USA.

FIRMINO, J. L. da Nóbrega; et al. 2009. Análise comparativa preliminar do Índice de Vegetação derivado do Satélite Landsat – 5 para a cidade de São João do Rio do Peixe na Paraíba com a precipitação. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE.

FLORENZANO, T. Gallotti. 2002. *Imagens de satélites para estudos ambientais*. São Paulo. Editora Oficina de Textos, 97p.

FLORENZANO, T. Gallotti; et al. 2008. *Geomorfologia: conceito e tecnologias atuais*. São Paulo. Editora Oficina de Textos, 320p.

GAMARO, P. E. Muniz, et al. 2007. Comparativo do medidor de vazão acústico Flowtracker e micromolinete. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Santa Catarina.

GARCIA G. J.; PINTO S. A. F. 2005. *Experiências de Aplicação de Geotecnologias e modelos na análise de Bacias Hidrográficas* In: Revista do Departamento de Geografia, 17: 30-37.

HARVEY, Francis. 2008. *A Primer of GIS: Fundamental Geographic and Cartographic concepts.* New York. The Guilford Press.

HiBAm – Hidrologia da Bacia Amazônica. 1994. *Primeira campanha de medição de vazão com ADCP no rio Amazonas*. Brasília.

IBIAPINA et al. 1999. Evolução da Hidrometria no Brasil. In: *O Estado das Águas no Brasil – Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos.* Ministério de Minas e Energia – MEE, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Organização Meteorológica

Mundial – OMM, Programa das Nacões Unidas para o Desenvolvimento – PNUD. Brasília, DF, 334p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1993. *Geografia do Brasil*: Região Norte; Vol. 3 Rio de Janeiro.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2001. *Introdução ao processamento digital de imagens.* Rio de Janeiro, 94p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006. *Manual Técnico de Uso da Terra.* Manuais Técnicos em Geociências n°7. 2ª 124d. Rio de Janeiro.

KAMPEL, M. 2002. *Sensoriamento Remoto Aplicado à Oceanografia*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR/INPE). Cap.6.

KLEIN, Evandro Luiz. 2004. *Evolução Geológica Pré-Cambriana e aspectos da Metalogênese do ouro no Cráton São Luis e do Cinturão Gurupi, NE-Pará/NW-Maranhão, Brasil.* Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 298p. Tese (Doutorado em Ciências na área de Geoquímica e Petrologia).

LANA, Cláudio Eduardo; ALVES Júlia Maria de Paula; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. 2001. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG – Brasil. *Rev. Esc. Minas* vol.54 n°.2 Ouro Preto Apr./June 2001.

LANNA, Antônio Eduardo. 2000. A inserção da gestão das águas na gestão ambiental. In: MUNOZ, Hector Raúl (org.). *Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos*. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 421 p.

LEITE, Wladson da Silva. 2007. *Caracteristicassedimentares do sistema fluvial e estuário Tracuateua-Quatipuru em função da geologia e da preservação da vegetação ao longo dos canais.* Bragança-PA. Universidade Federal do Pará. Campus Bragança. Colegiado de Engenharia de Pesca, 41p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas).

LEOPOLD, Luna B.; WOLMAN, M. Gordon.; MILLER, John P. 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. Ed. W. H. Freeman and Company. San Francisco USA.

LIBOS, Michely; et al. 2009. Covariabilidade interanual entre a vegetação e o clima na bacia hidrográfica do rio Cuiabá - MT. In: Anais XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal, Brasil, INPE.

LILLESAND, Tomas M.; KIEFER, Ralph W.; CHIPMAN, Jonathan W. 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Ed. Wiley. New York, NY.

LIMA, Walter de Paula. 1996. *Introdução ao manejo de bacias hidrográfica.* Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Departamento de Ciências Florestais.

LOUZADA, F. L. R. de Oliveira; et al. 2009. Análise da Cobertura Florestal por meio da subtração de imagem NDVI na Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES. In: Anais XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal, Brasil, INPE.

LYON, John G. 2003. *GIS for Water Resources and Wadershed Management*. Taylor & Francis. London.

MÁCOLA, Gilberto; EL-ROBRINI, Maâmar. 2004. *Ilha dos Guarás (Mariteua) – Município de Curuçá (NE do Pará): aspectos físicos, meteorológicos. & oceanográficos.* Relatório Final. Cartografia, Hidrografia e Digitalização – CHD & Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros – GEMC. COMPANHIA DOCAS DO PARÁ – CDP.

MENDES, Amilcar C. 2003. Geomorfologia e sedimentologia. In: FERNANDES, Marcus E. B. (org.). *Os manguezais da costa norte brasileira*. Belém-PA. Fundação Rio Bacanga, 165p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. 1979. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola das Terras. *Aptidão Agrícola das Terras do Pará.* Brasília. BINAGRI.

MONTEIRO, Marcela Cunha. 2006. *Estudo Morfodinâmico de uma Praia de Macromaré no Litoral Amazônico, Ajuruteua-Pa (Brasil).* Belém-Pa.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. Lôla da; COSTA, M.H. 2005. *Variação Espacial e Temporal da Precipitação no Estado do Pará.* In: Acta Amazônica, 35 (2): 207-214.

MUÑOZ, H. R. 2000. Razões para um debate sobre as interfaces da Gestão dos recursos hídricos noc ontexto da lei de Águas de 1997. In: MUNÕZ, Hector. R (org.). *Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos.* Desafios da lei de águas em 1997. Brasília 2. ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos.

NOVO, E. M. L. 1989. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. São Paulo, Edgard Blucher, 380p.

OLIVEIRA, Rita Denize de. 2002. *Zoneamento agroambiental do município de Barcarena – Pará*. Belém. 2002. 110p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará.

PALHETA, Edney Smith de Moraes. 2001. *Evolução Geológica da Região Nordeste do Estado do Pará com base em estudos Estruturais e Isotópicos de Granitóides.* Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 143p. Tese (Mestrado em Geologia).

PALMEIRA, Alessandro Ferraz. 2005. *Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicadas à Gestão do Território do Município de Paragominas (Estado do Pará).* São José dos Campos. INPE. 270p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto).

PEREIRA, Kleiton Manoel Macêdo. 2007. *Variabilidade e sazonalidade na sedimentologia em dois rios (Caeté e Quatipuru) da Microrregião Bragantina.* Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará. Campus Baragança. Bragança.

PEREIRA, Lauro Charlet. 2002. *Aptidão Agrícola das terras e Sensibilidade Ambiental: Proposta Metodológica.* Campinas-SP. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, 122p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola).

PEREIRA NETO, Oswaldo Coelho. 1994. *Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo da adequação do uso do solo em bacias hidrográficas*. São José dos Campos. INPE.

RAMALHO FILHO, A.; et al**.** 1983. *Levantamento de Reconhecimento de baixa intensidade de solos e aptidão agrícola das terras da região geoeconomica de Brasília.* RJ: EMBRAPA.

RICARDO, Mateus; et al. 2008. *Análise e Aplicação de Perfiladores Acústicos Doppler para Medição de Vazão em Pequenas Centrais Hidrelétricas*. In: VI Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas.

RODRIGUES, Mauro S. 2008. *Ficha de Medição de Vazão com ADCP*. (Digital – CD Rom).

ROSA; Roberto. 2004. *Sistema de Informações Geográficas* (Apostila Digital – CD Rom).

ROSSETTI, Dilce de Fátima; GÓES, Ana Maria. 2004. *O Neógeno da Amazônia Oriental.* Belém: MPEG.

ROSSETTI, Dilce de Fátima; et al 1989. *Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos barreiras e pós-barreiras na Região Bragantina, nordeste do Pará.* Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra. v1: 25-69.

RUHOFF, Anderson Luis. 2004. *Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: modelagem ambiental com simulação de cenários preservacionistas.* Santa Maria – RS. Universidade Federal de Santa Maria. 93p. Dissertação (Mestrado em Geomática).

SANTOS, I. et al. 2001. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 372p.

SANTOS, L. Nazário Silva dos; SILVA, K. Ribeiro da; CECÍLIO, R. Avelino. 2008. Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Jucu Braço Norte – ES. In: XIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e VIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO – Universidade do Vale do Paraíba.

SANTOS, P.L. dos; et al. 1999. *Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos do município de Cametá – Estado do Pará.* Belém: Embrapa.

SCHUMM, Stanley A. 1977. *The Fluvial System*. Ed. John Wiley & Sons. NewYork. USA.

SECTAM Digital. Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. 2007. *Recursos Hídricos*. Belém, PA. Disponível em http://www.para30graus.pa.gov.br/recursos.htm. Acesso em: 19 maio 2007.

SEMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente. 2009. *II Seminário de Educação Ambiental pelas Águas e Florestas do Pará – Região do Caeté.* Relatório nº2. Belém.

SEPOF Digital. Secretaria Executiva de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças. 2007. *Pará em números: dados estatísticos de 2006.* Disponível em http://www.sepof.pa.gov.br . Acesso em: 18 maio 2007.

SILVA, Ardemirio de Barros. 2003. *Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos.* Campinas-SP. Editora da Unicamp.

SILVA, Alexandre Marco da; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa de. 2003. *Erosão e Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.* RiMa – São Carlos.

SILVA, Cléa Araújo da. 1998. *Análise Morfoestratigráfica do Estuário do Rio Marapanim – NE do Pará.* Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 133p. Tese (Mestrado em Geologia).

SILVA, C. R. *Ambiente e qualidade de vida da população cabloca daIlha de Cotijuba, Belém-PA*: 2001. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal do Pará – UFPA Belém.

SILVA, J.M.L. et al. 1999. *Levantamento de solos de alta intensidade e mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra do município de Colares – Estado do Pará.* Belém: Embrapa.

SILVA, Patrick Palassi da. 2007. *Análise geomorfológica do maciço costeiro Morro do Moreno, Vila Velha Espírito Santo, Brasil.* Vitória-ES. Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Geografia, 90p. Monografia (Bacharel em Geografia).

SIMPSON, Michael R. 2001. *Discharge Measurements Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Proler.* United States Geological Survey. SACRAMENTO, CALIFORNIA.

SOARES JR., Adilson Viana. 2002. *Paleogeografia e evolução da paisagem do nordeste do Estado do Pará e noroeste do Maranhão – Cretáceo ao Holoceno.* Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 118p. Tese (Mestrado em Geologia).

SOUZA FILHO, P. W. M. e. 1995. *Influências das variações do nível do mar na morfoestratigrafia da Planície Costeira Bragantina (NE do Pará) durante o Holoceno.* Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 122p. Tese (Mestrado em Geologia).

SOUZA FILHO, P. W. M. e. 2001. Dinâmica natural e impactos antrópicos no uso de áreas costeiras da planície bragantina, nordeste do Pará, Brasil. In: PROST, Maria Thereza R. C. e MENDES, Amilcar C. (org.). *Ecossistemas Costeiros*: impacto e gestão ambiental. Belém-PA. Museu Paraense Emílio Goeldi.

STRAHLER, Arthur N. 1986. *Geography Physical*. Ediciones Omega S. A. Barcelona.

SUGUIO, K.; BIGARELLA J.J. 1990. *Ambientes Fluviais*. Editora da Universidade Federal do Paraná. Florianópolis. 183p.

TANCREDI, Nicola S. Holanda. 2007. *Aplicação de geoprocessamento na análise ambiental das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã – Juruti – Pará.* Belém. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Dissertação (Mestrado em Geologia).

TELEDYNE RD INSTRUMENTS. 2008. *WinRiverII User's Guide*.

TIAGO FILHO, et al. 1999. *O uso do ADCP em pequenos e médios cursos d'água*. Grupo de trabajo sobre hidromecánica 5ª reunião. Montevideo Uruguay. IMFIA.

TUCCI, Carlos E. M. 2001. *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre. Editora UFRGS: ABRH.

USGS – U.S. Geological Survey. 2008. *Shuttle Radar Topography Mission*. Disponivel em http://srtm.usgs.gov/ Acessado em 26 de julho de 2008.

VALERINO, M. de Morisson. 2008. *Topodata: guia de utilização de dados geomorfométricos locais.* São José dos Campos. INPE.

VENTURIERI, Adriano. 1996. *Segmentação de imagens e lógica nebulosa para treinamento de uma rede neural artificial na caracterização do uso da terra na região de Tucuruí (PA)*. São José dos Campos. INPE. 140p. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto.

VENTURIERI, Adriano; WATRIN, Orlando dos Santos; ROCHA, Ana Maria Águila da; SILVA, Benedito Nelson Rodrigues da. Avaliação da Dinâmica da Paisagem da Ilha do Mosqueiro, Município de Belém, Pará. In: Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 247-256.

VIEIRA, Lúcio Salgado; et al 1967. *Levantamento de reconhcimento dos solos da Região Bragantina, Estado do Pará.* Boletim Técnico do Instituto de Estudos e Experimentação Agropecuárias do Norte. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v2: 1-63.

WATRIN, Orlando dos Santos. 2003. *Dinâmica da paisagem em projetos de assentamento rurais no Sudeste Paraense utilizando geotecnologias*. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG.

WATRIN, Orlando dos Santos; SANTOS, João Roberto dos; VALÉRIO FILHO, Mario. 1996. Análise da Dinâmica na Paisagem do Nordeste Paraense Através de Técnicas de Geoprocessamento. In: Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 427-433.

ZEILER, Michael. 1999. *Modeling our World*: The ESRI guide to geodatabase design. USA. ESRI.

ANEXO I

WinRiver I _ 1 - FICHA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO COM ADCP									
Técnicos :						Órgão(s) :			**Pag :**
Estação :				Rio :		Municipio / UF :			
Código :		Cota início (cm) :				Cota final (cm) :			
Data :	**#REF!**	Hora Início :				Hora Final :			
2 - Número de Série e Patrimônio do ADCP e LapTop									
	Marca	Nº de Série		Frequência	Modelo	Hora Relógio Interno			
ADCP	**#VALOR!**			**Firmware**					
LapTop									
3 - Dados do Software de Comunicação e FirmWare do ADCP									
Software :		Versão :		FirmWare ADCP :		**#REF!**			
4 - Parâmetros para a realização da medição									
Nome Arquivo da medição :				Diretório de dados :					
Arquivo de Config. / Med. :				Exec DumbTerm Inic/NArq		/	Houve erro ?		
Tensão da rede Alternada :				Exec DumbTerm Fim/NArq		/	Houve erro ?		
Executado Wizard :				Nome do arquiv Wizard :					
Tensão de alimentação do ADCP:				Gerador ou Bateria **??**					
Tamanho Cabo ADCP/LapTop :				Baud Rat ADCP/LapTop:					
Motor na embarcação ligado ?				Temperatura da água :		**Heading**			
Executado teste de **Fundo Móvel** ?				Num. de verticais teste :		/ / / / / / /			
Encontrado **Fundo Móvel** ?				Velocidade do Fundo :		/ / / / / / /			
Medição com cabo na Sec. Transv.?				Condições do tempo :					
Hora Início Medição :		**00:00:00**		Hora Final da Medição :					
5 - Dados da configuração									
Tam. célula (WS):	**#VALOR!**	Pings água (WP):		**Blank**	Vel ambíg. (WV):		Modo Água (WM):		**System**
Núm. células (WN):	**Bin Size**	Prof. ADCP (cm):			Pings fundo (BP):	**# WT Pings**			
Profundidad		Dist branco (WF):		**#VALOR!**	Sist. Coord (EX):				

e (BX):							

6 - Resumo das Medições

Nome do arquivo :		**#REF!**		Margem Inicial e Dist. [m]:	**#REF!**	Dist. Margem Final [m]:	**#REF!**
Nº de Ensembles :	**0**	Lost Ensembles :	**Ens, #**	Bad Ensembles :	**# Ens,**	% Bad Bins :	**Lost Ens,**
Delta Time [s]:	**Bad Ens,**	Vazão Total[m3/s]	**0**	Vazão Medida [m^3/s] :	**[m^3/s]**	Vaz Medid/Vaz Tot.[%]	**#VALOR!**
Var. Pich/Roll > 5º :		Área [m2] :	**[m^3/s]**	Velocidade Barco [m/s] :	**[m]**	Velocidade Água [m/s] :	**[m/s]**
Distance **MG** [m]:	**Length**	Width [m] {F12} :	**[m^2]**	Time [s] {F12} :	**0**	Q/Area [m/s] :	**[°]**
Latitude Início :		Longitude Início :		Latitude Final :		Longitude Final :	

Nome do arquivo :		**#REF!**		Margem Inicial e Dist. [m]:	**#REF!**	Dist. Margem Final [m]:	**#REF!**
Nº de Ensembles :	**Mana0408000r,000**	Lost Ensembles :	**Ens, #**	Bad Ensembles :	**# Ens,**	% Bad Bins :	**Lost Ens,**
Delta Time [s]:	**Bad Ens,**	Vazão Total[m3/s]		Vazão Medida [m^3/s] :		Vaz Medid/Vaz Tot.[%]	
Var. Pich/Roll > 5º :		Área [m2] :		Velocidade Barco [m/s] :		Velocidade Água [m/s] :	
Distance **MG** [m]:	**Length**	Width [m] {F12} :		Time [s] {F12} :		Q/Area [m/s] :	
Latitude Início :		Longitude Início :		Latitude Final :		Longitude Final :	

Nome do arquivo :		**#REF!**		Margem Inicial e Dist. [m]:	**#REF!**	Dist. Margem Final [m]:	**#REF!**
Nº de Ensembles :	**Manac300mon000r,000**	Lost Ensembles :	**Ens, #**	Bad Ensembles :	**# Ens,**	% Bad Bins :	**Lost Ens,**
Delta Time [s]:	**Bad Ens,**	Vazão Total[m3/s]		Vazão Medida [m^3/s] :	**11588,167**	Vaz Medid/Vaz Tot.[%]	
Var. Pich/Roll > 5º :		Área [m2] :		Velocidade Barco [m/s] :	**3188,45**	Velocidade Água [m/s] :	
Distance **MG** [m]:	**Length**	Width [m] {F12} :		Time [s] {F12} :	**0,3535**	Q/Area [m/s] :	
Latitude Início :		Longitude Início :		Latitude Final :		Longitude Final :	

Nome do arquivo :		**#REF!**		Margem Inicial e Dist. [m]:	**#REF!**	Dist. Margem Final [m]:	**#REF!**
Nº de Ensembles :	**0**	Lost Ensembles :	**Ens, #**	Bad Ensembles :	**# Ens,**	% Bad Bins :	**Lost Ens,**
Delta Time [s]:	**Bad Ens,**	Vazão Total[m3/s]	**0**	Vazão Medida [m^3/s] :	**0**	Vaz Medid/Vaz Tot.[%]	
Var. Pich/Roll > 5º :		Área [m2] :	**0**	Velocidade Barco [m/s] :	**0**	Velocidade Água [m/s] :	
Distance **MG** [m]:	**Length**	Width [m] {F12} :	**0**	Time [s] {F12} :	**0**	Q/Area [m/s] :	
Latitude Início :		Longitude Início :		Latitude Final :		Longitude Final :	

Nome do arquivo :				Margem Inicial e Dist. [m]:		Dist. Margem Final [m]:	
Nº de Ensembles :		Lost Ensembles :		Bad Ensembles :		% Bad Bins :	
Delta Time [s]:		Vazão Total[m3/s]		Vazão Medida [m^3/s] :		Vaz Medid/Vaz Tot.[%]	
Var. Pich/Roll > 5º :		Área [m2] :		Velocidade Barco [m/s] :		Velocidade Água [m/s] :	
Distance **MG** [m]:		Width [m] {F12} :		Time [s] {F12} :		Q/Area [m/s] :	
Latitude Início :		Longitude Início :		Latitude Final :		Longitude Final :	

7 - Medição Final							
Media Vazões Totais [m^3/s] :	**0**	Desvio Padrão [%]		**0,0**	Vel média(**Q/Área**)[m/s]		**0**
Velocidade Média Água [m/s] :	**0**	Vel. Barco:	**0**	Largura [m] :	**0**	Área [m2]:	**0**

ANEXO II

Associações de Solo	Avaliação dos Fatores de Limitação com seus respectivos Atributos Diagnósticos (Níveis de Manejo B e C)										Aptidão Agrícola das Terras
	deficiência de fertilidade		deficiência de água		excesso de água ou deficiência de oxigênio		suscetibilidade a erosão		impedimentos a mecanização		
	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	Classe
Lad	F	F	L	L	N	N	L	L	N	N	1bC
PVAd	F	F	L	L	N	N	L	L	L	L	1bC
GXve	L	L	N	N	F	F	N	N	MF	MF	1(bc)

Legenda
Nulo (N)
Ligeiro (L)
Moderado (M)
Forte (F)
Muito Forte (MF)

Fatores Limitantes da Condição Agrícola das Terras

1. Deficiência de fertilidade

Depende principalmente do grau de limitação referente à disponibilidade de macro e micronutrientes e da Capacidade de Troca de Cátions (CTC, em cmol/kg) (RAMALHO FILHO et al, 1983).

1.1. Graus de limitação

Nulo (N) – terras que possuem elevadas reservas de nutrientes (constituídas por solos eutróficos), que apresentam pelo menos até 80 cm de profundidade uma saturação por bases (V%) superior a 50%, conjugada a uma capacidade de troca de cátion (CTC) superior a 5 cmol kg . Praticamente não respondem à adubação e apresentam ótimos rendimentos durante muitos anos (PEREIRA, 2002).

Ligeiro (L) – terras com boa reserva de nutrientes, devendo apresentar pelo menos até 50 cm de profundidade uma saturação por bases (V%) maior que 50% (solos eutróficos), quando associada à moderada CTC (3-5 cmol /kg). Terras com capacidade de manter boas colheitas durante vários anos (PEREIRA, 2002).

Moderado (M) – terras com limitadas reservas de nutrientes (solos distróficos), que apresentam pelo menos até 50 cm de profundidade uma saturação por bases variando entre 25 a 100%, quando associada a valores de CTC de 2-3 cmol/kg. Torna-se necessário a aplicação de fertilizantes e corretivos após as primeiras safras (PEREIRA, 2002).

Forte (F) – terras com reservas de nutrientes muito limitadas (solos distróficos), que apresentam saturação por bases entre 10 e 25% até pelo menos 50 cm de profundidade, mesmo que associada a valores de CTC 3-5 ou > 5 cmol/kg (PEREIRA, 2002).

Muito Forte (MF) – terras extremamente pobres em nutrientes (distróficos), que apresentam saturação por bases muito baixa (< 10%) até pelo menos 50 cm de profundidade, ainda que associada a valores de CTC superiores a 5 cmol/kg ; ou com V% entre 10 e 25% e CTC de 2-3 cmol/kg (PEREIRA, 2002).

2. Deficiência de água

É definida pela quantidade de água armazenada no solo passível de ser aproveitada pelas plantas. Esta capacidade de armazenamento é dependente da textura, tipo de argila, teor de matéria orgânica e profundidade efetiva, todas características inerentes dos solos.

2.1. Graus de limitação

Nulo (N) – terras que em todo o ano apresentam água disponível em boa quantidade, de modo a promover o desenvolvimento normal das plantas e oferecer múltiplas opções de uso. Terras com boa drenagem interna ou livres de estação seca, bem como aquelas com lençol freático elevado. A vegetação natural é normalmente floresta perenifólia, campos hidrófilos e higrófilos e campos subtropicais sempre úmidos.

Ligeiro (L) – terras com solos que apresentam discreta limitação quanto à disponibilidade de água, influindo ligeiramente no desenvolvimento das espécies cultivadas mais sensíveis. A vegetação é constituída de floresta e cerrado subperenifólios e de alguns campos.

Moderado (M) – terras com solos que apresentam nítida limitação referente à disponibilidade de água, influindo sensivelmente no desenvolvimento das espécies cultivadas, diminuindo assim as opções de uso das terras. As formações vegetais que normalmente se relacionam com este grau de limitação são o cerrado e a floresta subcaducifólia.

Forte (F) – terras com solos que apresentam fortes limitações relacionadas à disponibilidade de água para promover o desenvolvimento normal das plantas. A vegetação é constituída de floresta caducifólia, transição de floresta e cerrado para caatinga e caatinga hipoxerófila.

Muito Forte (MF) – terras com severa deficiência de água durante o período seco que oscila entre oito a dez meses. A vegetação é tipicamente caatinga hiperxerófila. Impossibilita o desenvolvimento de culturas de ciclo longo não adaptadas a falta de água (RAMALHO FILHO et al, 1983).

3. Excesso de água ou deficiência de oxigênio

Relaciona-se com a classe de drenagem natural do solo. Estão incluídos neste aspecto os riscos, freqüência e duração das inundações a que está sujeita a área (RAMALHO FILHO, 1983).

3.1. Graus de limitação

Nulo (N) – terras que não apresentam problemas de aeração ao sistema radicular da maioria das culturas, durante todo o ano. Compreendem terras muito porosas e permeáveis, abrangendo as classes de drenagem que variam de excessivamente drenado à bem drenado.

Ligeiro (L) – terras que apresentam discreta deficiência de aeração durante curto período do ano. São classificadas como moderadamente drenadas. Moderado (M) – terras que apresentam moderada deficiência de aeração durante a estação chuvosa. A deficiência de oxigênio pode ser causada, tanto pelo lençol freático relativamente elevado, quanto pela baixa condutividade hidráulica. São solos imperfeitamente drenados.

Forte (F) – terras que apresentam sérias deficiências de oxigênio durante grande parte do ano, de modo que os cultivos não adaptados demandam trabalhos de drenagem artificial para obtenção de colheitas satisfatórias. São solos da classe mal drenada, apresentando condições propícias para a existência de horizonte gleizado.

Muito Forte (MF) – terras que apresentam restrições de uso muito fortes, devido à deficiência de oxigênio durante praticamente todo o ano. Os solos são classificados como muito mal drenados (PEREIRA, 2002).

4. Suscetibilidade à erosão

Diz respeito ao desgaste que a superfície irá sofrer quando submetida a qualquer uso.

4.1. Graus de limitação

Nulo (N) – terras não suscetíveis a erosão ocorrem em relevo plano ou quase plano, com boa permeabilidade.

Ligeiro (L) – terras que apresentam pouca suscetibilidade a erosão. Normalmente possuem boas propriedades físicas, variando os declives de 3 a 8%.

Moderado (M) – terras que apresentam moderada suscetibilidade a erosão com relevos normalmente ondulados com declives de 8 a 20%.

Forte (F) – terras que apresentam grande suscetibilidade a erosão. Ocorendo em relevo forte ondulado, com declives de 20 a 45%.

Muito Forte (MF) – terras queapresentam severa suscetibilidade a erosão.não recomendadas para uso agrícola, trata-se de terás com declives superiores a 45% (RAMALHO FILHO et al, 1983).

5. Impedimento à mecanização

Este fator é relevante parao nível de manejo C.

Nulo (N) – terras que permitem, em qualquer época do ano, o emprego de todos os tipos de máquinas e implementos agrícolas de uso comum, e com o máximo rendimento. Apresentam relevo plano, com declividade inferior a 3% e ausência de rochosidade/pedregosidade.

Ligeiro (L) – terras que permitem o emprego de todo tipo de máquinas e implementos agrícolas, durante praticamente todo o ano. Possuem relevo plano, com rochosidade/pedregosidade em grau ligeiro, ou relevo suave ondulado (declividade varia entre 3 a 8%), com rochosidade/pedregosidade em grau de limitação nulo.

Moderado (M) – terras que não permitem o emprego de máquinas e implementos agrícolas, utilizados comumente, durante grande parte do ano. Terras com declividade de 3 a 8%, com grau ligeiro quanto á rochosidade/pedregosidade, ou com declividade de 8 a 13%, porém com grau de limitação nulo, quanto á rochosidade/pedregosidade.

Forte (F) – terras que apresentam sérias restrições ao emprego de máquinas e implementos agrícolas de uso comum. Permitem, em quase sua totalidade, o uso de tração animal e máquinas especiais. Podem apresentar relevo plano, com declividade de 0 a 3%, porém, possuem limitação de grau moderado, no tocante à rochosidade/pedregosidade. Ou podem apresentar declividade de 8 a 13%, com grau de limitação quanto à rochosidade/pedregosidade ligeiro. Podem também possuir relevo, com declividade de 13 a 20%, desde que apresente grau nulo de rochosidade/pedregosidade.

Muito Forte (MF) – terras impróprias para mecanização em qualquer época do ano, sendo difícil até mesmo o uso de implementos de tração animal (PEREIRA, 2002).

ANEXO III