

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Dissertação de Mestrado

**SENSITIVIDADE DE AMBIENTES FLUVIAIS: ESTUDO DE  
CASO DA SUB-BACIA ALTO-MÉDIO MACAÉ (RJ)**

Mestrando:

Guilherme Hissa Villas Boas

Orientadora:

Monica dos Santos Marçal

Rio de Janeiro

2011

**Guilherme Hissa Villas Boas**

**SENSITIVIDADE DE AMBIENTES FLUVIAIS: ESTUDO DE  
CASO DA SUB-BACIA ALTO-MÉDIO MACAÉ (RJ)**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geografia).

Área de Concentração:

Planejamento e Gestão Ambiental

**Orientadora: Profa. Dra. Mônica dos Santos Marçal**

Rio de Janeiro

2011

## CIP - Catalogação na Publicação

V726s

Villas Boas, Guilherme Hissa

Sensitividade de Ambientes Fluviais: Estudo de caso da sub-bacia Alto-Médio Macaé (RJ) / Guilherme Hissa Villas Boas. -- Rio de Janeiro, 2011.

106 f.

Orientadora: Monica dos Santos Marçal.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2011.

1. Sensitividade ambiental. 2. Sistema Fluvial. 3. Bacia do Rio Macaé (RJ). 4. Geomorfologia. I. Marçal, Monica dos Santos, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados  
fornecidos pelo autor

**Guilherme Hissa Villas Boas**

**SENSITIVIDADE DE AMBIENTES FLUVIAIS: ESTUDO DE  
CASO DA SUB-BACIA ALTO-MÉDIO MACAÉ (RJ)**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geografia).

Área de Concentração:

Planejamento e Gestão Ambiental

Aprovada em: 30 de setembro de 2011.

Comissão Julgadora:

---

Mônica dos Santos Marçal, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> - Dpt<sup>o</sup> de Geografia / UFRJ  
(Professora Orientadora)

---

Manoel do Couto Fernandes, Prof. Dr. - Dpt<sup>o</sup> de Geografia / UFRJ  
(Professor Avaliador)

---

Jorge Soares Marques, Prof. Dr. - Instituto de Geografia / UERJ  
(Professor Avaliador)

Rio de Janeiro

2011

Dedico este trabalho aos meus pais Nádía e Oliveira.

## **Agradecimentos**

Apresentar aqui agradecimentos referentes apenas ao período desta pós-graduação seria, no mínimo, injusto. Esta dissertação iniciou-se no final de 2004 quando meus pais acreditaram na minha idéia de percorrer todo um novo curso de graduação para chegar aqui.

Aos meus pais meu muito obrigado por apoiarem esta e outras decisões determinantes em minha vida. Muito obrigado por, em muitos momentos, abrirem mão de uma vida mais confortável para me proporcionar uma educação de qualidade. Obrigado, enfim, pelo suporte que sempre deram e que foi fundamental para alcançar este título acadêmico.

Agradeço à professora e amiga Mônica Marçal pela paciência e insistência desde 2005. Seus ensinamentos foram além dos assuntos acadêmicos e, por isso, não poderia deixar de expressar minha enorme gratidão aqui.

Ao professor Jorge Soares Marques pela sua enorme contribuição no exame de qualificação e pela prontidão ao aceitar o convite para participar desta banca.

Ao professor Manoel do Couto Fernandes, não só pelas contribuições acadêmicas a este trabalho, como por sua prestatividade ao longo do curso de graduação. Saudações cruzmaltinas.

Obrigado aos amigos André Polly e Raphael Nunes. Cientistas aplicados na investigação geomorfológica que dividiram conhecimentos e multiplicaram risadas em diversos trabalhos de campo, congressos e ao longo do dia-a-dia.

Agradeço aos cientistas do Lagesolos que passaram e os que permaneceram durante este longo percurso: Daniel “zero-dois”, Thalita Miranda, Frank Gundin, Renato Hingel, Frederico Nascimento, Pilar Amadeu, Lucas “caju” e Daniel “castanha”.

Ao professor Antonio Guerra por suas conversas motivadoras e os inúmeros conhecimentos divididos. Saudações cruzmaltinas.

Aos amigos da turma de graduação: Tarik Menandro, Thiago Cardoso “ogrinho”, Gustavo Barbosa “gugu maluco”, Paula Barbosa “paulinha”, Jefferson Bruce “caubi”, Gabriela Vianna “gabi”, Nathalia Duarte, Kurt Schmid.

Aos amigos da geografia: Gabriel Audi “gaba”, Edmilson Costa “bob”, Luiz Jardim “lula”, Thiago Pereira “thiaguinho”, entre inúmeros outros.

Aos amigos da turma da Pós-Graduação, em especial à Lucia Silva que dividiu momentos agoniantes na fase de seleção. À Ingrid Del Pozo, Deborah Fontenele, Geórgia, Vítor “vitinho”, Suzana Barbosa.

Agradeço aos professores do Departamento de Geografia da UFRJ, em especial ao professor Evaristo

de Castro Junior.

Às pessoas que “fazem o fundão funcionar”. Obrigado à Inês pelos saborosos almoços e longas risadas em meio aos compromissos. Ao Sérgio que sempre “deu um jeito” de adiantar aquela xerox atrasada e pelo apoio nos eventos esportivos (UFRJ SURF) e sociais (festas na geomata e peixadas do bob). À Nilce da livraria pelas longas conversas e ajuda oferecida ao UFRJ SURF. Ao motorista Edinaldo, que sempre nos trouxe de volta dos trabalhos de campo, aos funcionários do Departamento de Geografia da UFRJ, em especial às pessoas da secretaria e ao Pedro da biblioteca.

Aos cientistas do Espaço, Vinicius Seabra e Rafael Balbi, pelas ajudas nos mapas temáticos.

Obrigado ao amigo e geógrafo Marcello Freitas, que me incentivou a cursar a graduação em geografia.

Agradeço à minha família pelo apoio e à Elisa Teixeira pela compreensão na minha ausência no período final.

Obrigado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Carlos Chagas Filho de amparo à pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela concessão das bolsas de estudo da graduação e do mestrado e pelo financiamento desta e outras pesquisas desenvolvidas no Lagesolos.

Ao Jayme de Paula pelas horas concedidas para finalização deste trabalho.

Agradeço, enfim, aos meus guias e protetores espirituais.

“Rapadura é doce, mas não é mole não”.

Dito Popular

## RESUMO

A bacia do rio Macaé, localizada no Litoral Norte-Fluminense vem sofrendo nas últimas décadas diversas alterações diretas e indiretas em seu sistema hidrológico. Entender como ocorrem os ajustes frente a essas mudanças é alvo de investigação do grupo de pesquisas em geomorfologia fluvial do Lagesolos (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos/UFRJ). Esta pesquisa pretende verificar quais os principais agentes e mecanismos que influenciam na dinâmica hidrossedimentológica e, a partir desses dados, avaliar a sensibilidade deste sistema. Para tal foram elaborados mapas temáticos de cobertura da terra referente aos anos 2000 e 2005, gráficos de pluviosidade mensal e diária entre janeiro de 1968 e dezembro de 2009, perfis transversais ao rio Macaé entre 2007 e 2010 e mapas de feições fluviais em seu canal próximo à desembocadura do rio Sana entre 2000 e 2010. Considerando que os canais do baixo curso foram retificados na década de 1970, optou-se por utilizar informações da sub-bacia localizada à montante das feições fluviais selecionadas: Sub-bacia Alto-Médio Macaé.

Os resultados apontam para uma redução na cobertura florestal de cerca de 30% e um proporcional crescimento das áreas agropecuárias. Os centros urbanos também apresentam crescimento neste período. As análises pluviométricas apontam uma oscilação sazonal entre as décadas. Dentre as quatro décadas avaliadas duas apresentaram elevado número de dias com eventos de alta magnitude e concentração das chuvas nos meses de verão enquanto as outras duas apresentaram um quadro oposto. Os perfis transversais apontam um assoreamento do leito e nenhuma erosão nas margens. Já as feições fluviais apresentaram progressiva redução das suas áreas.

Considerando os resultados acredita-se que o principal agente da dinâmica hidrossedimentar da Sub-bacia Alto-Médio Macaé vem sendo a pluviosidade. Ainda que haja retirada da cobertura florestal e conseqüente redução na proteção dos solos, a entrada de sedimentos no sistema não pôde ser percebida, seja pelo aumento da vazão ou pela desconectividade entre os sistemas encosta-calha. Entretanto, considera-se a Sub-bacia Alto-Médio Macaé um sistema hidrográfico com elevada resiliência, seus canais fluviais demonstram, neste trecho, alta conectividade, transportando os sedimentos das partes altas para as partes baixas e a sensibilidade pôde ser percebida através dos ajustes à nova configuração que ainda não ultrapassaram as forças de resistência.

## ABSTRACT

The Macaé river basin, located in North Rio de Janeiro, in recent decades has undergone several changes in its water system. Understanding how the adjustments occur responding these changes is under investigation by a research group in fluvial geomorphology of Lagesolos/ UFRJ. This study investigates what are the main agents and mechanisms that influence the hydrosedimentological dynamics and, from these data to assess the sensitivity of this system. To get this land cover maps were prepared for the years 2000 and 2005, monthly and daily rainfall graphics, between January 1968 and December 2009, were built and river cross sections and maps of fluvial features of Macaé river were evaluated. Whereas the lower course of the channels were rectified in the 1970s, it was decided to use information from sub-basin located upstream of the confluence with river Sana: Sub-basin Upper-Middle Macaé.

The results indicate a reduction in forest cover of about 30% and a proportional increase in agricultural areas. Urban centers also have growth in this period. Analyses show a seasonal oscillation in rainfall between the decades. Among the four evaluated two decades showed a high number of days with events of high magnitude and concentration of rainfall in the summer months while the other two had a table opposite. The cross section profiles show a cross-silting of the bed and no erosion in margins. The fluvial features showed progressive reduction in their areas.

Considering the results it is believed that the main agent of hydrosedimentological dynamic of Sub-basin Upper-Middle Macaé has been rainfall. While there is removal of forest cover and consequent reduction in the protection of soils, sediments entering the system could not be perceived, either by increased flow or disconnected by disconnected slope-cannel systems. However, the Sub-Basin Upper-Middle Macaé show a river system with high resilience, their river channels shown, in this part, high connectivity, carrying sediments from the highlands to the lowlands and sensitivity could be realized through adjustments to new configuration that have not yet crossed the resistance forces.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Mapa de Localização da sub-bacia Alto-Médio Macaé.....	5
Figura 3.1: As extensas áreas de pastagem na planície do rio Macaé.....	11
Figura 3.2: Relevo montanhoso e escarpado com cobertura florestal.....	13
Figura 3.3: Mirantes e cachoeiras atraem turistas à região serrana de Macaé.....	15
Figura 3.4: Mapa das Unidades de Conservação da sub-bacia Alto-Médio Macaé .....	18
Figura 3.5: Mapa de isoeitas das médias totais anuais.....	21
Figura 3.6: Mapa litológico da região Norte-Fluminense.....	23
Figura 3.7: Mapa Geomorfológico da região Norte-Fluminense.....	26
Figura 3.8: Mapa Pedológico da região Norte-Fluminense.....	28
Figura 5.1: Imagem de satélite apresentando exemplos das classes utilizadas na classificação .....	42
Figura 5.2: Exemplo de segmentação da imagem; A) composição das bandas sem segmentação; B) imagem segmentada 10/ 10; C) imagem segmentada 10/ 15; e D) imagem segmentada 15/ 10.....	43
Figura 5.3: mapa vetorial resultante de uma imagem classificada.....	44
Figura 5.4: mapa de localização da estação pluviométrica, das feições geomorfológicas analisadas e do perfil transversal ao canal do rio Macaé.....	45
Figura 5.5: Processo de incisão vertical diagnosticado depois da retificação da década de 1970 .....	46
Figura 5.6: Ilhas fluviais do canal do rio Macaé.....	46
Figura 5.7: Feições fluviais do canal do rio Macaé.....	47
Figura 5.8 – Técnica de elaboração de perfil transversal ao canal do rio Macaé.....	48
Figura 6.1: Mapa Hipsométrico da Sub-bacia Alto-Médio Macaé.....	51
Figura 6.2: Mapa de Declividade da Sub-bacia Alto-Médio Macaé.....	52
Figura 6.3: Perfil longitudinal do rio Macaé.....	54
Figura 6.4: Sub-bacias de 4ª ordem inseridas na Sub-bacia Alto-Médio Macaé.....	56
Figura 6.5: Mapa de cobertura da terra da sub-bacia Alto-Médio Macaé no ano 2000.....	60

Figura 6.6: Mapa de cobertura da terra da Sub-bacia Alto-Médio Macaé no ano 2005 .....	61
Figura 6.7: Perfis Transversais do canal do rio Macaé .....	71
Figura 6.8: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2000 .....	77
Figura 6.9: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2003 .....	78
Figura 6.10: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2004 .....	79
Figura 6.11: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2005 .....	80
Figura 6.12: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2006 .....	81
Figura 6.13: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2010 .....	82
Figura 6.14: Mapeamento da evolução temporal das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé nos anos 2000, 2003 e 2004 .....	83
Figura 6.15: Mapeamento da evolução temporal das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé nos anos 2005, 2006 e 2010 .....	84
Figura 6.16: Mapa de evolução temporal das feições geomorfológicas da confluência do rio Macaé com o rio Sana .....	85

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 3.1 – Evolução temporal da população de Lumiar.....	15
Tabela 3.2 – Evolução temporal da população de São Pedro da Serra.....	16
Tabela 3.3 – Evolução temporal da população do Sana.....	16
Tabela 6.1: Classes de declividade da Sub-bacia Alto-Médio Macaé e seus respectivos percentuais.....	50
Tabela 6.2: Dados morfométricos das sub-bacias de quarta ordem.....	55
Tabela 6.3: Áreas e percentuais das classes de cobertura da terra encontradas em 2000.....	59
Tabela 6.4: Áreas e percentuais das classes de cobertura da terra encontradas em 2005.....	59
Tabela 6.5: Áreas e percentuais das classes de cobertura da terra encontradas em 2000 e 2005 e as respectivas transformações em áreas e percentuais.....	59

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 – Evolução temporal da população de Lumiar .....	15
Gráfico 3.2 – Evolução temporal da população de São Pedro da Serra .....	16
Gráfico 3.3 – Evolução temporal da população do Sana .....	16
Gráfico 6.1: Total pluviométrico mensal entre Janeiro/1968 e Dezembro/1979 da Estação Galdinópolis .....	62
Gráfico 6.2: Total pluviométrico diário entre Janeiro/1968 e Dezembro/1979 da Estação Galdinópolis .....	63
Gráfico 6.3: Total pluviométrico mensal entre Janeiro/1980 e Dezembro/1989 da Estação Galdinópolis .....	64
Gráfico 6.4: Total pluviométrico diário entre Janeiro/1980 e Dezembro/1989 da Estação Galdinópolis .....	65
Gráfico 6.5: Total pluviométrico mensal entre Janeiro/1990 e Dezembro/1999 da Estação Galdinópolis .....	66
Gráfico 6.6: Total pluviométrico diário entre Janeiro/1990 e Dezembro/199 da Estação Galdinópolis .....	67
Gráfico 6.7: Total pluviométrico mensal entre Janeiro/200 e Dezembro/2009 da Estação Galdinópolis .....	68
Gráfico 6.8: Total pluviométrico diário entre Janeiro/2000 e Dezembro/2009 da Estação Galdinópolis .....	69
Gráficos 6.9 a 6.12: Gráficos percentuais do grau de arredondamento dos sedimentos coletados no canal do rio Macaé .....	72
Gráfico 6.13: Gráficos percentuais do grau de arredondamento dos sedimentos coletados no canal do rio Macaé .....	73

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Objetivo .....	6
2.1. Objetivo Geral .....	6
2.2. Objetivos Específicos .....	6
3. Área de Estudo .....	8
3.1. Histórico de Ocupação.....	8
3.1.1. As Áreas de Baixada.....	8
3.1.2. A Parte Serrana.....	11
3.2. Caracterização Física.....	19
3.2.1. Caracterização Climática.....	19
3.2.2. Caracterização Geológica.....	22
3.2.3. Caracterização Geomorfológica.....	25
3.2.4. Caracterização Pedológica.....	27
4. Embasamento Teórico .....	29
4.1. Bacia Hidrográfica como unidade sistêmica de análise ambiental.....	29
4.2. Sensitividade do Sistema Fluvial.....	32
4.3. Agentes e Mecanismos da Dinâmica Fluvial .....	33
4.3.1. Agentes:.....	34
4.3.1.1. Precipitação .....	34
4.3.1.2. Cobertura Florestal .....	35
4.3.1.3. Influência Antrópica.....	36
4.3.2. Mecanismos:.....	37
4.3.2.1. Escoamento superficial, erosão em lençol e erosão de solos .....	37
4.3.2.2. Dinâmica fluvial .....	38
5. Materiais e Métodos .....	40
5.1. Dados Morfométricos .....	40
5.2. Análise Temporal da Dinâmica de Cobertura da Terra.....	41
5.2. Levantamento Histórico das Variações Pluviométricas .....	44
5.3. Análise dos Parâmetros Geomorfológicos e Hidrossedimentológicos.....	45
6. Resultados.....	49
6.1. Dados Morfométricos .....	49
6.2. Mapeamentos de Cobertura da Terra.....	57
6.3. Dados Pluviométricos.....	62
6.4. Perfis Transversais.....	70
6.5. Evolução Temporal das Feições Geomorfológicas .....	74
7. Conclusões.....	86
8. Bibliografia.....	88

## 1. Introdução

A partir da segunda metade do século XX a população, que majoritariamente se encontrava em áreas rurais, passou a migrar para as cidades, aumentando assim a pressão sobre os recursos naturais. Se por um lado o crescimento das cidades aumentava a demanda por recursos naturais, por outro lado a produtividade do campo deveria crescer paralelamente para atender ao abastecimento destes centros. Foi assim que inúmeros desequilíbrios ambientais começaram a tomar forma e afetar a população como um todo: enchentes assolavam as cidades que muitas vezes cresciam em áreas de risco, a fertilidade natural dos solos começou a diminuir com a maior exploração, os recursos hídricos não eram suficientes demandando transposições, etc.

Em paralelo a isto, surge, neste mesmo período, uma crescente preocupação com a questão ambiental. A exaustão de alguns recursos naturais, como solos improdutivos e carência de água, começou a preocupar a sociedade como um todo e a ciência passa a buscar soluções para os problemas existentes e para que o desenvolvimento ocorresse de forma menos impactante. Entender o funcionamento e a dinâmica do sistema ambiental passa, então, a ser o foco das pesquisas, que se baseavam no modelo sistêmico, sob uma visão reducionista e a busca pelo entendimento das partes do sistema. Atualmente sabe-se que a complexidade do sistema ambiental não pode deixar de lado a interferência antrópica e a visão do todo (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Entender as inter-relações entre as partes dos sistemas, seus elementos ou subsistemas é, atualmente, um dos maiores desafios das ciências em geral. Cada especialidade utiliza-se de um indicador para obter o status do conjunto como um todo. E na ciência geográfica o elemento água ganha destaque, seja pela sua importância social, no que tange o abastecimento da população e suas necessidades, seja pela sua importância econômica, nas mais variadas utilizações dentro dos processos de produção, ou até mesmo a sua importância física, como principal agente modelador da superfície terrestre nas regiões tropicais (GUERRA e MARÇAL, 2006).

Nas últimas décadas, a discussão acerca da questão ambiental suscitou o desenvolvimento de novas metodologias teórico-conceituais que pudessem nortear o planejamento e a gestão de vários problemas ambientais que estão em curso em nossa sociedade. Recentemente, o aumento da demanda pelos recursos hídricos, foi acompanhado

pelo crescimento do número de trabalhos científicos que utilizam a bacia hidrográfica como unidade espacial para análise e planejamento ambiental (BOTELHO e SILVA, 2004).

A escassez de água preocupa diversos setores da ciência e da sociedade que, baseados em modelos estatísticos apoiados no molde do desenvolvimento atual, apontam para uma redução na sua disponibilidade já durante o século XXI. Preservar era uma palavra muito utilizada no final do século XX, porém, atualmente, entende-se que só a prevenção ou a defesa das reservas existentes não é suficiente. Surge então a utilização do termo reabilitação, que compreende além da recuperação, a retomada de um status de funcionamento eficiente ecologicamente e geomorfologicamente (SILVA, 2010).

A bacia hidrográfica vem sendo apontada como o melhor recorte espacial para se compreender a dinâmica dos processos que envolvem o elemento água e para a gestão dos recursos hídricos (GUERRA e MARÇAL, 2006; MARÇAL, 2009). Sabe-se que a disponibilidade hídrica de uma bacia de drenagem está relacionada à diversos componentes de seu sistema, entre eles suas características geológicas, como litologia e presença de falhas; características pedológicas, como profundidade e condutividade dos solos; características geomorfológicas, como forma, declividade, orientação das vertentes; características climáticas, como o ritmo de chuva; características ecológicas, como a as espécies presentes, e as características sócio-culturais, através das práticas desenvolvidas nas bacias (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; OWENS, 2005). Esta última é a que apresenta uma dinâmica mais veloz e capaz de interferir de forma irreversível. Sendo assim, elucidar como vêm acontecendo as transformações dentro deste recorte é fundamental para compreensão dos processos geomorfológicos atuantes.

O desenvolvimento de ambientes fluviais são resultados de diversos mecanismos desencadeados pelas ações do clima sobre o substrato rochoso e solos, subsidiando os processos de erosão e sedimentação, que por sua vez, podem refletir na produção de sedimentos em quantidade variável, ao longo do tempo e espaço, e que normalmente se acumulam em diferentes partes do sistema de drenagem, principalmente no baixo curso dos rios. Dentre os processos que envolvem as ações do clima e dinamizam o ciclo hidrológico em regiões da bacia hidrográfica, o escoamento superficial, controlado pela condição pluviométrica, pedológica e cobertura vegetal da região em questão, apresenta-se como o mais importante na construção de tais ambientes.

Nesta perspectiva, entender a dinâmica dos diferentes comportamentos dos subsistemas existentes no âmbito das bacias de drenagem, identificando os processos

responsáveis pelo seu desenvolvimento, pode levar-nos a entender como vem ocorrendo o reajustamento do sistema de drenagem, servindo tal estudo como subsídio para um planejamento ambiental.

O presente trabalho pretende entender de que forma as diferentes coberturas da terra e suas modificações podem influenciar na proteção dos solos e conseqüente remobilização de sedimentos para os canais fluviais. Paralelo a isto busca-se elaborar uma caracterização histórica da pluviometria, e a partir do entendimento desta como a entrada de energia no sistema e elucidar a sua influência na produção sedimentar. Por fim, sabendo da importância das feições fluviais como indicadores geomorfológicos do estado de equilíbrio do sistema “bacia hidrográfica” pretende-se utilizá-las para determinar de que forma as inter-relações entre a cobertura da terra e a pluviosidade vem nas últimas décadas alterando a dinâmica fluvial. Escolheu-se como área de estudo a bacia do rio Macaé pela necessidade de se elucidar as alterações que esta vem sofrendo em seu sistema fluvial.

A bacia do rio Macaé, uma das maiores do Estado do Rio de Janeiro, está localizada no litoral norte do Estado e drena uma área de cerca de 1765 km<sup>2</sup>. Suas nascentes, localizadas na vertente oceânica da Serra do Mar, dissecam as escarpas florestadas de Nova Friburgo. Seu médio curso, onde os vales são mais abertos, a cobertura florestal começa a ficar escassa dando lugar aos pastos, o relevo toma forma mais suave e os vales deixam o confinamento à montante. Já o baixo curso, predominantemente no município que dá nome ao rio, encontra-se uma extensa planície aluvial onde predomina a atividade agropecuária. Após percorrer 136km o rio Macaé encontra o Oceano Atlântico em meio à área urbana desta cidade. O principal acesso para a bacia do rio Macaé é a rodovia BR 101 que a atravessa no sentido Sudoeste-Nordeste. As rodovias RJ 142, RJ106, RJ 162 e RJ168 cruzam a área e servem como eixos secundários para o transito na região.

Considerando que seus canais fluviais localizados no baixo curso foram retificados na década de 1970 pelo extinto DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamento), esta bacia permanece ainda em um constante processo na busca pelo seu equilíbrio dinâmico em função de uma considerável alteração em seu nível de base (ASSUMPCÃO, 2009). Sendo assim, optou-se por avaliar apenas uma parte dela, a sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) para elaboração desta análise e conseqüente comparação do comportamento geomorfológico de seus componentes. A sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) compreende desde os divisores da bacia no município de Nova Friburgo, incluindo a sub-bacia do rio Bonito, até a confluência com o rio Sana e a sua área de captação (figura 1.1).

A partir da perspectiva holística e integrada, se reconhece que os ambientes fluviais ocupam importante função dentro do contexto da paisagem. Com isso, busca-se elaborar quadro de referência que conste informações históricas e atuais acerca do comportamento da dinâmica fluvial podendo com isso estabelecer planos para a reabilitação para o sistema de drenagem da bacia do rio Macaé.

Ressalta-se que o presente projeto se justifica pela carência de estudos nesta bacia que abordem atualmente análises que integrem informações relacionadas à interação entre o sistema das encostas, através de informações acerca da produção de sedimentos por processos de erosão advindos das atividades de ocupação da terra com os sistemas fluviais que recebem e transportam de diferentes maneiras e diferentes ajustes estes sedimentos. Destaca-se que a grande maioria das pesquisas desenvolvidas pelo grupo de geomorfologia fluvial do LAGESOLOS/UFRJ na bacia do rio Macaé aborda informações acerca da dinâmica de evolução dos canais fluviais. Nesse sentido, o presente estudo visa justamente relacionar parâmetros e processos existentes ente os dois componentes (sub-sistemas).



Figura 1.1 – Mapa de Localização da sub-bacia Alto-Médio Macaé

## **2. Objetivo**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo central desta dissertação consiste em caracterizar e analisar os agentes e mecanismos desencadeadores da dinâmica hidrossedimentar no sistema de drenagem da sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM). Considera-se para tal que a pluviosidade funciona como a entrada de energia no sistema e é o principal agente de remobilização de sedimentos, enquanto que a cobertura da terra se apresenta como o principal elemento de proteção do solo. As taxas de erosão e sedimentação do canal principal, entendido aqui como a principal via de transporte de sedimentos, servirá como indicador da dinâmica geomorfológica do sistema. Sabendo a impossibilidade de realização desta análise para a bacia do rio Macaé como um todo, optou-se por realizá-la em sua sub-bacia.

De acordo com a literatura contemporânea as formas derivadas dos processos de erosão e sedimentação apresentam-nos indicativos do status do complexo sistema geomorfológico em constante interação com as ações antrópicas. Neste sentido, serão utilizadas as feições fluviais, neste caso as ilhas e barras fluviais, para determinar o equilíbrio dinâmico dos elementos da sub-bacia Alto-Médio Macaé.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar análise temporal da dinâmica de cobertura da terra da sub-bacia Alto-Médio Macaé abrangendo os anos de 2000 e 2005 e avaliar suas características e transformações predominantes;
- Realizar levantamento histórico sobre as variações pluviométricas da área em questão, entre os anos 1968 e 2009, relacionando as informações com o potencial erosivo das chuvas e produção de sedimentos;
- Identificar e espacializar mudanças históricas na forma em planta e em perfil do canal do rio Macaé, através do monitoramento de morfofeições e,
- Integrar estes resultados com dados hidrossedimentológicos, contribuindo com estudos já realizados para avaliação de impactos ambientais e na gestão dos recursos hídricos

oferecendo informações relevantes ao Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Macaé e aos órgãos governamentais.

## **3. Área de Estudo**

### **3.1. Histórico de Ocupação**

Apesar de a bacia hidrográfica ser utilizada como recorte espacial para as pesquisas e gestão dos recursos hídricos, ela nos traz dificuldades já que em diversos casos há conflito entre seus limites e as fronteiras geopolíticas. Neste sentido, os dados socioeconômicos desta área, normalmente, acompanham os recortes distritais e municipais ao invés de seguir os limites dos divisores de drenagem e suas sub-bacias.

Entende-se que a bacia do rio Macaé teve sua evolução sócio-econômica diferenciada ao longo dos séculos conforme sua diversidade geomorfológica, portanto para apresentar uma caracterização histórica desta área escolheu-se dividi-la em duas partes: a parte serrana e as áreas de baixada.

Embora este trabalho avalie a dinâmica geomorfológica referente à apenas uma parte foi realizada uma pesquisa histórica que abrangeu toda a bacia do rio Macaé. Desta forma, a título de esclarecimento e para auxiliar em futuras pesquisas, optou-se por apresentar todo o resultado deste levantamento. Entretanto pode-se afirmar que a sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) apresenta as características históricas predominantemente da parte serrana.

Para a parte serrana, entender-se-á toda área à montante da confluência com o rio Sana, onde o relevo mais expressivo é o de montanhas e escarpas. Nesta região a sub-bacia do rio Macaé está inserida no município de Nova Friburgo enquanto que a sub-bacia do rio Sana compreende o quinto distrito do município de Macaé. As áreas de baixada entender-se-ão a planície de inundação do rio Macaé e suas colinas, que correspondem à cerca de 80% deste município (figura 1.1).

#### **3.1.1. As Áreas de Baixada**

A história de ocupação de Macaé está em grande parte associada à de Campos dos Goytacases, município vizinho localizado ao norte. Silva e Carvalho (2004) afirmam que desde o período colonial toda região do atual Norte e Noroeste Fluminense consistia em uma única divisão territorial que compreendia a Sesmaria Campista. Apesar de ter sido fundado o povoamento de Macaé em 1615, antes mesmo de Campos dos Goytacases, somente em 1846 a cidade se emancipou.

Historiadores apontam que o início da colonização do litoral brasileiro foi dificultado principalmente pela grande extensão territorial e a reduzida população portuguesa. Sendo assim, não se formaram povoados naquela região no século XVI, apenas existia uma base de escoamento da extração do pau-brasil na localidade que hoje está a cidade de Cabo Frio, cerca de 60Km a sul de Macaé. O pau-brasil, matéria prima para tintura de tecidos, era encontrado nos bosques próximos à costa, tornando o interior do continente uma região inexplorada e, portanto, “sem dono” (SILVA e CARVALHO, 2004).

Com o declínio do pau-brasil e a ascensão do açúcar, extraído da cana, no mercado internacional a região norte fluminense recebeu seu primeiro impulso econômico. Inicialmente, aquelas terras foram arrendadas para comerciantes em lotes de pequeno e médio porte que introduziram principalmente o gado, tanto de corte como de leite, e a cultura de subsistência para abastecer a cidade do Rio de Janeiro. Porém, no século XVIII inúmeros engenhos de açúcar e fazendas com grandes extensões territoriais voltadas para a monocultura da cana já eram encontrados naquela região (SILVA e CARVALHO, 2004).

Devido ao fato de Macaé só ter se emancipado em 1846, os dados históricos e sócio-econômicos encontrados remetem à grande Campos dos Goytacases deste período. Neste sentido, as informações obtidas devem ser cuidadosamente confirmadas para que não haja equívocos e confusões entre localidades. Assim, apesar dos autores apontarem para grandes propriedades monocultoras de cana, relatos históricos afirmam que a planície do rio Macaé até meados do século XX era um grande alagado, dificultando qualquer forma de agricultura. Este fato só veio a mudar no final da década de 1960, quando o extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) iniciou a retificação de grande parte dos canais fluviais da grande baixada de Macaé e de todo litoral norte fluminense (ASSUMPTÃO, 2009). Entrevistas com moradores durante trabalho de campo apontam que até os dias atuais é difícil a produção de qualquer gênero alimentício, principalmente, em função dos solos ácidos e lixiviados resultado das oscilações do lençol freático, que não dificilmente ainda aflora.

A cultura cafeeira teve também alguma influência naquela região. Localizada no sopé da Serra do Mar, a região norte fluminense aderiu ao pulso econômico brasileiro no século XIX, porém como o café ali produzido era considerado de baixa qualidade, sendo superado pela produção paulista, a safra fluminense era destinada ao mercado nacional que tinha um valor

inferior ao do seu concorrente, não recebendo, portanto tanto investimento (SILVA e CARVALHO, 2004).

Por volta de 1970, com a enorme desvalorização do petróleo e a quebra das bolsas internacionais, o governo nacional volta ao incentivo à produção canavieira, agora destinada à produção de álcool (PróAlcool). Neste momento, os engenhos não eram mais encontrados na região norte fluminense, mas sim grandes usinas transformadoras. Mas, foi apenas uma década depois que Macaé recebeu seu principal impulso econômico, e conseqüentemente populacional. A bacia petrolífera de Campos havia sido descoberta em 1974, e a Petrobrás, que detinha o monopólio da exploração e produção de petróleo e gás, selecionou a cidade de Macaé para instalar a sua base de infra-estrutura produtiva de suporte.

A lei nº 9.478/97 que flexibilizou o monopólio das atividades de exploração e produção de petróleo e gás, além de incrementar o orçamento deste município com os *royalties*, ainda trouxe uma nova onda de migração para a região. Inúmeras empresas, principalmente de suporte às atividades de exploração e produção, abriram filiais em Macaé e com isso surgiu um novo impulso de industrialização e significativo aumento na construção civil na área. Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP), a bacia de Campos foi responsável em 2002 pela produção de 82,56% do petróleo brasileiro e 44,35% de gás natural. Com isso, observou a partir da década de 1990 um crescimento no contingente populacional deste município que muitas vezes se instalaram em áreas de APP (Área de Proteção Permanente) como margens de rios e topos de morros.

Além disto, com o crescimento das atividades *off-shore* a necessidade de água “doce” também cresceu. Atualmente, a água do rio Macaé é utilizada, além de abastecer a cidade localizada na sua foz, para resfriamento das caldeiras da Usina Termelétrica do Norte-Fluminense (ETE), para o abastecimento da cidade vizinha Rio das Ostras e para produção da indústria petrolífera. Com isto, podemos observar que além das interferências indiretas neste sistema fluvial, como a mudança no uso e cobertura da terra da bacia, as interferências diretas começaram na década de 1970 e ainda não cessaram.

Durante as atividades de campo pôde-se observar que em grande parte da planície aluvial do rio Macaé são desenvolvidas atividades agrícolas e de pecuária, restando poucos fragmentos florestais (figura 3.1).



Figura 3.1: As extensas áreas de pastagem na planície do rio Macaé (Fonte: Arquivo Pessoal/ 2011)

### 3.1.2. A Parte Serrana

A história da parte serrana da bacia é bem diferente da história das áreas de baixada, a começar pela data do início da colonização. Conforme foi citado, a chegada nas partes planas começou ainda no século XVI, já a região montanhosa do norte fluminense só foi colonizada em meados do século XIX. O relevo íngreme e acidentado da Serra do mar, a densa floresta tropical úmida e a grande quantidade de canais fluviais dificultavam o acesso às áreas serranas. Associado a isto, naquela região ainda tinha a presença de tribos indígenas hostis expulsas pelos primeiros colonos e quilombos de escravos fugitivos (MAYER, 2003).

Durante o século XIX o ouro, ainda que em decadência, era ao lado do café os principais produtos de exportação brasileiros. Grande parte da população se encontrava em Minas Gerais, diminuindo ainda mais a densidade das vastas áreas do Rio de Janeiro. A produção aurífera escoava por dois caminhos: o caminho real que chegava aos portos de Angra dos Reis e o caminho por Juiz de Fora e Petrópolis que chegava à Baía de Guanabara, porém inúmeras outras rotas eram abertas para não se pagar as taxas da coroa portuguesa. Era importante para o controle da cora a colonização das serras fluminenses.

Assim, em 1818 foi formulado o projeto de imigração e colonização suíça para as terras que hoje correspondem ao município de Nova Friburgo. O projeto tem sido considerado um marco inaugural na política de colonização estrangeira no Brasil por seus elementos contratuais que previam, entre outras coisas, a quantidade de famílias de imigrantes de religião católica,

distribuição de lotes de terras fundamentada na pequena propriedade, diferente das sesmarias, isenção de impostos, pagamento da viagem e subsídios monetários aos colonos (MAYER, 2003).

Diferentemente das colônias de exploração voltadas para exportação de gêneros tropicais e dependentes de investimentos estrangeiros, quando a economia se baseava nas grandes propriedades e na escravidão, essa era tida como uma colônia de ocupação, onde o trabalhador livre teria comprometimento com a propriedade da terra, estimulando o progresso e a cidadania. Era uma colônia que incentivava a produção rural, mas que tinha condições de se auto-sustentar através da integração campo-cidade a nível local. Para isso o contrato previa, além de agricultores, a vinda de “*bastantes artistas dos mais essenciais como carpinteiro, marceneiros, ferradores, curtidores, alfaiates, tecelões, oleiros e oficiais para fazer telhas*”. O Estado comprometia-se com dois párocos, um cirurgião médico, um ferrador e um veterinário (NICOULIN, 1995).

Chegaram à Nova Friburgo, mais especificamente à Fazenda do Morro Queimado, apenas 1631 emigrantes, dos 2006 que partiram da Europa. Muitos morreram no caminho e outros abandonaram os planos ao chegarem ao Rio de Janeiro. A fixação desta população se deu em três eixos ao longo dos vales de rios adjacentes à área, são eles: rio Grande, rio Cônego e o rio Macaé.

Em 1820, 200 lotes de terra foram sorteados entre os colonos, porém um ano depois os colonos já observavam as dificuldades de produção naquela área. Inúmeros lotes se mostraram improdutivos pela localização nas íngremes escarpas da região ou por apresentarem solos rasos e pedregosos. Os colonos também reclamaram da densa floresta que cobria as terras, o que dificultava o plantio pela necessidade de retirada das árvores com raízes profundas (figura 3.2). Sendo assim, ao contrário do que esperava o governo imperial, os colonos utilizaram técnicas tradicionais do Brasil como a queimada na derrubada da vegetação e tratamento dos solos.



Figura 3.2: Relevo montanhoso e escarpado com cobertura florestal (Fonte: Arquivo Pessoal/ 2011)

Percebendo a dificuldade de produzir naquelas glebas concedidas pelo governo, inúmeros colonos migraram, alguns para o Rio de Janeiro, outros para as terras da bacia do Macaé, povoando, pelos relatos, desde as nascentes do rio Macaé até a sub-bacia do rio D´antas. Ali encontraram terras com maior aptidão agrícola e melhores condições de plantio. Mais de dez colonos podiam ser encontrados nessas terras, e em 1822 alguns deles formaram uma vila que dão o nome de São Pedro - hoje conhecida como São Pedro da Serra - em homenagem ao imperador. Em 1824, ocorre a migração de colonos alemães para a área de Nova Friburgo, porém não se pode apontar com exatidão se algum desses se fixou neste eixo leste da colonização (MAYER, 2003).

Sendo assim, a primeira atividade desenvolvida na área serrana da bacia foi a agricultura de subsistência com pouca comercialização dos excedentes, baseada nas primitivas técnicas de produção que utilizava o desmatamento e as queimadas como ferramentas. Ali produzia-se milho, batata, feijão, banana, cana-de-açúcar e outros alimentos. Alguns colonos chegaram a produzir café, utilizando mão-de-obra escrava e tiveram sucesso na sua empreitada (NICOULIN, 1995).

Nova Friburgo manteve características rurais até o início do século XX, quando em 1910 dois alemães, Julio Arp e Maximillian Falck, criam indústrias do ramo têxtil no município. A partir de então a cidade é ligada por trem à capital e inicia-se o fornecimento de energia (ARAÚJO, 2003). Apesar de fazerem parte deste município, as terras montanhosas da bacia do

rio Macaé não são privilegiadas com a chegada da modernidade, permanecendo ainda nos tempos agrícolas por algumas décadas.

Por muito tempo as vilas localizadas nas terras altas de Macaé (Lumiar, Mury, e São Pedro da Serra) só eram alcançadas por caminhos. Ali produzia-se cana-de-açúcar de onde tiravam o melaço, rapadura e cachaça, dos porcos aproveitava-se o couro, a gordura e a carne, da mandioca faziam farinha e outros alimentos. O que não era produzido ali como sal, querosene, trigo, tecido e algumas ferramentas eram comercializados junto aos tropeiros e os excedentes comercializados em Nova Friburgo (NATAL, 2003).

Natal (2003) afirma que a condição de isolamento perdurou até 1960, já que no final da década de 1950, por iniciativa dos moradores, foi aberta a estrada que liga Mury a Lumiar, refazendo o antigo caminho das tropas. Este fato possibilitou a chegada do primeiro transporte coletivo que chegou a Lumiar no início dos anos 60 em uma única viagem diária.

Entre as décadas de 1960 e 1980, mesmo com o processo de modernização da agricultura em curso no país e a abertura da estrada, os agricultores de São Pedro da Serra continuaram a cultura de subsistência em condições precárias de produção: pequenos lotes acidentados, instrumentos de trabalho tradicionais e estrutura de comercialização sujeita a intermediários locais. Nesta época, a maioria da população era composta por agricultores que viviam com pouco contato com o meio urbano, o transporte continuava precário e não tinha eletricidade. O asfaltamento ocorreu somente em 1982 e a eletricidade chegou em 1985. Porém, já no meio da década de 1970 podia-se perceber a presença de turistas “*hippies*” nesta localidade, eram adeptos da contracultura fugindo dos centros urbanos (NATAL, 2003).

Se em 1982 havia apenas uma pousada em São Pedro da Serra, no ano de 2000 havia quase 20 pousadas e 28 estabelecimentos entre bares e restaurantes. Atualmente, além dos estabelecimentos comerciais como pousadas, hotéis-fazendas e *spas* é crescente o número de residências de veraneio. Durante os trabalhos de campo observaram-se nos finais-de-semana a presença de turistas, em sua maioria vinda da capital, e em menor número os da Costa do Sol, em busca das belezas naturais da área (figura 3.3), do ritmo de vida calmo e do frio, visto que no inverno a temperatura chega atingir menos de 10°C.

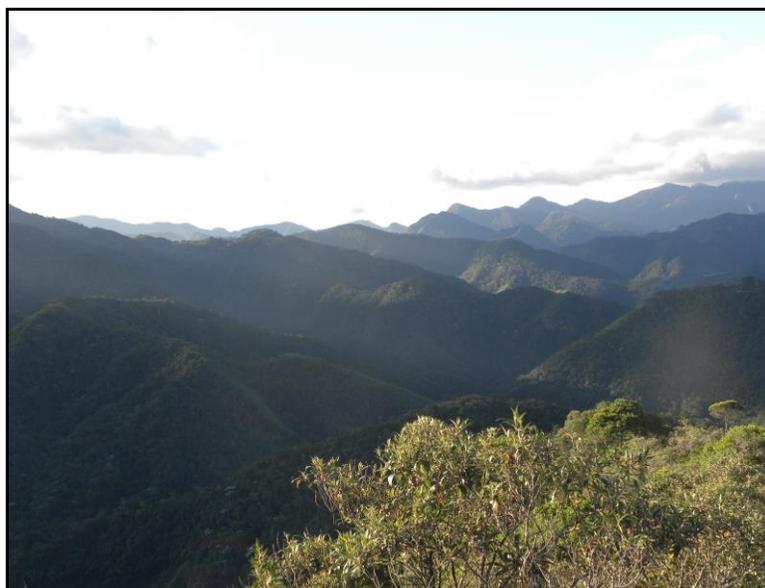


Figura 3.3: Mirantes e cachoeiras atraem turistas à região serrana de Macaé (Fonte: Arquivo Pessoal/ 2011)

As tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 apresentam os dados populacionais de dois distritos de Nova Friburgo: Lumiar e São Pedro da Serra e de um distrito de Macaé: Sana, entre os anos 1991, 2000 e 2010.

Lumiar - Nova Friburgo - RJ						
População residente (Pessoas)						
Ano	1991	%	2000	%	2010	%
<b>Total</b>	5140	100	4629	100	4720	100,00
<b>Urbana</b>	749	14,57	1098	23,72	1144	24,24
<b>Rural</b>	4391	85,43	3531	76,28	3576	75,76

Tabela 3.1 – Evolução temporal da população de Lumiar (IBGE, 2011).

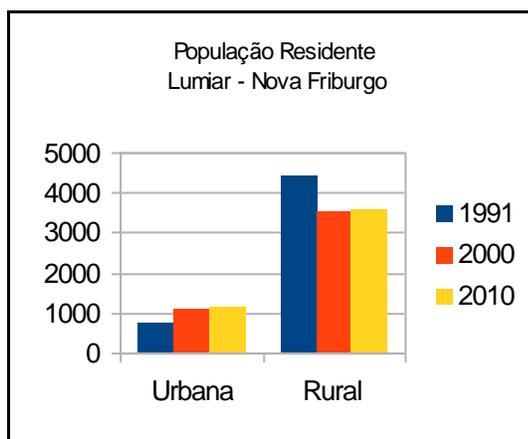


Gráfico 3.1 – Evolução temporal da população de Lumiar (IBGE, 2011).

São Pedro da Serra - Nova Friburgo – RJ						
População residente (Pessoas)						
Ano	1991	%	2000	%	2010	%
<b>Total</b>	2521	100	2713	100	3158	100
<b>Urbana</b>	617	24,47	891	32,84	826	26,16
<b>Rural</b>	1904	75,53	1822	67,16	2332	73,84

Tabela 3.2 – Evolução temporal da população de São Pedro da Serra (IBGE, 2011).

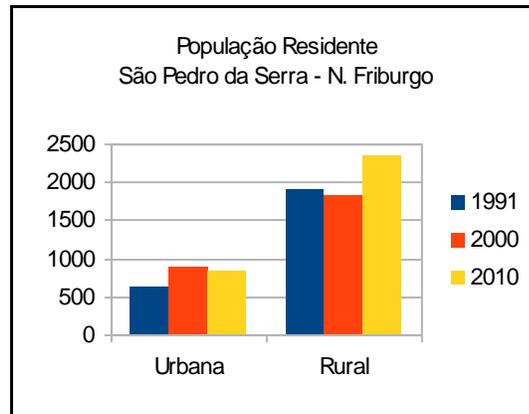


Gráfico 3.2 – Evolução temporal da população de São Pedro da Serra (IBGE, 2011).

Sana - Macaé - RJ						
População residente (Pessoas)						
Ano	1991	%	2000	%	2010	%
<b>Total</b>	1524	100	1184	100	1548	100
<b>Urbana</b>	225	14,76	344	29,05	1030	66,54
<b>Rural</b>	1299	85,24	840	70,95	518	33,46

Tabela 3.3 – Evolução temporal da população do Sana (IBGE, 2011).

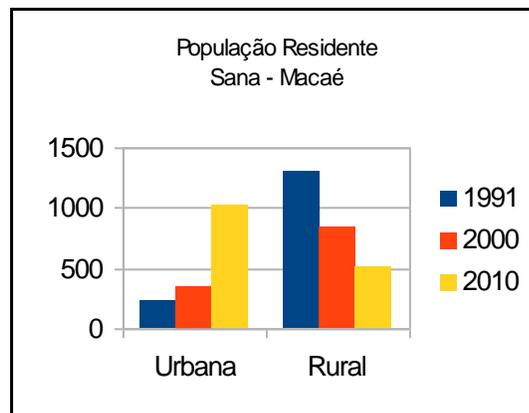


Gráfico 3.3 – Evolução temporal da população do Sana (IBGE, 2011).

Grande parte das propriedades da sub-bacia Alto-Médio Macaé, exceto as terras da sub-bacia do Sana, serve como casas de veraneio. São terrenos acidentados, escarpados e com florestas ombrófilas densas Montana e Sub-Montana (INEA, 2011). Por este e outros motivos foi

criada em 1981 uma associação ambientalista local chamada: Sociedade Macaé de Cima, em referência ao topônimo. As mobilizações desta organização fizeram com que em 1990 o município de Nova Friburgo criasse a Reserva Ecológica Macaé de Cima. Porém em 2001 o governo estadual criou a Área de Preservação Ambiental Macaé de Cima. Segundo o Plano Diretor do Município de Nova Friburgo, a APA está inserida na Área de Interesse Ambiental do Plano de Organização Territorial (POT) do Rio Macaé, onde estão duas Zonas Urbanas Controladas (ZUC): Lumiar e São Pedro da Serra. Já a sub-bacia do rio Sana, que compõe a sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM), está inserida na APA Sana criada pelo município de Macaé. Além da presença dessas duas unidades de conservação a sub-bacia Alto-Médio Macaé está inserida em parte do Parque Estadual dos Três Picos (figura 3.4).

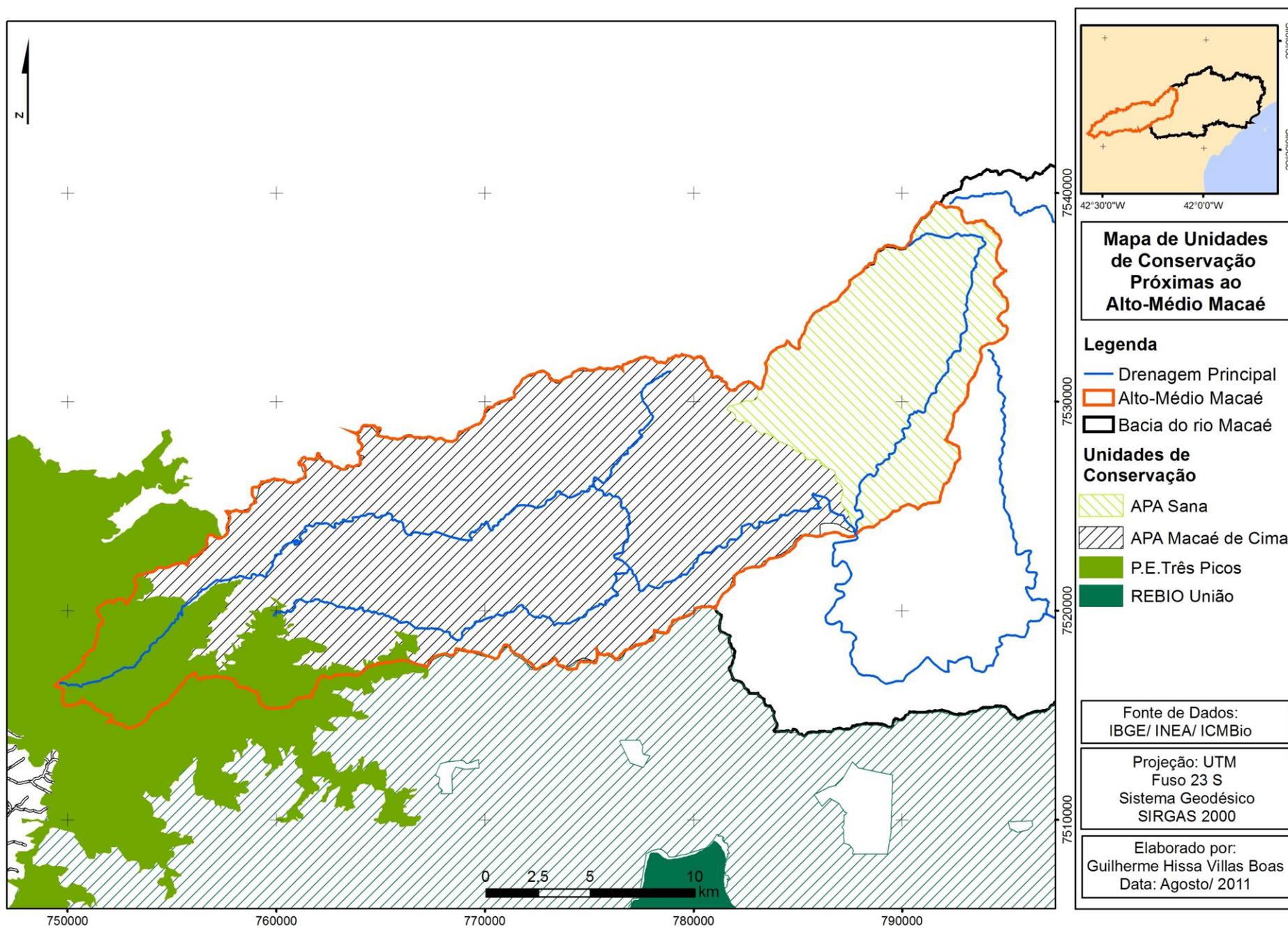


Figura 3.4: Mapa das Unidades de Conservação da sub-bacia Alto-Médio Macaé.

## 3.2. Caracterização Física

### 3.2.1. Caracterização Climática

O clima da região Sudeste do Brasil é caracterizado pelo domínio Tropical com temperaturas médias anuais acima de 18°C e duas estações bem definidas: uma chuvosa e uma seca. Duas massas de ar são mais atuantes no Estado do Rio de Janeiro: a Massa Tropical Atlântica (mTa), que origina-se no Oceano Atlântico com características quente e úmida e provoca chuvas ao se encontrar com a Serra do Mar; e a Massa Polar Atlântica (mPa), que se origina no Atlântico Sul, próximo à Patagônia, sendo fria e úmida, encontra pouca resistência nos meses de inverno causando chuvas frontais (CONTI e FURLAN, 2005).

Segundo Sant'anna Neto (2005) a dinâmica climatológica da região Sudeste apresenta duas situações distintas. No verão há o predomínio das correntes de leste, originadas pelo deslocamento dos ventos alísios, materializadas na baixa troposfera pela Massa Tropical Atlântica (mTa). Este sistema produz estabilidade do tempo e à medida que penetra no interior da região, pelo efeito adiabático, provoca elevação das temperaturas e diminuição da umidade em sua trajetória. Em função da grande rugosidade do relevo, a cada vertente a barlavento, este sistema atmosférico deixa parte da sua umidade e, ao transpô-las provoca ressecamento adiabático nas vertentes a sotavento, além de aquecimento nos vales encaixados.

Assim, ao chegar no litoral carioca a Massa Tropical Atlântica (mTa) encontra a íngreme escarpa da Serra do Mar. Ao ultrapassar este obstáculo natural, produz, nas áreas a barlavento, aumento da umidade, da nebulosidade, e mesmo das precipitações, assim como determina a queda de temperatura. Ao descer as encostas a sotavento, no Vale do Paraíba, cerca de 300 a 400 metros mais baixo, acarreta, pelo mesmo efeito adiabático, ressecamento da umidade e aquecimento da temperatura. Em resumo, a configuração do relevo e o efeito da continentalidade do sudeste brasileiro são fundamentais na determinação da diminuição da umidade e do aumento da temperatura da zona costeira, a leste, em direção ao interior, a oeste (SANT'ANNA NETO 2005).

As correntes de sul (mPa) mais frias que as anteriores, por sua vez, com a chegada do anticiclone polar atlântico provoca extensas zonas de perturbação frontal. O contato com as massas tropicais (de leste e de norte) e equatoriais (de noroeste e oeste), produz cerca de dois terços da gênese pluvial da região. Essas correntes, acrescidas da umidade do oceano, despejam

chuvas de primavera/verão, que decrescem de sul para norte, ainda que ilhas úmidas surjam em função da rugosidade do relevo.

No período de primavera/verão, o anticiclone migratório polar é responsável pelo avanço das frentes frias que atuam na região, por mecanismos de circulação superior do ar e pelo deslocamento do equador térmico para o hemisfério norte. No outono/inverno, os bloqueios das frentes tornam-se frágeis e o anticiclone polar avança para latitudes mais baixas, deixando terreno para evolução da Massa Polar Atlântica (mPa), que traz episódios de temperaturas mais frias.

Sendo assim, três fatores são responsáveis pelas características climatológicas da região Sudeste: a posição latitudinal e a proximidade com o Oceano Atlântico, a localização geográfica na rota das massas de ar e o relevo. A posição latitudinal e a proximidade com o oceano tornam esta região uma área quente e úmida, com grande processo de radiação solar e alta taxa de evaporação o que cria condições favoráveis à precipitação. A localização geográfica é caminho das massas de baixa pressão que se formam no Atlântico Sul e vão em direção às latitudes mais baixas. Já o relevo acidentado da região Sudeste é o fator que oferece resistência a essas massas e ar forçando-as a liberar a umidade acumulada (DAVIS e NAGHETTINI, 2000).

Observa-se, portanto, na figura 3.5, que a pluviometria na sub-bacia Alto-Médio Macaé tem forte influência orogênica. A região mais a montante, ou o limite oeste, onde as escarpas impedem a passagem das massas úmidas, tem uma pluviosidade maior. Destaca-se também que a pluviometria decresce de sul para norte, sendo influenciada também pelas montanhas localizadas nos divisores sul da bacia.

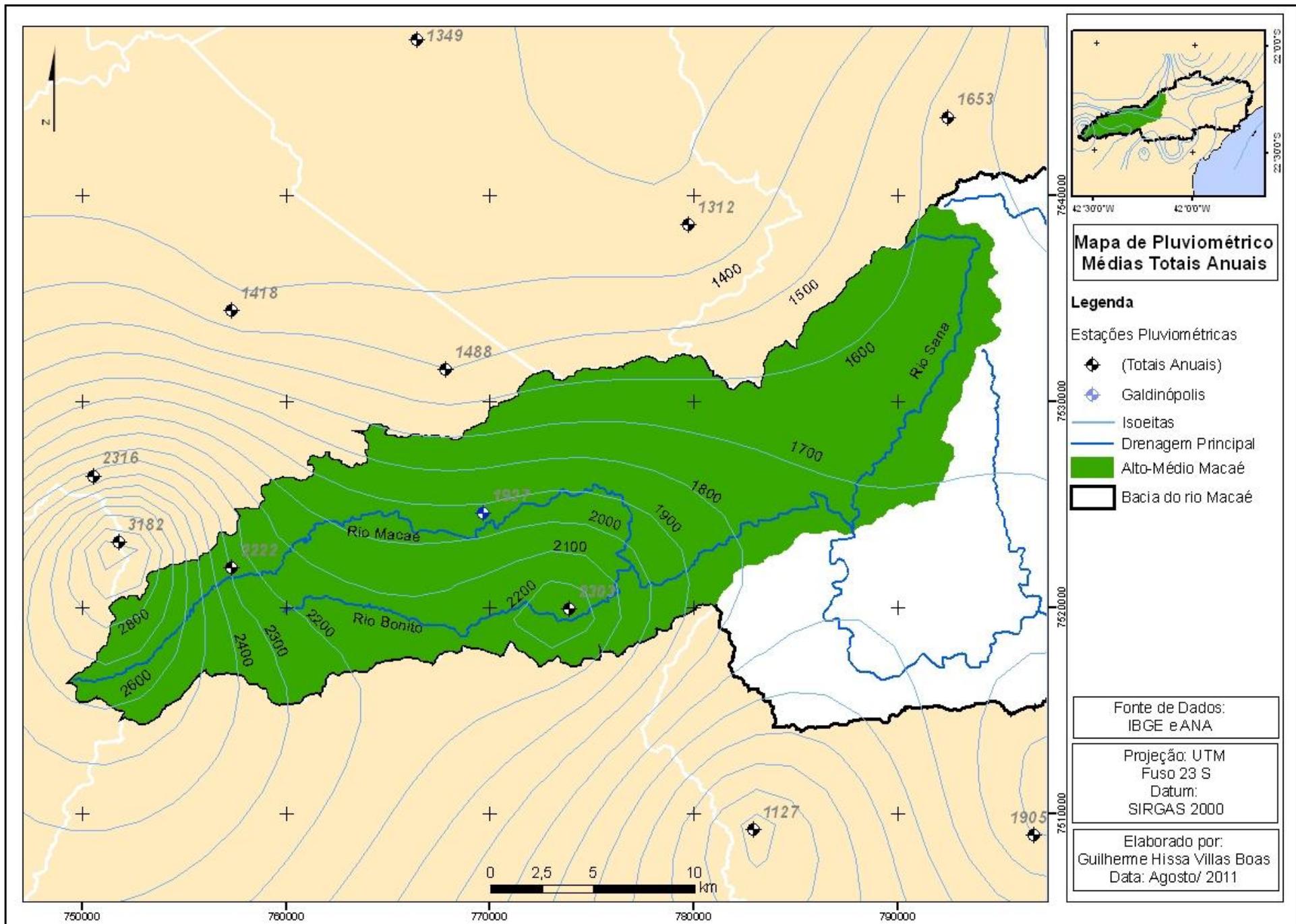


Figura 3.5: Mapa de isoeitas das médias totais anuais

### 3.2.2. Caracterização Geológica

A bacia do rio Macaé está inserida no contexto geológico da serra do Mar que segundo vários autores apresenta sua evolução vinculada à última configuração continental associada à separação dos continentes sul-americano e africano (ASMUS e FERRARI, 1978).

É consenso hoje que diversas oscilações do nível do mar ocorreram durante o Quaternário, influenciando não só o nível de base geral dos processos de erosão e sedimentação, como a disponibilidade hídrica e sua influência nesses processos. Sendo assim, acredita-se que as formas originais dessas escarpas desenvolveram-se mais a leste que sua posição atual (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

Hasui (1990) corrobora com esta tese acrescentando que estes cinturões orogênicos foram no passado bacias geossinclinais estreitas e alongadas que margeavam a borda das plataformas. Com a movimentação tectônica, o cinturão do Atlântico passou, por pelo menos, três fases de dobramento acompanhados de metamorfismo e intrusões alternados por longas fases erosivas. A litologia desta macro-feição é muito complexa, predominando rochas metamórficas de tipos e idades distintas e intrusivas. Os falhamentos, com orientação NE-SW são as principais características estruturais destas serras no Estado do Rio de Janeiro.

O mapa de Silva e Cunha (2001) (figura 3.6) apresenta a sub-bacia Alto-Médio Macaé sobreposta basicamente às rochas metamórficas de idades cambrianas. De um modo geral são rochas resistentes à erosão, o que retarda os processos pedogenéticos, formando um relevo escarpado e inúmeras presenças de afloramentos rochosos. A litologia encontrada nesta sub-bacia é composta pelas seguintes unidades:

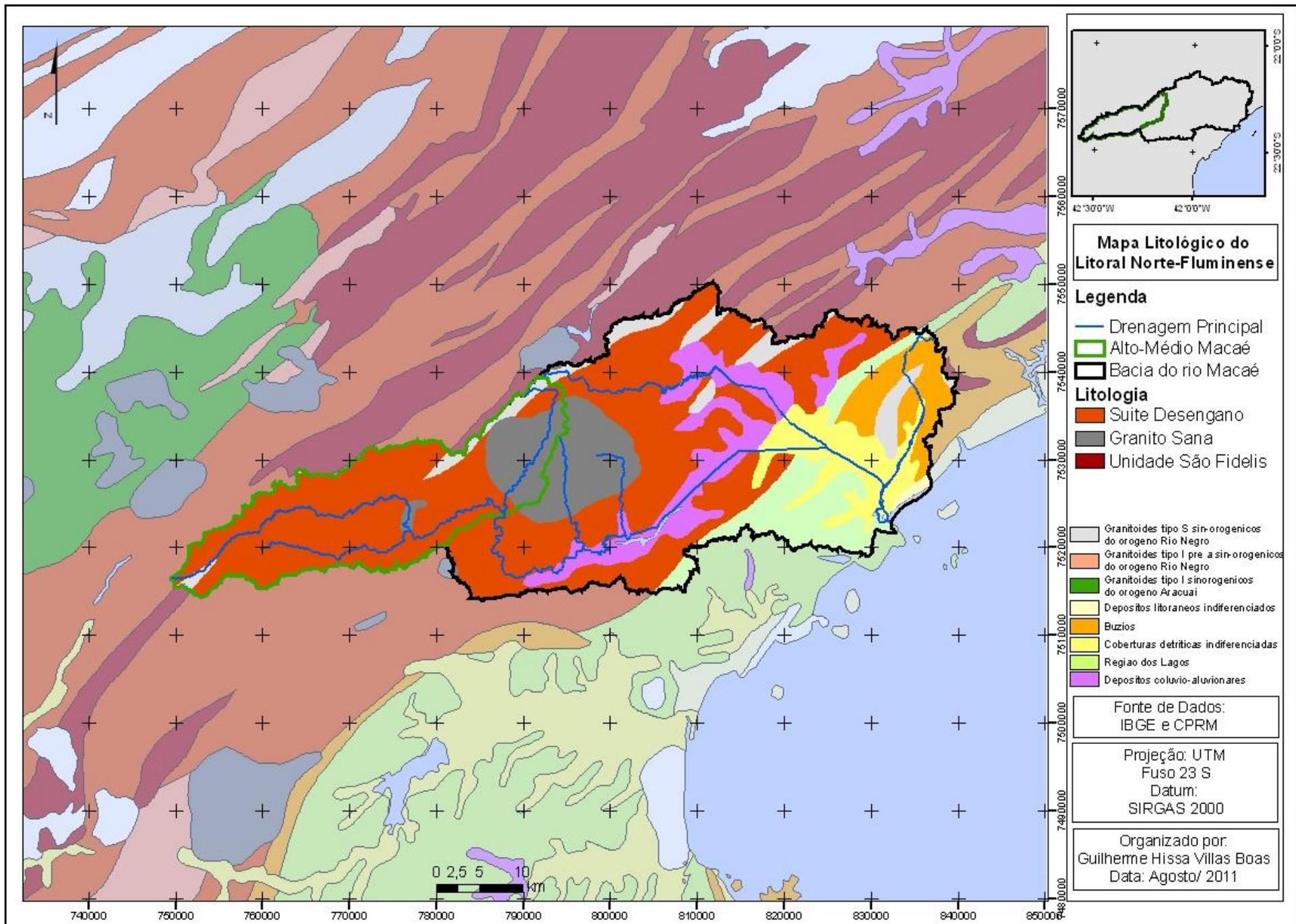


Figura 3.6: Mapa litológico da região Norte-Fluminense – em destaque a sub-bacia Alto-Médio Macaé

- Suite Desengano (NP3a\_gamma\_2S) (Idade: Neoproterozóico/Cambriano): São plútons sintectônicos associados a um regime transpressivo dextral, de direção NE-SW apresentando discreta a forte foliação milonítica sobreposta à textura magmática. Não existem trabalhos de detalhe nessa unidade. São granitos à granada e biotita ou a duas micas, com uma variada gama de texturas, predominando variedades grossas a porfíricas. São granitóides relativamente heterogêneos devido à presença de numerosos restitos de paragnaisses.

- Granito Sana (C\_cortado\_a\_gamma\_4) (Idade: Neoproterozóico/Cambriano): Os granitos em pauta apresentam, em geral, formas circulares discordantes das estruturas regionais NE-SW das encaixantes, com as quais mostram contatos abruptos e térmicos. As estruturas internas são homogêneas, isotrópicas, ou podem ser anisotrópicas, quando apresentam estruturas de fluxo magmático ou deformações em suas bordas. Veios e diques aplíticos são constantes, o mesmo acontecendo com bolsões pegmatíticos de formato irregular.

Embora a maioria desses plútons esteja representada por (hornblenda)-biotita granitos s.s., também ocorre uma ampla variedade de rochas com composições variadas: sienogranítica, monzogranítica (adamelítica), granodiorítica, tonalítica e quartzo diorítica. Allanita, titanita, apatita, opacos e zircão são minerais acessórios comuns. Nos termos mais graníticos, além do plagioclásio oligoclásico, amicroclina.

- Unidade São Fidelis (NPps) (Idade: Meso/Neoproterozóica): constituída essencialmente por metassedimentos detríticos, pelito- grauvaqueanos: granada-biotita-sillimanita), gnaisses quartzo-feldspáticos (metagrauvas), com ocorrência generalizada de bolsões e veios de leucossomas graníticos derivados de fusão parcial *in situ* e injeções. Os paragnaisses quartzo-feldspáticos são compostos predominantemente de quartzo, feldspato (plagioclásio) e biotita, com percentagens variadas de granada.

### 3.2.3. Caracterização Geomorfológica

O mapa a seguir apresenta um recorte da sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) da caracterização geomorfológica desenvolvida para o Estado do Rio de Janeiro com vistas a compor o Zoneamento Econômico-Ecológico (INEA, 2010). Este mapa tem como base as imagens SRTM retificadas pelas cartas de 1:50.000 do IBGE, assumindo portanto um padrão de exatidão cartográfica alto na escala de 1:100.000. A metodologia utilizada na elaboração deste trabalho emprega o índice de posicionamento topográfico (JENSEN, 2006).

As amplitudes de desnivelamento altimétrico empregadas nesse mapeamento foram:

- Domínio Montanhoso – desnivelamento > 300m
- Domínio Morros Elevados – desnivelamento > 300m
- Maciços Costeiros – desnivelamento > 300m
- Colinas – desnivelamento < 300m
- Planícies Fluviais – declividade < 5 graus
- Planícies Flúvio-Marinhas – declividade < 5 graus
- Cordões Arenosos
- Corpos D'água

O mapa abaixo (figura 3.7) nos mostra que a sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) pode ser dividida, basicamente, em dois contextos geomorfológicos: o domínio montanhoso, apresentando um relevo escarpado onde há o predomínio dos processos de degradação e o domínio de planícies onde predominam os processos de agração.

De acordo com este mapeamento extensas e amplas planícies preenchem os vales da Serra do Mar, localmente chamada de Serra Macaé de Cima. Com isto observamos que o rio Macaé atravessa um curto trecho de vales confinados alcançando logo um ambiente mais estável onde possibilita a dissipação de energia e a formação de depósitos fluviais. Da mesma forma, este rio passa por níveis de base locais responsáveis por controlar a dinâmica erosiva à sua montante e formar áreas de acúmulo de sedimentos. Estes níveis de base são expostos no capítulo dos resultados.

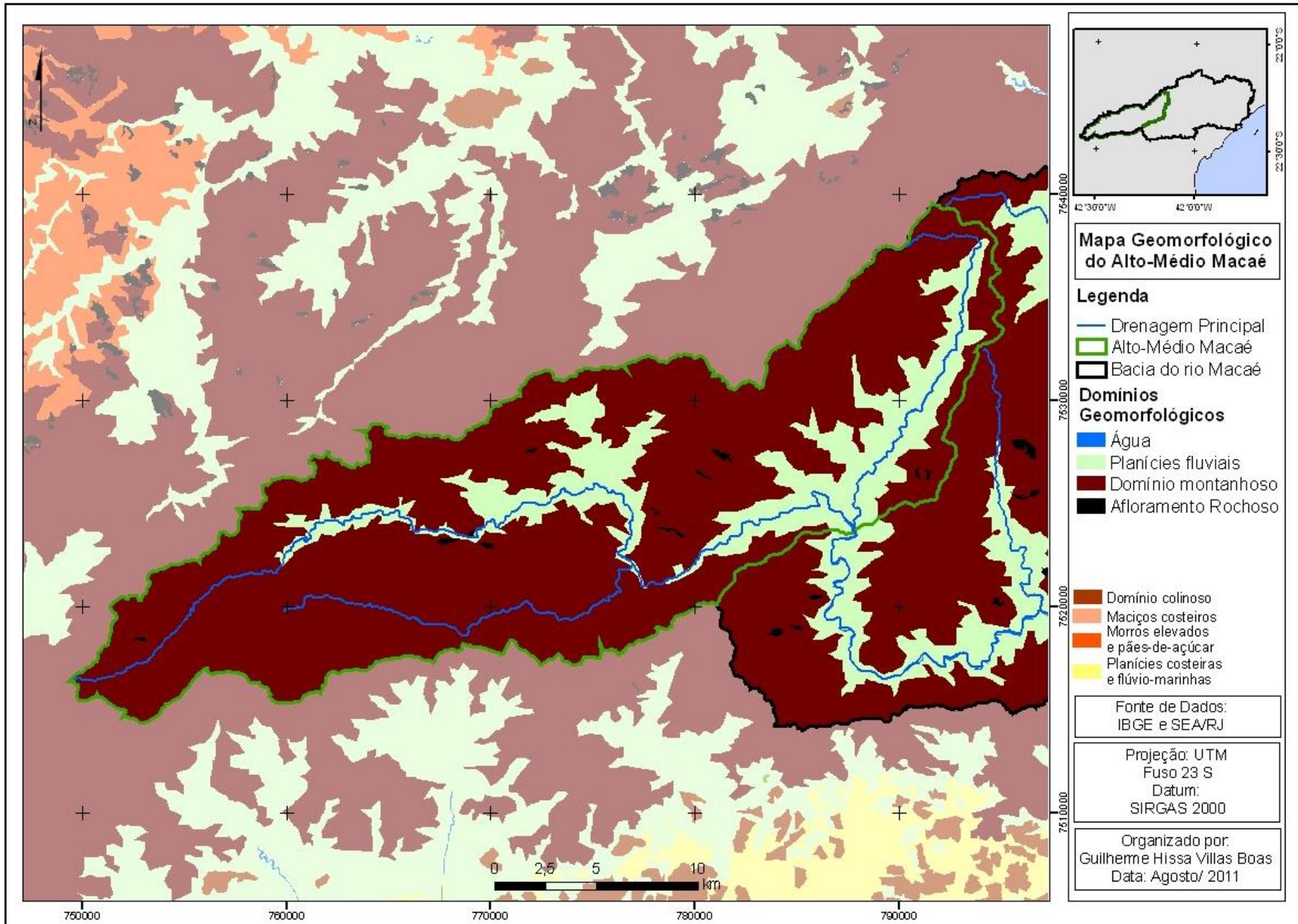


Figura 3.7: Mapa Geomorfológico da região Norte-Fluminense – em destaque a sub-bacia Alto-Médio Macaé

### 3.2.4. Caracterização Pedológica

A caracterização pedológica tem relevância no que tange as energias intrínsecas à sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) quanto as suas propensões à disponibilizar sedimentos para a calha fluvial. Pôde-se observar que a geomorfologia desta sub-bacia apresenta grandes áreas escarpadas, o que favorece a produção sedimentar, enquanto que as características pedológicas irão subsidiar informações relevantes à percolação das águas e à capacidade do solos de manter-se estável.

Segundo Mendonça-Santos et all. (2007) (figura 3.8) as classes encontradas foram:

- **Neossolos:** Na sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) são encontrados os Neossolos Litólicos Distróficos que, são solos rasos e muito rasos, com A moderado assentados diretamente sobre a rocha. A pequena profundidade efetiva do solo limita o desenvolvimento radicular da maioria das plantas cultivadas. O horizonte A é, normalmente, de textura média ou argilosa, porém é freqüente a ocorrência de pedregosidade e de rochosidade nestes solos. São muito susceptíveis à erosão em virtude da espessura reduzida e do relevo onde se localizam;
- **Cambissolos:** São encontrados na sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) os Cambissolos Háplicos Tb Distróficos que, são caracterizados como solos pouco evoluídos, de características bastante variáveis, mas em geral pouco profundos ou rasos e com teores de silte relativamente elevados. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A-Bi-C, com modesta diferenciação entre eles. Devido a seu desenvolvimento ainda incipiente, as características desses solos são em geral bastante influenciadas pelo material de origem;
- **Latossolos:** O Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico é o solo representado na sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM). Os Latossolos compreendem solos profundos e muito profundos com horizonte B latossólico imediatamente abaixo do horizonte A, neste caso, moderado. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. São predominantemente distróficos e de texturas média e argilosa. Geralmente apresentam-se em relevo movimento e são solos com baixa produtividade.

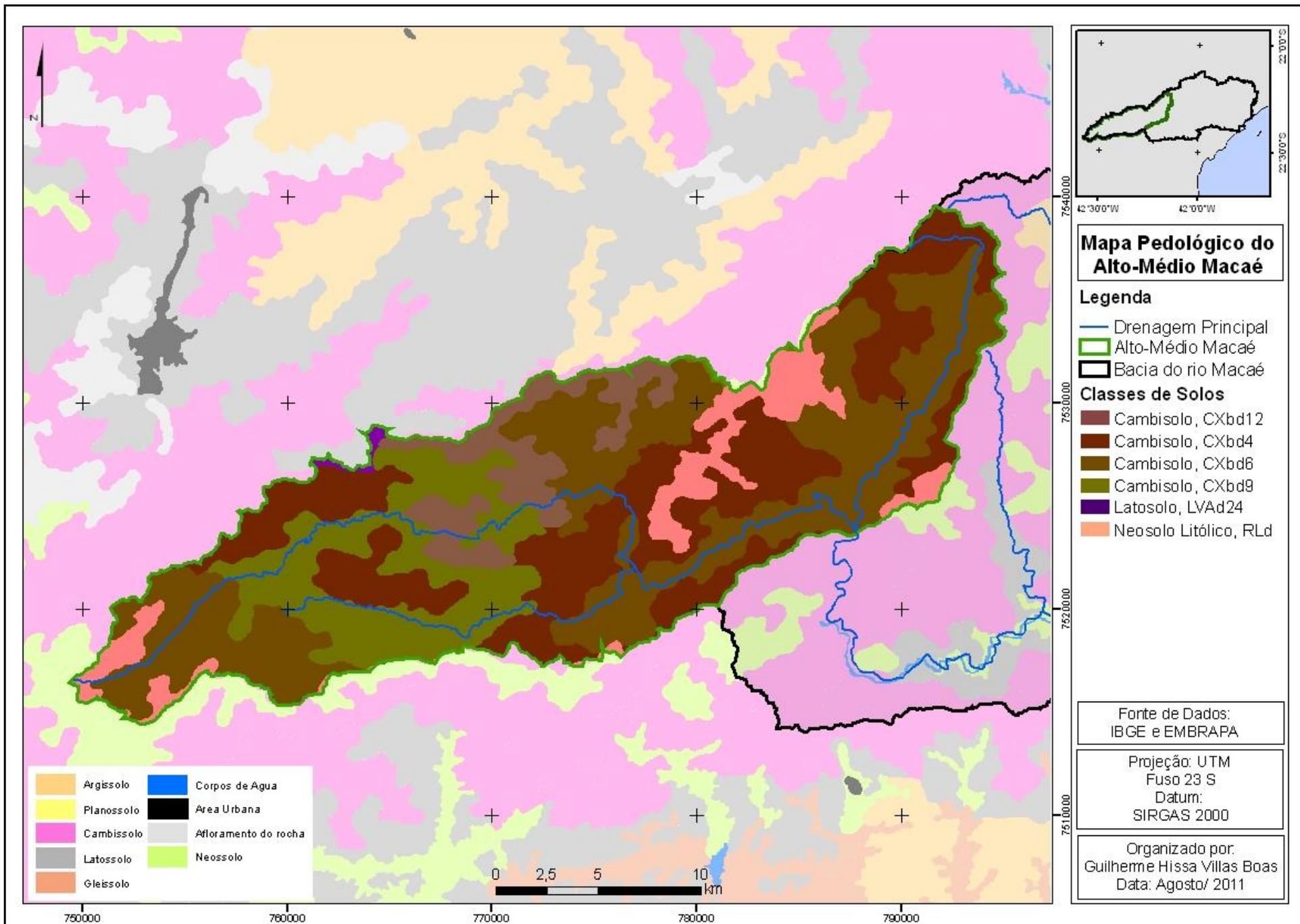


Figura 3.8: Mapa Pedológico da região Norte-Fluminense – em destaque a sub-bacia Alto-Médio Macaé

## 4. Embasamento Teórico

### 4.1. Bacia Hidrográfica como unidade sistêmica de análise ambiental

O conceito de sistema, como conjunto estruturado de elementos e suas interações, é antigo e difuso no conhecimento científico e filosófico. No entanto, a preocupação em se realizar uma abordagem sistêmica conceitual e analítica rigorosa surgiu na Biologia Teorética na década de 1930, com os estudos de R. Defay e de Ludwig von Bertalanffy (CHRISTOFOLETTI, 1990; 1999). Segundo Christofoletti (1999), os sistemas correspondem a um “conjunto de elementos que se relacionam com certo grau de organização, procurando atingir um objetivo ou uma finalidade”. Bertalanffy (1968) afirma que um sistema aberto é definido como “*um sistema com troca de matéria com seu ambiente, apresenta entrada e saída de energia e constrói e destrói seus componentes materiais*”.

É neste sentido que o conceito de Geossistema, introduzido por Sotchava (1977), no âmbito da Geografia tornou-se uma ferramenta importante de análise. Segundo este autor, o geossistema é o resultado da combinação dos fatores geomorfológicos, climáticos, hidrológicos, biológicos, sociais, econômicos e culturais na associação entre organização do espaço e evolução da natureza (BOLÓS, 1992). Para o referido autor, “*a natureza passa a ser compreendida não apenas pelos seus componentes, mas através das conexões entre eles, não devendo restringir-se à morfologia da paisagem e às suas subdivisões, mas de preferência estudar sua dinâmica, sua estrutura funcional e suas conexões*” (SOTCHAVA, 1977).

Mattos e Peres Filho (2004) afirmam que as bacias hidrográficas podem ser consideradas como sistemas geomorfológicos complexos por apresentarem as seguintes peculiaridades: três conceitos (o todo, as partes e a interrelação) e as características de:

- não linearidade e realimentação: os elementos interagem de forma não linear criando laços de realimentação positiva e negativa;

- o todo é diferente da soma de suas partes: a interrelação dos elementos cria novas características que inexistiam se considerados separados, ou seja, o todo é superior à soma de suas partes;

- aninhamento hierárquico: existências de sistemas de nível hierárquico menor, ou subsistemas;

- atratores e repulsores: a representação gráfica de um sistema pode ser realizada através de um gráfico de x-dimensional, onde cada eixo corresponde a uma variável do sistema;

- sistemas abertos e afastados do equilíbrio termodinâmico: há troca contínua de energia e matéria com o ambiente externo e manutenção de baixo nível de entropia interna ao longo de sua evolução; e

- auto-organização: a organização que garante o funcionamento do sistema como um todo integrado e a disposição e interrelação dos elementos.

Estes autores reforçam as idéias de estabilidade (capacidade de se manter organizado), resistência (capacidade de permanecer imune às perturbações) e resiliência (capacidade de retornar ao estado original após uma perturbação), relacionando essas três noções à influência da escala temporal. Diferentes entradas de energia ou mudanças na organização dos sistemas forçam-no à busca pela estabilidade relativa e dinâmica, ainda que esta busca seja constante.

Bennett e Chorley (1978) acrescentam que os sistemas ambientais apresentam características que os tornam mais complexos como a distribuição diferenciada no espaço e no tempo tanto da entrada de energia como de seus elementos constituintes. Apontam ainda que a utilização de sistemas como abordagem metodológica não passa de uma tentativa de simplificação ou detalhamento da realidade enquanto que cada sistema, localizado diferentemente no espaço, tem suas características únicas. Já Kondolf e Piégay (2003) apontam que em virtude da complexidade dos sistemas fluviais não se pode modificá-los a fim de criar uma situação controlada sem que se modifique sua natureza.

Para Bennett e Chorley (1978) nas bacias hidrográficas encontram-se três atributos de controles que dificultam sua modelagem ou representação: a não estacionaridade, isto é, o sistema de drenagem é dinâmico não havendo condição estática; a incerteza, relacionada à sua natureza estocástica; e a não-linearidade. O primeiro dos três refere-se à sua natureza inerente como sub-sistemas em cascata contendo estoques defasados de energia, que podem variar significativamente no tempo. O segundo atributo provem das incertezas em termos de magnitude e tempo/espaço (localização de área/ frequência temporal), atributos das entradas e saídas de energia e condições dos sub-sistemas (estocagem de energia). O terceiro atributo refere-se à

transferência de energia e massa ser complexa e não-linear. A não-linearidade implica que alguns ou todos os parâmetros matemáticos empregados na descrição da operação dos sistemas não são idênticos em todas as magnitudes e regimes. Isto quer dizer que sistemas complexos não podem ser precisamente descritos por equações algébricas e, portanto, jamais serão 100% previsíveis.

Kondolf e Piégay (2003) afirmam que com o desenvolvimento de novas tecnologias e maiores bancos de dados é possível recair sobre novos questionamentos em diferentes níveis espaciais. Isto se torna possível por considerar sua complexidade e trabalhar com uma convergência de evidências ao invés de aguardar por provas conclusivas. Neste contexto, acrescentam os autores, está um claro desafio de mesclar abordagens holísticas e reducionistas, onde a primeira integra o objeto de estudo no seu contexto temporal e espacial, enquanto a segunda destaca as leis físicas que controlam as formas e processos.

Fernandes (2009) considera fundamental a utilização de geotecnologias nas análises ambientais pela operacionalidade de análises complexas e que envolvem um grande número de variáveis. Entretanto, o mesmo autor aponta que esta ferramenta deve ser usada com cautela a partir do momento que se utiliza de modelos conceituais dos elementos e sub-sistemas da natureza, que refletem abstrações da realidade.

A bacia hidrográfica vista como sistema envolve uma enorme série de interpretações. Cada uma detém um foco principal e, portanto, ao dividi-la em sub-sistemas incorpora esta interpretação em sua análise. Fonstad e Marcus (2010) apontam a dificuldade de pesquisar as formas e processos fluviais em função da bacia hidrográfica apresentar características multi-escalares de análise. Os autores afirmam que diversos diagnósticos podem ser elaborados em diferentes escalas, porém os modelos conceituais ainda apresentam dificuldade em congregá-los. Além disso, as escalas e locais onde um modelo conceitual funcionam bem podem não ser eficientes em outros casos.

Para alguns autores a bacia hidrográfica enquanto sistema é vista por dois elementos: o sistema morfológico dos canais: o sistema de canais, planícies de inundação, vertentes, deltas, etc. E outro elemento como um sistema em cascata: fluxo d'água e sedimentos (CHORLEY e KENNEDY, 1971; KONDOLF e PIÉGAY, 2003). Este foco valoriza a inter-relação canal/ vertente, onde a água é vista como o principal

meio de transformação interna e entrada de energia. Outro ponto de vista divide a bacia hidrográfica em seus sub-sistemas naturais. Esta perspectiva entende que os elementos abióticos não são imóveis e, pelo contrário, são dinâmicos. Os solos, a cobertura vegetal, o relevo, a geologia, entre outros, são vistos como subsistemas que podem ainda ser sub-divididos, agindo e reagindo simultaneamente e diferentemente no espaço de forma conjunta (COOKE e DOORNKAMP, 1974; SELBY, 1985; SUMMERFIELD, 1991). Nenhuma das duas perspectivas são conflitantes, são apenas prismas diferentes de um mesmo objeto, assim como diversas outras formas de ver a bacia hidrográfica.

## 4.2. Sensitividade do Sistema Fluvial

Burt (2001) destaca a importância da sensibilidade da paisagem em relação às possíveis alterações. O autor remete à Brunsden e Thornes (1979) afirmando que a sensibilidade da paisagem *“é a probabilidade que uma mudança nos controles do sistema tem de produzir uma resposta sensível, reconhecível e persistente”*. Acrescenta, ainda, que *“a estabilidade da paisagem é função da distribuição espacial e temporal do balanço entre forças de resistência e perturbação”*.

Diversos autores demonstram a necessidade de avaliação da sensibilidade dos sistemas para determinação de estratégias de preservação e reabilitação de áreas degradadas (KNOX, 2001; THOMAS, 2001). Ecologistas frequentemente utilizam este conceito para definir a suscetibilidade de um sistema à distúrbios, sendo assim, este uso implica, simplesmente, em fragilidade. Sensibilidade pode ser empregada de modo mais amplo, entretanto, depende do sistema em que está sendo utilizada e de seus componentes Allison e Thomas (1993).

Brunsdén (2001) aponta que *“uma paisagem apresenta uma grande variação espacial na capacidade de mudar as formas do relevo e isso é conhecido como sensibilidade às mudanças. Por outro lado, as paisagens são capazes de resistir e absorver os impulsos das mudanças e esta seria uma outra forma de sensibilidade”*. Acrescenta ainda, que a sensibilidade da paisagem pode variar no tempo e espaço.

Allison e Thomas (1993) acrescentam que a sensibilidade da paisagem pode se manifestar em inúmeras formas, porém o cerne do problema está em entender as respostas às influências externas. Os fatores externos são variados e incluem influências naturais e antrópicas.

Knox (2001) ainda aponta que a sensibilidade do sistema envolve três principais focos:

- determinar qual o tamanho da mudança em um ambiente é necessário para afetar os processos que resultam na modificação de uma paisagem pré-existente.
- que partes da paisagem são mais e menos afetadas, e
- quanto tempo é necessário para a transição das características da paisagem voltar ao estado de equilíbrio dinâmico.

Downs e Gregory (1993) afirmam que o conceito de sensibilidade vem sendo utilizado em diversas ciências, porém poucos trabalhos em geomorfologia fluvial abordam esta temática. Apesar disso, os autores citam que alguns trabalhos, já na década de 1960, ao utilizarem os conceitos de equilíbrio estático e equilíbrio dinâmico, estavam se baseando nos mesmos princípios de reajuste às mudanças.

Para Brierley *et all* (2002) o entendimento da sensibilidade de uma bacia hidrográfica envolve a avaliação de seu comportamento e seu funcionamento, isto é, os processos atuantes, as respostas ou mudanças históricas e as trajetórias futuras. Para tal é necessária uma avaliação multi-escalar que abarca, pelo menos, quatro análises espaciais:

- Escala da bacia: genérica e aberta onde novas variáveis podem ser incorporadas;
- Escala da paisagem: compreensão do caráter e comportamento nos diferentes ambientes da bacia. Busca entender como a bacia reage às mudanças;
- Escala do canal: encontrar segmentos com características geomorfológicas semelhantes que induzam e respondam análises das escalas maiores e menores;
- Escala das unidades geomorfológicas: análises hidrossedimentológicas que indiquem o comportamento fluvial nesses trechos homogêneos.

### **4.3. Agentes e Mecanismos da Dinâmica Fluvial**

Marques (1994) afirma que as formas ou conjunto de formas de relevo participam da composição das paisagens em diferentes escalas espaciais e temporais. Destaca também a importância de se conhecer os materiais, os processos, o tempo e os atores envolvidos na dinâmica geomorfológica. Desta forma, a ciência geomorfológica

evolui em busca de soluções para os problemas ambientais através da análise de cada um desses critérios.

Para Cook e Doornkamp (1974) o conceito fundamental de bacia hidrográfica são os vales e os canais que ela contém, que a divide e que servem para separá-la das bacias adjacentes. Chorley (1969) afirma que a organização da rede de canais é importante porque reflete a eficiência das principais linhas de energia e fluxo de matéria através do sistema. Outros autores acrescentam que as características planas das bacias nos apresentam indicadores de controles sobre as mesmas (STRAHLER, 1951; SHREVE, 1966).

Os agentes e mecanismos da dinâmica fluvial são aqueles responsáveis, também, pelo ciclo hidrológico. Dissertar a respeito dos atores e processos atuantes na bacia hidrográfica pode parecer redundante em função da vasta bibliografia que há a respeito. Entretanto, elucidar o ponto de vista empregado em cada um desses elementos nesta pesquisa se faz necessário.

#### **4.3.1. Agentes:**

##### **4.3.1.1. Precipitação**

A precipitação na concepção sistêmica da bacia hidrográfica é vista como a entrada de energia. Isto ocorre pois não é um elemento intrínseco ao sistema e a água em conjunto com outros fatores, impulsionados pela força da gravidade, são os principais agentes modeladores da paisagem nas latitudes tropicais (CHORLEY, 1969). Guerra (1994) considera que a erosividade é a habilidade da chuva em causar erosão, enquanto que a erodibilidade é uma característica dos solos. Segundo o autor, a erosividade pode ser medida considerando os seguintes fatores: total de chuva, a intensidade, o momento e a energia cinética. Apesar de haver uma correlação entre o aumento da erosão com o aumento do total de chuva, o principal parâmetro a ser considerado deveria ser a intensidade. A intensidade de chuva é capaz oferecer uma série de outros indicadores que podem ser relacionados diretamente com a erosividade, como o tamanho das gotas de chuva e a energia cinética de cada intensidade.

Além disso, a intensidade da chuva merece destaque no que se refere à infiltração de água no solo. Eventos de grandes intensidades saturam as camadas superficiais dos solos e a taxa de infiltração diminui rapidamente dando início ao processo de escoamento superficial e erosão laminar. Já eventos de baixa intensidade,

porém de longa duração são responsáveis por encharcar o solo e quando as forças de cisalhamento vencem as forças de coesão, grandes volumes de solo, e até mesmo blocos de rocha, alcançam as partes côncavas do relevo na forma de movimentos de massa ou corrida de fluxo (SELBY, 1985).

Considerando que as estações pluviométricas localizadas na área de estudo desta pesquisa apresentam os valores de chuva num intervalo diário, serão considerados os valores de intensidade de chuva relativos ao período de 24 horas, apesar de estudos apontarem que 30 minutos de chuvas intensas são capazes mobilizar grandes quantidades de sedimento (GUERRA, 1994; NANCO *et all*, 2008).

#### **4.3.1.2. Cobertura Florestal**

A cobertura florestal é o principal agente de interceptação da água precipitada na forma de chuva nas regiões tropicais. Entretanto, esta interceptação depende de diversos fatores incluindo a duração, quantidade, intensidade e frequência de chuva; velocidade do vento; e o tipo de vegetação (florestas ombrófilas tem maior capacidade de interceptação quando comparadas à florestas decíduas). Esta diferença inerente às florestas refere-se à densidade da folhagem, espaçamento das árvores e diferença de espécies. Durante um único evento de chuva precedido de razoável tempo seco ocorre uma grande perda inicial causada pela evaporação, conforme as superfícies das plantas vão ficando úmidas a perda diminui sendo controlada pelo teor de água no ar. As perdas por evaporação em um único evento podem variar de 10 a 20% em plantações até 5 a 50% em florestas (SELBY, 1985). Desta forma, a vegetação tem fundamental importância no “fornecimento” de água para o solo, diminuição do escoamento superficial e conseqüente abastecimento do lençol freático. Porém, quando as superfícies vegetais estão saturadas a interceptação prevalece apenas na forma de retenção da energia cinética acumulada nas gotas de chuva (GUERRA, 1994).

Swiechowicz (2002) em sua pesquisa quantifica o transporte de sedimentos em suspensão em diferentes canais de uma bacia hidrográfica de 22,4km<sup>2</sup> na Polônia onde havia diferentes coberturas vegetais, dentre elas agricultura e floresta, comparando-os com as formas das encostas. Foi observado que o transporte de materiais é diretamente influenciado pela morfologia das encostas e a cobertura da terra na área pesquisada. As áreas que apresentam maiores aportes de sedimentos são aquelas onde há atividades agrícolas e principalmente onde há a prática de arar as camadas superficiais do solo. Por

outro lado, os resultados apontam que extensas planícies aluviais são capazes de reter os materiais transportados, sendo depositados nos sopés das encostas e nas áreas planas.

Garcia-Ruiz (2010) quantificou a perda de solos na Espanha e encontrou valores sete vezes maiores em áreas com rotatividade de culturas quando comparadas às regiões com cobertura florestal. O mesmo autor aponta que a concentração de sedimento em suspensão aumentou 2,3 vezes enquanto que a concentração de elementos químicos solúveis aumentou 8,7 vezes nos canais fluviais em áreas de irrigação de agricultura em Bardenas, no sudeste da Espanha.

#### **4.3.1.3. Influência Antrópica**

Pesquisas apontam que a retirada ou mudança na cobertura florestal de uma bacia hidrográfica promove um significativo impacto na produção sedimentar e conseqüentemente na dinâmica fluvial. Brooks *et all* (2003) compararam duas bacias contíguas no sudeste da Austrália sendo que uma permanecia praticamente intocada enquanto a segunda sofria alterações desde a chegada da colonização inglesa, cerca de 150 anos. O rio *Cann* que sofreu alterações apresentou um aumento de 360% em sua profundidade, 240% na declividade do canal, 700% na capacidade do rio e mais de 150 vezes na irrigação lateral do canal. Os autores associam tais mudanças à retirada da mata ciliar e remoção da floresta considerando que durante este processo diversos limites dos agentes de resistência foram ultrapassados.

Cooke e Doornkamp (1974) diferenciam duas formas erosão de solos: a erosão geológica e a erosão acelerada. A primeira refere-se ao retrabalhamento do solo ou ao transporte de sedimentos em condições intocadas, enquanto que a segunda está associada à taxas mais altas de erosão de solos devido a alterações no sistema natural. Assim, o processo de mobilização de sedimentos, no sentido encosta-calha, é um processo que ocorre naturalmente. Contudo a intervenção humana tende a acelerar este processo em função da mudança da cobertura vegetal, entendida aqui como agente protetor dos solos, por outra cobertura, normalmente, de menor densidade conseqüentemente oferecendo menor resistência à força mobilizadora, neste caso a chuva (SELBY, 1985).

O assentamento de um centro urbano tem a capacidade de mobilizar mais sedimentos nas fases iniciais cessando ao longo do tempo em função da impermeabilização dos solos, na forma de ruas e calçadas. Por outro lado, a carga

d'água que alcança o eixo fluvial se torna maior e mais concentrada já que a tava de infiltração diminui (SUMMERFIELD, 2001).

Latocha (2009) pesquisou a influência das alterações antrópicas em uma região montanhosa no sudeste da Polônia. A autora observou que apesar da influência das atividades econômicas possuem as mesmas características e intensidade, os registros sedimentológicos apresentaram diferentes espessuras. De acordo com a pesquisa isto pode ocorrer devido às diferenças morfológicas das encostas, já que as planícies suspensas localizadas próximas às vertentes mais escarpadas tendem a servir de depósito para o pacote sedimentar. A autora cita também que características morfológicas como comprimento do vale e da encosta, gradiente da encosta e o relevo são responsáveis pelos processos deposicionais e de transferência.

### **4.3.2. Mecanismos:**

#### **4.3.2.1. escoamento superficial, erosão em lençol e erosão de solos**

Segundo Strahler (1951) a maioria dos solos são capazes de absorver a água proveniente das chuvas leves ou moderadas. Este processo é chamado de infiltração. A partir de uma quantidade de chuva, variável de acordo com cada solo, esta água satura a camada superficial e, puxada pela gravidade, começa a se movimentar em direção às partes mais baixas do terreno. Este processo é chamado de escoamento superficial, *runoff* ou fluxo Hortoniano (em homenagem a Robert Horton, cientista inglês que estudou este processo na década de 1940). A partir da movimentação desta água acumulada em micro-cavidades na superfície do solo, partículas de sedimentos, muitas desagregadas pela ação do salpicamento, começam a ser carregadas por este fluxo. Conforme a viscosidade e energia deste fluxo aumentam, sua capacidade de carregar mais sedimentos e partículas maiores cresce paralelamente (GUERRA, 1994). Começa, então, o processo de erosão dos solos.

A recorrência deste processo acaba formando caminhos preferenciais por onde a água e os sedimentos carregados passam nos eventos seguintes. Conforme ocorre a repetição deste mecanismo começa a haver uma incisão vertical deste fluxo no solo, formando ravinas e, posteriormente, voçorocas (GUERRA, 1994). São estes processos ou mecanismos que carregam sedimentos para o canal fluvial, que neste caso, serve como nível de base local para os fluxos provenientes das encostas.

Porto *et all* (2009) estudaram as respostas de duas bacias hidrográficas no sul da Itália durante um período de um ano, onde mediram a quantidade de sedimento transportado a cada evento de chuva. Os valores encontrados variaram entre 0,027 e 0,06 t/há em um evento de 12mm, em 28/01/2006; e entre 4,698 e 12,6 t/há em um evento de 160,6mm entre os dias 21 e 23/12/2006. Os autores afirmam que as diferentes coberturas da terra e, principalmente, as diferenças nas densidades das copas das árvores são as principais responsáveis pela maior proteção do solo e a produção sedimentar está inversamente relacionada a esta característica.

#### **4.3.2.2. Dinâmica fluvial**

O escoamento fluvial ocorre quando a convergência das águas superficiais e subterrâneas em caminhos côncavos do relevo aflora formando um fluxo contínuo e concentrado. Cook e Doornkamp (1974) apontam que os dois processos dominantes nos canais fluviais são a erosão e a deposição. A erosão ocorre nas paredes do canal ou em seu leito sob condições de turbulência. O aumento ou diminuição do fluxo é o responsável pela erosão ou deposição dos sedimentos. As forças de transporte de sedimentos estão relacionadas à sua eficiência em sobrepor as forças de resistência. A força de cisalhamento (*shear stress*) atuante na erosão fluvial é função do peso do fluido, do raio do canal e de sua declividade. A turbulência é gerada por um número de fatores que incluem a rugosidade do leito do canal e a velocidade do fluxo e a principal responsável pela erosão dos leitos dos canais. Na erosão das margens dos canais fluviais, diferentemente das encostas onde apenas a força gravitacional atua, observa-se também a presença de forças laterais geradas pelo fluxo de água. Já a deposição de material sedimentar ao longo do canal ocorre quando as forças de transporte perdem competência deixando para trás os sedimentos maiores e mais pesados. Conforme a força responsável pelo transporte vai perdendo energia sedimentos menores vão sendo depositados sucessivamente (SCHUMM, 1977).

Fryirs e Brierley (2001) compararam os depósitos sedimentares de diversas sub-bacias da bacia Bega no sudeste da Austrália. Observou-se que estoques aluviais são as principais fontes de sedimentos mobilizados depois da colonização ocidental, a partir de 1850, e que esses sedimentos apontam mudanças drásticas no comportamento fluvial desta bacia. Extensos volumes de sedimentos foram liberados e cerca de 70% foi eficientemente transportado para as áreas planas da bacia. Porém apenas 16% do material transportado alcançou o estuário. Os autores afirmam também que o transporte

sedimentar, a fonte de sedimento e as áreas de deposição variaram conforme cada sub-bacia. Além disso, o volume do material transportado não apresenta uma correlação direta com a área de cada sub-bacia, já que 67% do material carregado provem de apenas 25% da área fonte.

## 5. Materiais e Métodos

Para operacionalização deste trabalho são fundamentais as etapas de campo, gabinete e laboratório. A pesquisa bibliográfica consiste em uma parte da etapa de gabinete que é realizada preliminar às outras e ao longo de todo processo de investigação, conforme surgirem necessidades.

### 5.1. Dados Morfométricos

Os dados morfométricos utilizados foram: um mapa hipsométrico da sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM), o qual subsidiou a elaboração de um mapa de declividade desta área, o perfil longitudinal do canal do rio Macaé e avaliação de dados morfométricos descritos por Villas Boas *et all* (208).

O mapa hipsométrico elaborado a partir das cartas do IBGE 1:50.000 serviu para se obter uma melhor visualização das classes altimétricas encontradas na sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM). Além disto, este mapeamento serviu como base para a elaboração do mapa de declividade desta área. O mapa de declividade, dividido em cinco classes (0-6°, 6-12°, 12-20°, 20-45° e 45-90°), é responsável por apresentar as áreas mais suscetíveis à erosão, que é função do tipo de solo e a estabilidade proporcionada pelo relevo.

O perfil longitudinal, extraído das cartas topográficas de 1:50.000 do IBGE e elaborado no *software excell*, apresenta características do controle estrutural exercido sobre o canal do rio Macaé e os *nickpoints* ou níveis de base locais, responsáveis por apresentarem-se como superfícies controladoras da erosão das vertentes à montante daquele ponto.

Os dados morfométricos utilizados neste trabalho contemplam apenas as sub-bacias de quarta ordem encontradas por Villas Boas *et all* (2008) na SAM. Os parâmetros avaliados foram: área das sub-bacias; padrão de drenagem; orientação preferencial do canal principal; quantidade de canais de 1°, 2° e 3° ordens e suas respectivas relações de bifurcação; número total de canais; densidades hidrográfica, de drenagem e de nascentes; altitudes da nascente e da foz e amplitude altimétrica. Os dados foram elaborados a partir das cartas do IBGE 1:50.000 e a metodologia empregada pode ser encontrada em Villas Boas *et all* (2008). Ressalta-se que os dados morfométricos podem subsidiar relevantes informações a respeito das características intrínsecas à SAM no que tange sua erodibilidade.

## 5.2. Análise Temporal da Dinâmica de Cobertura da Terra

A elaboração de mapas temáticos, tais como o de cobertura da terra em diferentes escalas temporais possibilita, entre outras coisas, elaborar um mapa de evolução de transformações da paisagem no âmbito desta sub-bacia. Além disto, estes mapas nos apresentam as principais influências antrópicas sobre a cobertura da terra e conseqüente intensidade na proteção dos solos. Deve ser destacado que esta etapa da pesquisa foi realizada em ambiente de geoprocessamento, visto que o Lagesolos conta atualmente com os *softwares ArcGis 9.3* e *SPRING 5.1.5*. Para elaboração destes mapas a composição RGB das bandas 3, 4 e 5 do satélite *Landsat 5* (TM) dos anos 2000 e 2005.

Os mapeamentos realizados utilizaram imagens *Landsat 5*, nas quais o pixel tem resolução de 30m, da faixa 216 e cenas 076 e 075 das datas 24/ 09/ 2000, 04/ 07/ 2005 através do software *SPRING 5.1.5*. A seleção das classes utilizadas foi adaptada do Manual de Uso da Terra (IBGE, 2006) levando-se em consideração a visualização disponível e o interesse desta pesquisa. As classes são: Afloramento Rochoso, Agropecuária, Corpos d'água, Cobertura Florestal, Solo Exposto e Áreas Urbanizadas.

Algumas classes são auto-explicativas como Afloramento Rochoso, Corpos d'água, Cobertura Florestal e Áreas Urbanas. Entendeu-se como Agropecuária toda região que a cobertura florestal foi retirada, sendo incluída nesta classe as florestas em estágio sucessional inicial e os pastos sujos. Já os solos expostos encontrados próximos às áreas urbanas foram agrupados junto à esta classe, após a última revisão do mapa, pois entendeu-se que se tratava de uma forma de expansão da classe "áreas urbanas". A figura 5.1 apresenta o critério empregado para classificação das imagens utilizadas.



Figura 5.1: Imagem de satélite apresentando exemplos das classes utilizadas na classificação (Fonte: Google)

As imagens foram adquiridas no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), em seguida foi realizado o georreferenciamento das mesmas e os testes de segmentação de crescimento de regiões com base na resposta espectral e tamanho mínimo de polígono, que levam em consideração além da resposta espectral de cada píxel, a informação de seus vizinhos. Esses classificadores simulam o trabalho de um intérprete ao reconhecer áreas homogêneas (segmentação) nas imagens a partir das propriedades espectrais e espaciais.

Três segmentações foram realizadas para encontrar o resultado mais coerente com as características da área e a análise proposta, são elas: resposta espectral 15 e tamanho mínimo de 10 píxels; resposta espectral 10 e tamanho mínimo de 10 píxels; e resposta espectral 10 e tamanho mínimo de 15 píxels. A classificação de crescimento de regiões utilizou-se o classificador Bhattacharya com 90% de limiar de aceitação. A classificação e a transformação dos mapas em vetor também foram feitas em ambiente SIG, utilizando-se o software SPRING 5.1.5. Já a edição e o cruzamento dos dados foram realizadas com o software ArcGis 9.3.

Ressalta-se que o mapeamento de cobertura da terra foi realizado para toda a bacia do rio Macaé, extrapolando os limites da sub-bacia aqui descrita. Trabalhos de campo foram realizados para reconhecer das classes e a confirmação dos resultados parciais encontrados. Foi utilizado o software Excel com objetivo de elaborar os gráficos com os percentuais das classes encontradas nos mapeamentos.

A primeira segmentação realizada (resposta espectral = 15 e tamanho mínimo do polígono = 10) não atendeu aos objetivos deste trabalho, visto que as classes encontradas não

foram bem delimitadas, apresentando pouco detalhamento e grandes polígonos. A segunda segmentação (10/ 10) apresentou um bom detalhamento, porém com polígonos muito pequenos, o que não havia tamanha necessidade, já que depois da classificação seria realizada a correção, e isto demandaria muito esforço com polígonos tão pequenos e na seqüência a união das classes similares contíguas. Já a terceira segmentação (10/ 15) foi a que melhor se adequou para atender os objetivos. Encontraram-se ali as classes bem diferenciadas e um tamanho médio dos polígonos capaz de separar os diferentes usos da terra para aquela área de trabalho (figura 5.2).

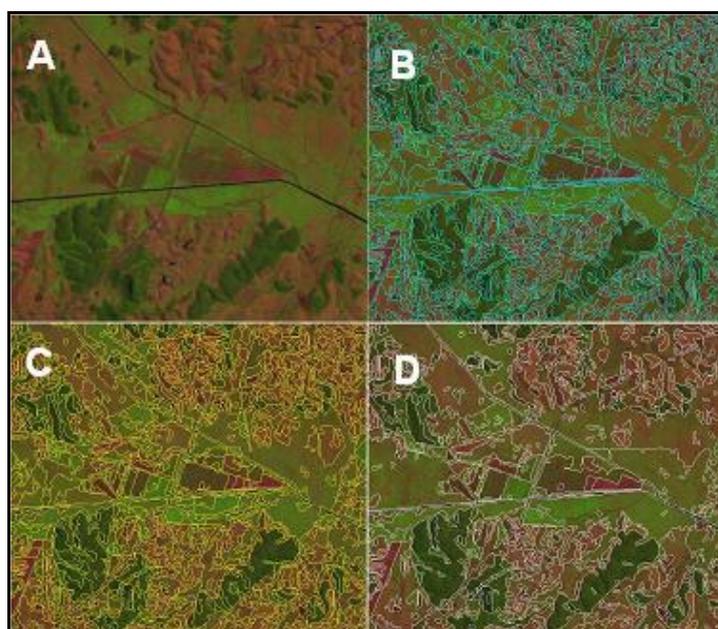


Figura 5.2: Exemplo de segmentação da imagem; A) composição das bandas sem segmentação; B) imagem segmentada 10/ 10; C) imagem segmentada 10/ 15; e D) imagem segmentada 15/ 10.

Após a segmentação realizou-se o teste do classificador. Através da seleção de alguns pontos previamente conhecidos foi induzido ao programa que aqueles polígonos, e conseqüentemente sua resposta espectral, correspondiam a uma determinada classe. Para cada classe diversos exemplos foram atribuídos. Depois dessa etapa foi realizada a classificação (figura 5.3) e logo após a transformação da imagem classificada em um mapa temático. O mapa temático foi, então, transformado em vetor e exportado no formato shp. (shape) de leitura do *software ArcGis*. A última etapa consistiu na correção dos dados encontrados.

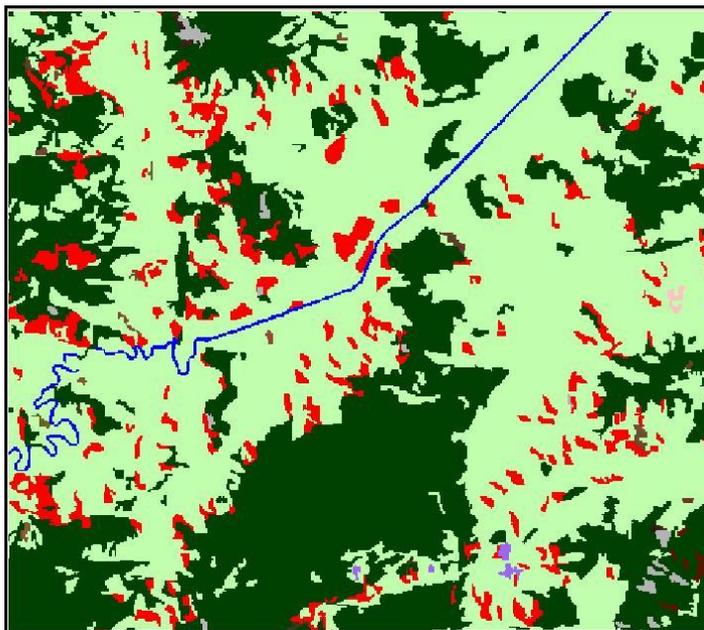


Figura 5.3: mapa vetorial resultante de uma imagem classificada

## 5.2. Levantamento Histórico das Variações Pluviométricas

Os dados pluviométricos foram adquiridos através do site da ANA (Agência Nacional de Águas). Os dados disponíveis em valores diários de precipitação foram somados e, portanto, agrupados por mês e analisados por década. Foram elaborados gráficos com os totais mensais e totais diários pluviométricos.

São apresentados através de gráficos os totais acumulados por mês de cada ano divididos em quatro décadas a partir de janeiro de 1968 (janeiro de 1968 a dezembro de 1979; janeiro de 1980 a dezembro de 1989; janeiro de 1990 a dezembro de 1999; janeiro de 2000 a dezembro de 2009). Foram elaborados gráficos com os totais diários nestas quatro décadas a fim de se encontrar a recorrência de eventos catastróficos, sendo considerado, a partir de uma análise prévia, que 60mm em 24 horas são eventos de baixa frequência e alta magnitude. Os eventos acima deste total foram considerados como indicadores de uma pluviosidade catastrófica capaz de remobilizar os sedimentos e as feições geomorfológicas.

Para tal análise utilizou-se os dados da seguinte estação pluviométrica:

- Galdinópolis (altitude 740 metros) (Latitude:  $-22^{\circ} 21' 49''$ , Longitude:  $-42^{\circ} 22' 51''$  ou N 7524578.700m E 769725.172m, Fuso 23S Datum SIRGAS 2000);

Diferentemente dos mapas de isoeitas que utilizou os dados de outras estações pluviométricas dentro e fora da sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM), as análises pluviométricas foram embasadas nos dados desta estação devido à sua localização à montante das feições geomorfológicas selecionadas (figura 5.3). Desta forma, entende-se que são

considerados os dados de chuva e conseqüentemente de vazão e, portanto energia mobilizadora dos sedimentos quando se compartimenta a bacia do rio Macaé em sub-sistemas.

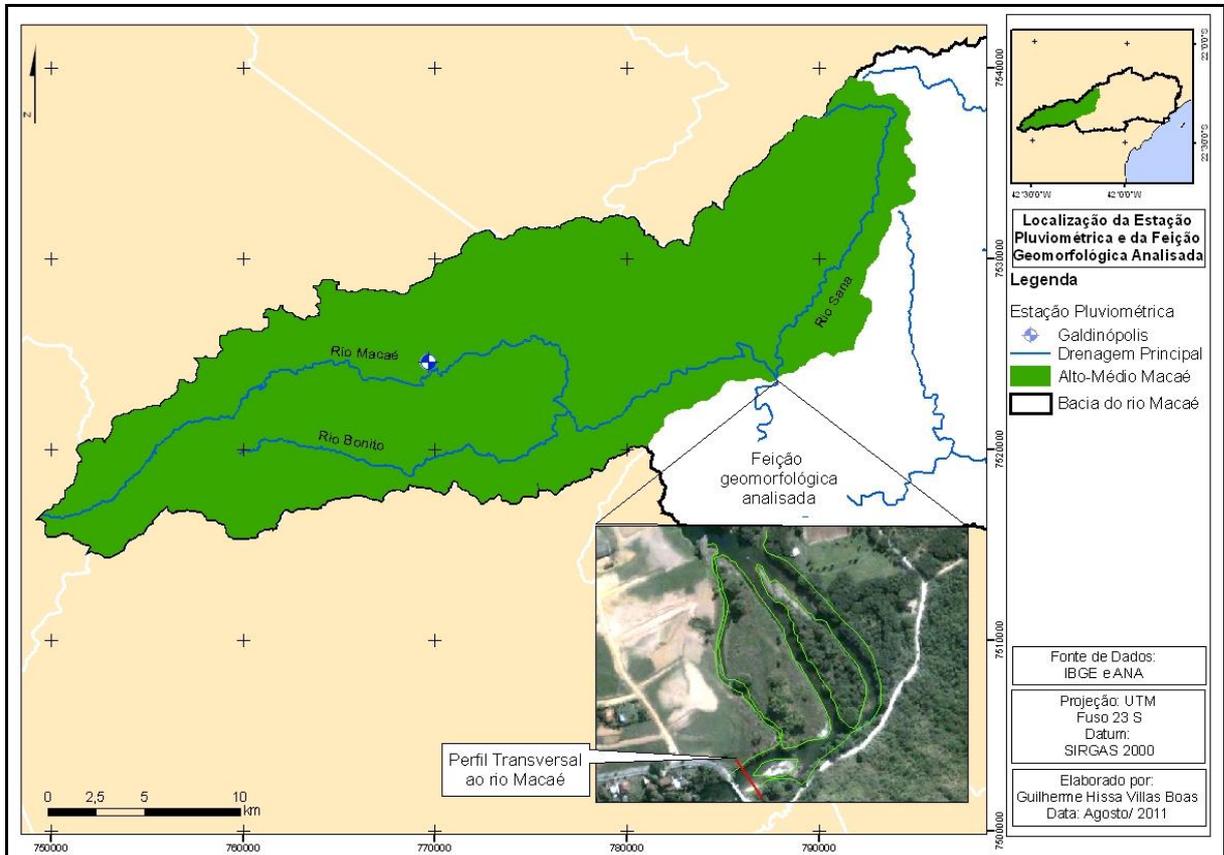


Figura 5.4: mapa de localização da estação pluviométrica, das feições geomorfológicas analisadas e do perfil transversal ao canal do rio Macaé.

### 5.3. Análise dos Parâmetros Geomorfológicos e Hidrossedimentológicos

Considerando que o rio Macaé e seus afluentes nas áreas de baixada foram retificados na década de 1970 entende-se que houve uma alteração no nível de base local acarretando em uma incisão vertical nas planícies (figura 5.5) (ASSUMPCÃO, 2009).



Figura 5.5: Processo de incisão vertical diagnosticado depois da retificação da década de 1970. (Fonte: Arquivo Pessoal/ 2001)

Desta forma não serão selecionadas feições geomorfológicas nessas áreas nem próximas a elas em função dos processos de erosão e sedimentação apresentarem variáveis externas às consideradas neste trabalho. Além disto, este fato é o principal motivo para utilização da sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) como área de análise. Neste trabalho foram utilizadas feições geomorfológicas próximas à desembocadura do rio Macaé com rio Sana (figuras 5.6 e 5.7).



Figura 5.6: Ilhas fluviais do canal do rio Macaé (fonte: Lagesolos/ 2010).



Figura 5.7: Feições fluviais do canal do rio Macaé (fonte: Lagesolos/ 2010).

Conforme aponta a bibliografia podem-se utilizar as feições geomorfológicas como indicadores ambientais das transformações da paisagem (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). Para este trabalho, que pretende avaliar as reações dos sistemas fluviais optou-se por analisar a evolução temporal de feições geomorfológicas de origem fluvial. As ilhas e barras fluviais, entendidas aqui como áreas de retenção ou fonte de sedimentos no sistema, são responsáveis por nos apontar as variações hidrológicas ao longo do canal do rio Macaé. Entende-se que estas unidades estão em constante processo de retrabalhamento refletindo o comportamento do rio e sua interação com os ambientes ao seu redor. As feições geomorfológicas são, neste caso, entendidas como diagnóstico de um processo de entulhamento do canal, seja por maior aporte de sedimentos ou menor capacidade de carga dos rios ou de um processo de remobilização de sedimentos do canal, quando há maior entrada de energia no sistema, entendido aqui como maior precipitação.

Através de fotografias aéreas disponíveis para a bacia do rio Macaé do ano de 2000 da AMPLA (empresa privada do setor energético) na escala 1:10.000 e do ano de 2005 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) na escala 1:25.000 foram comparadas a evolução temporal das ilhas em ambiente SIG observando-se se há acréscimo ou decréscimo de área das mesmas. Além disto foram utilizadas imagens extraídas do *software Google Earth*, entre os anos 2003 e 2010, para completar esta análise com dados qualitativos.

Associado a isto foram utilizados dados de perfis transversais ao canal do rio Macaé, localizados a menos de cinco metros destas feições, realizados pelo grupo de pesquisas

fluviais do Lagesolos, a partir do ano de 2007, totalizando sete levantamentos até a elaboração deste estudo. Ressalta-se que no dia 07/03/2008 o monitoramento não foi realizado pois o rio Macaé apresentava-se muito profundo e turbulento, o que colocava a equipe que o realizava em perigo. Sendo assim, admitiu-se um valor hipotético com base nos outros valores.

Para tal análise foram instaladas duas estacas fixas nas margens do rio. Os perfis transversais são resultado da medição, em intervalos de 0,50 metros, entre o leito do canal e uma superfície determinada a partir das estacas (figura 5.8) (OLIVEIRA *et all*, 2008). Após as coletas dos dados no campo foram elaborados gráficos para, além de uma melhor visualização, possibilitar a mensuração da área do canal e distinguir se naquele ponto está havendo algum processo de erosão ou sedimentação.

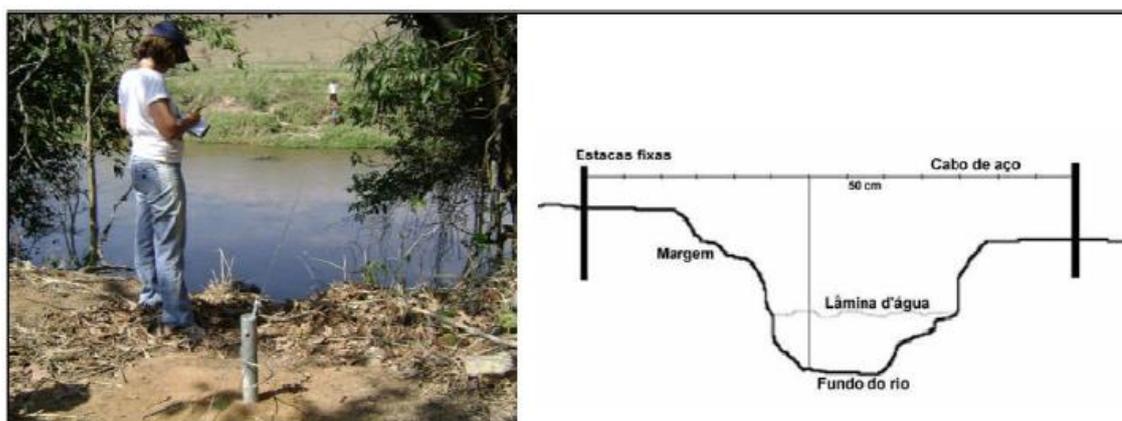


Figura 5.8 – Técnica de elaboração de perfil transversal ao canal do rio Macaé.

Além dos perfis transversais ao rio Macaé, durante o monitoramento, foram feitas coletas de sedimentos no talvegue do canal, por considerar esta área como a mais dinâmica e representativa do comportamento fluvial. A coleta de sedimentos subsidiou a análise do grau de arredondamento Tucker (1981). Esta informação foi utilizada para diagnosticar a distância da área fonte dos mesmos. Isto é, quanto maior o grau de arredondamento entende-se que o sedimento teve suas arestas erodidas pelos choques físicos com outras superfícies ao longo do percurso carregado pelo canal e, portanto, denota que este sedimento percorreu uma maior distância da área fonte.

## 6. Resultados

Serão apresentados a seguir os resultados e discussões obtidos para a Sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM). Destaca-se que grande parte das informações produzidas de acordo com os objetivos propostos na pesquisa foi avaliada de forma quantitativa. Porém, a avaliação das interrelações entre os parâmetros selecionados para avaliar o comportamento e a sensibilidade do sistema fluvial frente às modificações imposta pela pluviosidade e das variações da cobertura da terra na SAM serão apresentadas de forma qualitativa.

Serão apresentados os resultados obtidos sobre os aspectos morfométricos, as principais características da cobertura da terra, as variações da pluviosidade e as mudanças na morfologia do canal na feição fluvial selecionada como parâmetros para avaliação do comportamento e sensibilidade do rio Macaé nesta sub-bacia.

### 6.1. Dados Morfométricos

Os resultados e discussões sobre os dados morfométricos da SAM relacionam-se às características de hipsometria, de declividade, do perfil longitudinal e de análises de parâmetros morfométricos.

A Sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) ocupa uma área de 461,03 km<sup>2</sup>, seu perímetro é de 141,73 km e é uma bacia de 6<sup>a</sup> ordem na escala 1:50.000 (Strahler, 1951).

As figuras 6.1 e 6.2 apresentam os mapas hipsométrico e de declividade da SAM. A tabela 6.1 apresenta as áreas correspondentes às classes de declividade e seus respectivos percentuais.

Pela figura 6.1 pode-se observar quase toda a SAM está inserida entre as cotas 1.540 e 220 metros, apesar das cristas dos divisores alcançarem 1980 metros de altitude, demonstrando sua amplitude altimétrica de 1.760 metros. Além disto, ainda de acordo com o mapa hipsométrico (figura 6.1), observa-se certa semelhança com o mapa geomorfológico (figura 3.7) que apresenta dois ambientes geomorfológicos distintos: o domínio montanhoso e o domínio de planície fluvial. Esses dois domínios, por sua vez, compreendem do ponto de vista geomorfológico duas áreas com comportamentos diferentes: um de degradação e outro de agradação respectivamente. Sendo assim, pode-se entender que as classes a partir da cota 660 metros já compreendem depósitos

coluviais/aluviais e até fluviais. Por outro lado pode-se interpretar, portanto, que as classes acima da cota 660m seriam áreas fontes de sedimentos.

Outra característica apresentada pelos mapas hipsométrico e de declividade para a SAM e que coincide com o mapa geomorfológico (figura 3.7) é o confinamento do vale do rio Macaé. A figura 6.1 apresenta o vale confinado até, aproximadamente a cota 660 metros onde o mesmo passa a parcialmente confinado e na cota 440 metros o rio retorna a percorrer em um vale confinado. O retorno ao vale parcialmente confinado ocorre alguns metros antes de alcançar a cota 220 metros onde há o encontro com o rio Sana, importante tributário pela margem esquerda. Brierley e Fryirs (2005) destacam que estes tipos de ambientes fluviais em vales parcialmente confinados são áreas onde os canais fluviais diminuem suas energias e onde se pode observar a formação de depósitos fluviais, seja ao longo do leito ou em suas margens.

Desta forma, a presença das feições geomorfológicas selecionadas para esta pesquisa, corrobora com esta observação e demonstra uma característica de ambiente fluvial com diminuição da capacidade de remobilização por parte do canal fluvial neste trecho, seja por uma declividade menor e/ou por um alargamento do leito.

Classes	km <sup>2</sup>	%
0° - 6°	120,47	26,13
6° - 12°	74,61	16,18
12° - 20°	149,98	32,53
20° - 45°	100,14	21,72
45° - 90°	15,83	3,43
TOTAL	461,03	100,00

Tabela 6.1: Classes de declividade da Sub-bacia Alto-Médio Macaé e seus respectivos percentuais.

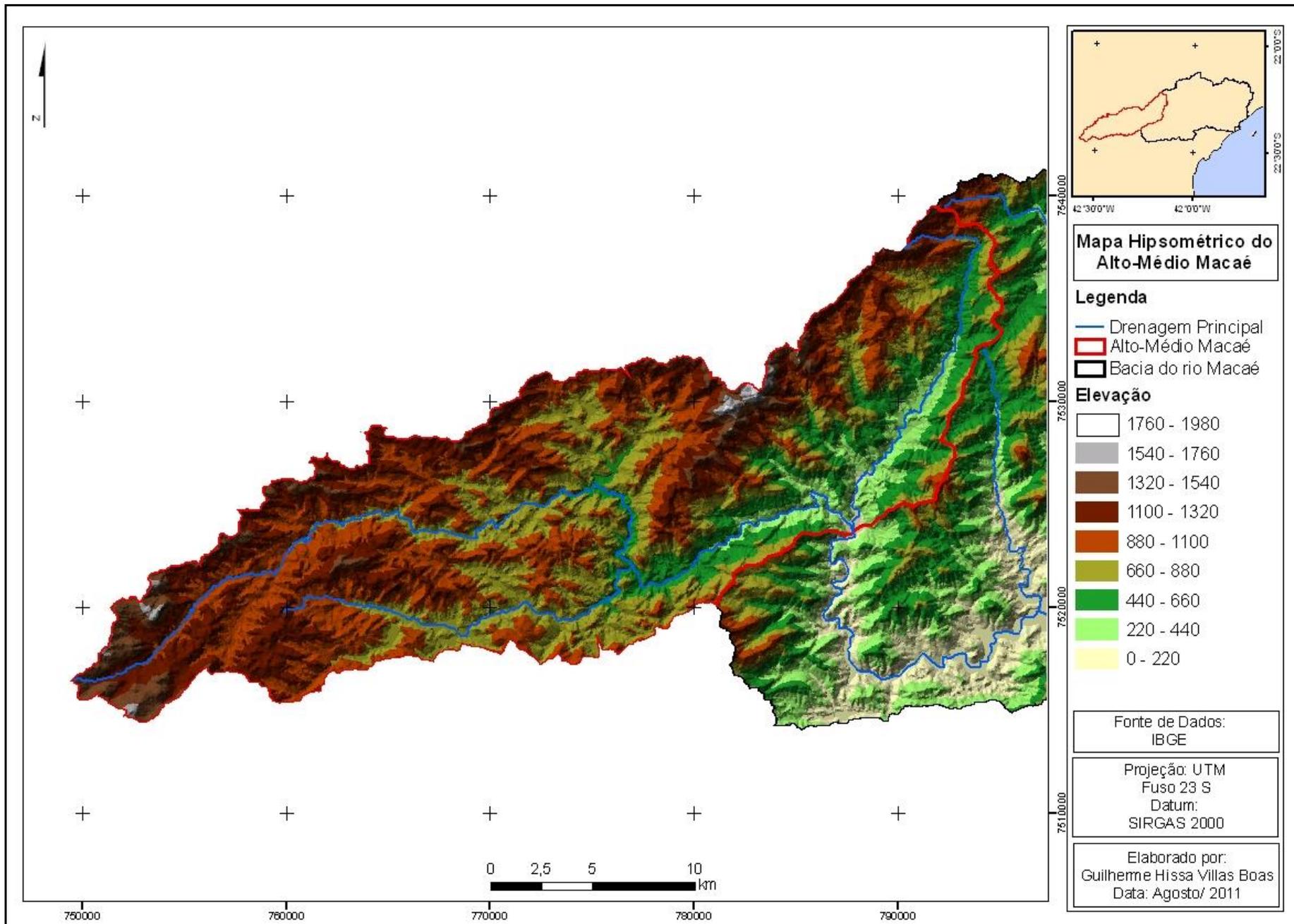


Figura 6.1: Mapa Hipsométrico da Sub-bacia Alto-Médio Macaé

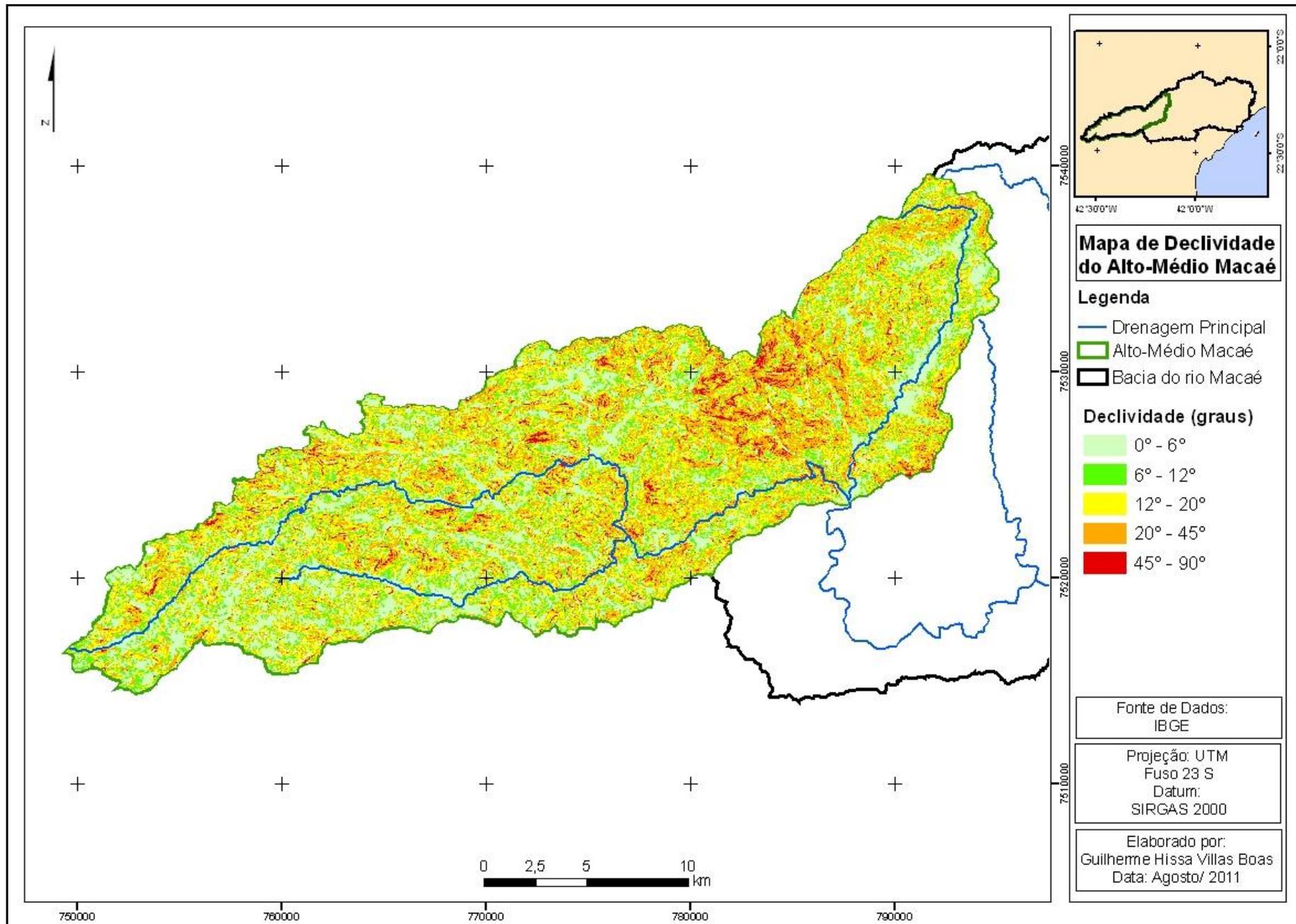


Figura 6.2: Mapa de Declividade da Sub-bacia Alto-Médio Macaé.

A figura 6.3 apresenta o perfil longitudinal do rio Macaé, que desde sua nascente percorre cerca de 59 km até alcançar a confluência com o rio Sana, onde foram selecionadas as feições geomorfológicas analisadas a seguir. Ao longo deste percurso do rio pode-se observar uma grande área côncava com um elevado gradiente típico de cabeceiras de drenagem. Esta forma côncava no perfil longitudinal demonstra ser um indicativo de um rio em franco processo de incisão vertical, quando encontra um perfil de equilíbrio, onde as forças de erosão se sobrepõem à resistência litológica (STRAHLER, 1951). Já segundo Summerfield (2001) conforme o rio flui à jusante sua capacidade de carga permanece inalterada apesar da diminuição do seu gradiente. Apesar do tamanho dos sedimentos também diminuir proporcionalmente isto ocorre porque a descarga aumenta no sentido montante-jusante.

Após esta parte côncava, o rio Macaé passa, em seu perfil longitudinal, por uma grande região de convexidade. Neste ponto pode-se afirmar que o poder erosivo do canal não superou as forças de resistência local, então acredita-se que nesta área o leito seja rochoso, as margens estreitas e haja poucos depósitos fluviais. Em seguida observa-se um forte gradiente após a passagem na mudança de um nível base e a formação de uma nova concavidade.

Cabe destacar que ao observamos o mapa de declividade (figura 6.2), vemos que o predomínio das menores declividades na SAM coincidirem com a área mais côncava do perfil longitudinal e, por sua vez, as áreas com maior declividade ocorrem quando o rio Macaé apresenta forma mais retilínea-côncava. No entanto, nesta última parte do perfil longitudinal, tem-se a predominância do granito sana (Figura 3.6), o que confere maior resistência ao processo erosivo e impõe ao canal Macaé maiores ajustes em vales mais declivosos.

Tal observação nos leva a interpretar que independentemente dos resultados alcançados em uma bacia hidrográfica (com base em comportamentos esperados na literatura) devemos levar em consideração a integração das informações e, sobretudo, as relações entre elas, considerando-se sempre que cada bacia possui comportamento distinto em função dos seus fatores e agentes envolvidos.

As feições geomorfológicas selecionadas para esta pesquisa encontram-se na parte do perfil longitudinal em que o gradiente apresenta pequena declividade onde parece haver uma transição entre trechos com grande declive e a sua planície de

inundação. De acordo com Summerfield (2001), de um modo geral, essas partes do perfil longitudinal correspondem às seções dos rios onde são encontrados depósitos de sedimentos de grande diâmetro, que tendem a diminuir no sentido da jusante.

A área de deposição fluvial, em função da diminuição da declividade e conseqüente diminuição da competência do rio e que proporciona a formação de feições geomorfológicas podem indicar variações temporais e espaciais de acordo com fatores que se destaquem na região. Na presente pesquisa a evolução temporal dessas feições deposicionais são selecionadas como respostas às mudança de comportamento em função da sensibilidade do sistema fluvial relacionada aqui com a variabilidade da pluviometria e com as mudanças da cobertura da terra na área à montante da desembocadura do rio Macaé com o rio Sana.

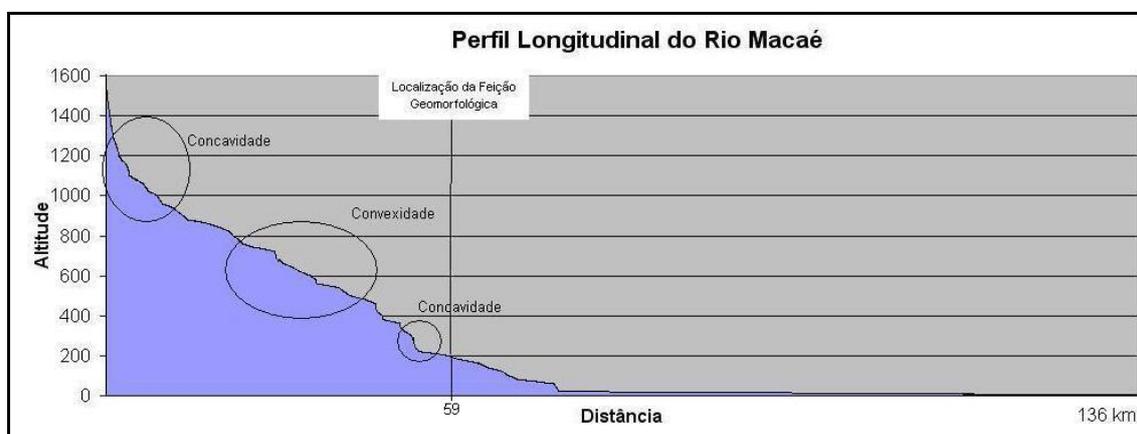


Figura 6.3: Perfil longitudinal do rio Macaé.

Villas Boas *et al* (2008) realizaram um estudo morfométrico na bacia do rio Macaé abordando diversos parâmetros. Para tal, a bacia do rio Macaé foi dividida em sub-bacias de 5ª e 4ª ordens (Strahler, 1951). Nesta pesquisa foram selecionadas apenas as sub-bacias de 4ª ordem que estão inseridas na área da sub-bacia SAM e são apresentados aqui os seguintes parâmetros morfométricos: área da sub-bacia, quantidade de canais de 1ª e 2ª ordem, número total de canais, densidade hidrográfica e densidade de nascentes (figura 6.4 e tabela 6.2).

Considera-se como densidade hidrográfica a quantidade total de canais dividida pela área da bacia e a densidade de nascentes a quantidade de canais de 1ª ordem dividida pela área da bacia. Cabe destacar que só foram apresentados os dados relativos à quantidade de canais de 1ª e 2ª ordens em função da sua capacidade de incisão vertical e influência na erosão dos solos. As bacias de segunda ordem são, portanto, as mais importantes no processo de remodelagem das vertentes e conseqüentemente na

produção de sedimentos, enquanto que as bacias de terceira ordem em diante já apresentam deposição (MEIS *et all*, 1982).

A quantidade de canais de primeira ordem pode estar diretamente relacionada, entre outros fatores como propriedades do solo, arcabouço geológico e declividade porém, a densidade de nascentes possibilita uma comparação qualitativa entre as sub-bacias. Destacam-se os resultados encontrados para as sub-bacias dos rios Fundão, Sem Nome e Colégio com 4,48; 3,69 e 3,20 nascentes/Km<sup>a</sup> respectivamente.

As densidades hidrográficas mais altas são encontradas nas sub-bacias dos rios Colégio, Sem Nome e Fundão, apresentando valores acima de quatro canais/Km<sup>2</sup> (4,06; 5,05 e 6,14 canais/ Km<sup>a</sup> respectivamente). Este parâmetro que designa a constância de canais fluviais em uma determinada área, quando apresenta valores baixos pode demonstrar uma alta taxa de infiltração e um fluxo sub-superficial bem eficiente, enquanto que valores altos demonstram o contrário, como alto escoamento superficial e baixa taxa de infiltração.

Observa-se que as sub-bacias que apresentam as maiores valores de densidade de nascente e densidade hidrográfica drenam para o afluente do rio Macaé, o rio Sana. Associado a isto, o mapa de declividade (figura 6.2) nos mostra que nesta mesma área ocorre a maior incidência de encostas declivosas dentro da sub-bacia SAM. Considerando a expressiva presença de neossolos litólicos e cambissolos nesta região (figura 3.6), observa-se uma vulnerabilidade natural desta área à perda de solo e portanto, esta pode ser uma área fonte de sedimento para o sistema hidrográfico da sub-bacia SAM e para a bacia do rio Macaé como um todo. A partir desta característica regional deve-se avaliar a cobertura da terra nesta área a fim de caracterizar a proteção dos solos e enfim, definir o *status* de sua fragilidade.

Dados/Bacias	Macaé de Cima	Borás	Bonito	S. Pedro da Serra	Boa Esperança	Colégio	Sem Nome	Fundão	Sana
área (Km <sup>2</sup> )	139,65	12,06	49,76	24,94	25,43	20,92	5,14	6,03	46,85
canais de 1 ordem	265	24	93	34	48	67	19	27	124
canais de 2 ordem	55	5	18	7	9	15	4	7	22
Nº Total de canais	333	32	114	45	61	85	26	37	152
Densidade Hidrográfica	2,38	2,65	2,29	1,80	2,40	4,06	5,06	6,14	3,24
Densidade de Nascentes	1,90	1,99	1,87	1,36	1,89	3,20	3,70	4,48	2,65

Tabela 6.2: Dados morfométricos das sub-bacias de quarta ordem (Adaptado de Villas Boas *et all*, 2008)

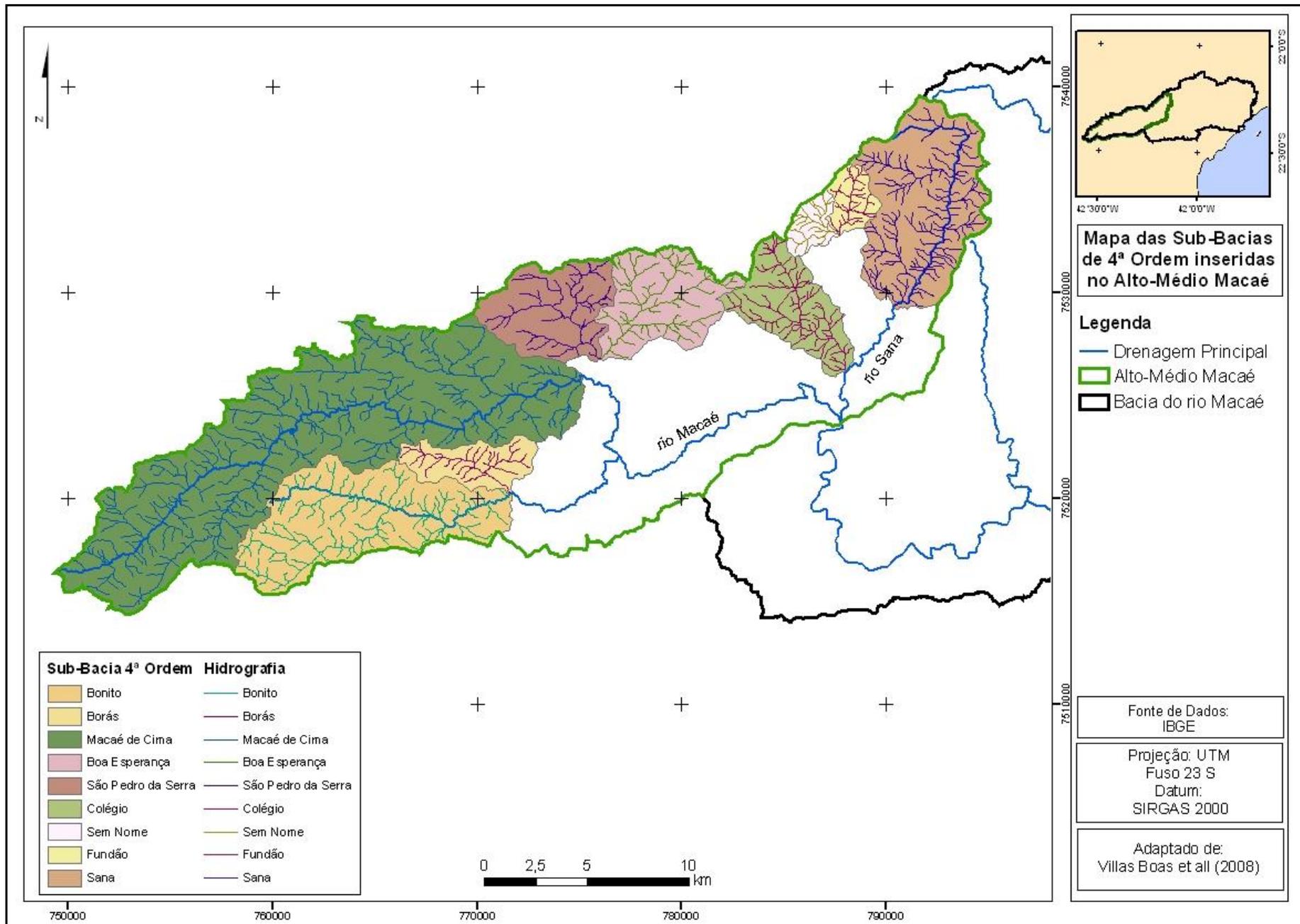


Figura 6.4: Sub-bacias de 4ª ordem inseridas na Sub-bacia Alto-Médio Macaé (Adaptado de Villas Boas *et al*, 2008).

## 6.2. Mapeamentos de Cobertura da Terra

Visando compreender e avaliar a interferência das atividades desenvolvidas nas encostas da Sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM) relacionadas à produção de sedimentos no canal fluvial foram elaborados mapas temporais sobre a cobertura da terra em dois períodos na área analisada.

As figuras 6.5 e 6.6 apresentam, respectivamente, os mapas de cobertura da terra da Sub-bacia SAM nos anos 2000 e 2005. As classes encontradas foram: Cobertura Florestal, Agropecuária, Urbano e Afloramento Rochoso. Conforme foi citado na metodologia as áreas classificadas como “Solo exposto” foram agrupadas, conforme sua localização e a classificação dos polígonos vizinhos, nas classes agropecuária ou urbano.

As tabelas com as áreas de cada classe e seus percentuais proporcionais à sub-bacia SAM são apresentadas após os respectivos mapas (tabela 6.3 e tabela 6.4). Além disto, foi incluída a tabela 6.5 que apresenta o percentual de transformação de cada classe. As áreas ocupadas por cada classe em 2000 foram: agropecuária 134,34km<sup>2</sup> (29,14%), Floresta 324,99km<sup>2</sup> (70,49%), Urbano 0,10km<sup>2</sup> (0,02%) e Afloramento rochoso 1,60km<sup>2</sup> (0,35%). Já em 2005 as áreas de cada classe eram: Agropecuária 172,26km<sup>2</sup> (37,36%), Floresta 286,07 km<sup>2</sup> (62,05%), Urbano 1,10km<sup>2</sup> (0,24%) e Afloramento Rochoso 1,60km<sup>2</sup> (0,35%).

No ano 2000 a agropecuária ocupava menos da metade da área coberta com floresta (29,14 e 70,49% respectivamente), isto é, para cada 1km<sup>2</sup> de agropecuária havia 2,42km<sup>2</sup> de floresta. Já em 2005 essa proporção diminuiu e a agropecuária ocupava pouco mais de 37% da sub-bacia SAM enquanto que a floresta reduziu para 62,05%. Assim, para cada 1km<sup>2</sup> de agropecuária havia 1,66km<sup>2</sup> de floresta.

Observando a tabela 6.5 observa-se que houve uma correlação quase direta entre o percentual de crescimento da classe “Agropecuária” e uma redução da classe “Floresta”. Enquanto a primeira cresceu 28,23% a segunda regrediu cerca de 22%. Ao verificar esta transformação no mapa, nota-se que ela ocorreu de forma homogênea por toda a sub-bacia SAM. Considerando as áreas das classes “Agropecuária” e “Floresta” houve apenas uma diferença de 1km<sup>2</sup> entre o crescimento da primeira e a redução da segunda, isto é 37,92% e -38,92% respectivamente. Esta diferença, portanto, está contida na transformação da classe “Urbana”. Contudo, não se pode afirmar que a

diferença de 1km<sup>2</sup> tenha uma correlação direta entre a redução da floresta e o crescimento urbano. Acredita-se que o crescimento urbano tenha ocorrido nas áreas antes ocupadas pela “Agropecuária” que circundavam estes centros.

Já o crescimento da classe “Urbana”, por sua vez, chegou a 1100% enquanto que, segundo IBGE (2011) apenas no distrito do Sana houve crescimento na população urbana, ainda que de apenas 100% nos últimos dez anos. O crescimento populacional e as transformações na cobertura da terra no distrito do Sana pode ter uma relação com o crescimento da chamada “área de baixada” descritas anteriormente. O distrito do Sana está localizado a meia hora da cidade de Casimiro de Abreu (importante polo urbano na região norte fluminense e localizado fora do domínio da bacia do rio Macaé) e cerca de uma hora da sede do Município de Macaé. Com o fim do monopólio da Petrobrás na exploração *off-shore* na Bacia de Campos, no final do século passado, ocorreu um *boom* imobiliário nos bairros de Macaé e nas orlas de Rio das Ostras e Casimiro de Abreu, forçando a população mais pobre a migrar para o interior. O distrito do Sana pela sua localização foi uma das áreas de destino resultado deste crescimento econômico.

Já os distritos de Lumiar e São Pedro da Serra têm suas dinâmicas socioeconômicas mais relacionadas ao município de Nova Friburgo. E como este município não apresenta um significativo crescimento econômico na última década, talvez isso explique o motivo da estagnação populacional destes dois distritos.

Contudo, o crescimento da área urbana ocorreu em todos os núcleos populacionais e pode estar associado à prática do turismo de 2<sup>a</sup> residência que aconteceu principalmente após o asfaltamento da RJ 142 (figura 1.1). Esta rodovia, conhecida como Serra-Mar, que liga Nova Friburgo à Rio das Ostras, apresentava péssimas condições de tráfego até início da década de 2000 quando começaram as obras de melhoria e pavimentação. Esta obra terminou apenas em 2005, porém a facilidade de acesso contribuiu para o crescimento dos núcleos urbanos mais serranos. Além das péssimas condições, frequentes movimentos de massa fechavam esta estrada nos meses das chuvas. Este problema, mesmo com a pavimentação da pista, ainda não foi totalmente sanado, a população em diversas ocasiões necessita percorrer caminhos alternativos.

Neste sentido, pode-se avaliar que a infra-estrutura dos núcleos urbanos expandiu, sua área cresceu, porém a população não acompanhou na mesma proporção.

Associado a isto, a criação, em 2001, da Área de Proteção Ambiental - APA Macaé de Cima - pode ter sido uma forma de controle populacional desta área do município de Nova Friburgo.

Em termos de variação temporal das coberturas da terra observamos através dos mapas e das tabelas das classes encontradas no período analisado que há interferência na produção de sedimentos nas encostas e conseqüentemente são carreados para o canal fluvial, mas suas influências no regime de fluxo ou na dinâmica fluvial do rio Macaé são mais bem avaliadas nos itens a seguir.

Classes em 2000	km <sup>2</sup>	%
Agropecuaria	134,34	29,14
Floresta	324,99	70,49
Urbano	0,10	0,02
Afloramento Rochoso	1,60	0,35
TOTAL	461,03	100,00

Tabela 6.3: Áreas e percentuais das classes de cobertura da terra encontradas em 2000.

Classes em 2005	km <sup>2</sup>	%
Agropecuaria	172,26	37,36
Floresta	286,07	62,05
Urbano	1,10	0,24
Afloramento Rochoso	1,60	0,35
TOTAL	461,03	100,00

Tabela 6.4: Áreas e percentuais das classes de cobertura da terra encontradas em 2005.

Classes	2000	2005	Transformação	
			km <sup>2</sup>	%
Agropecuaria	134,34	172,26	37,92	128,23
Floresta	324,99	286,07	-38,92	88,02
Urbano	0,10	1,10	1,00	1100,00
Afloramento Rochoso	1,60	1,60	0,00	0,00
TOTAL	461,03	461,03		

Tabela 6.5: Áreas e percentuais das classes de cobertura da terra encontradas em 2000 e 2005 e as respectivas transformações em áreas e percentuais.

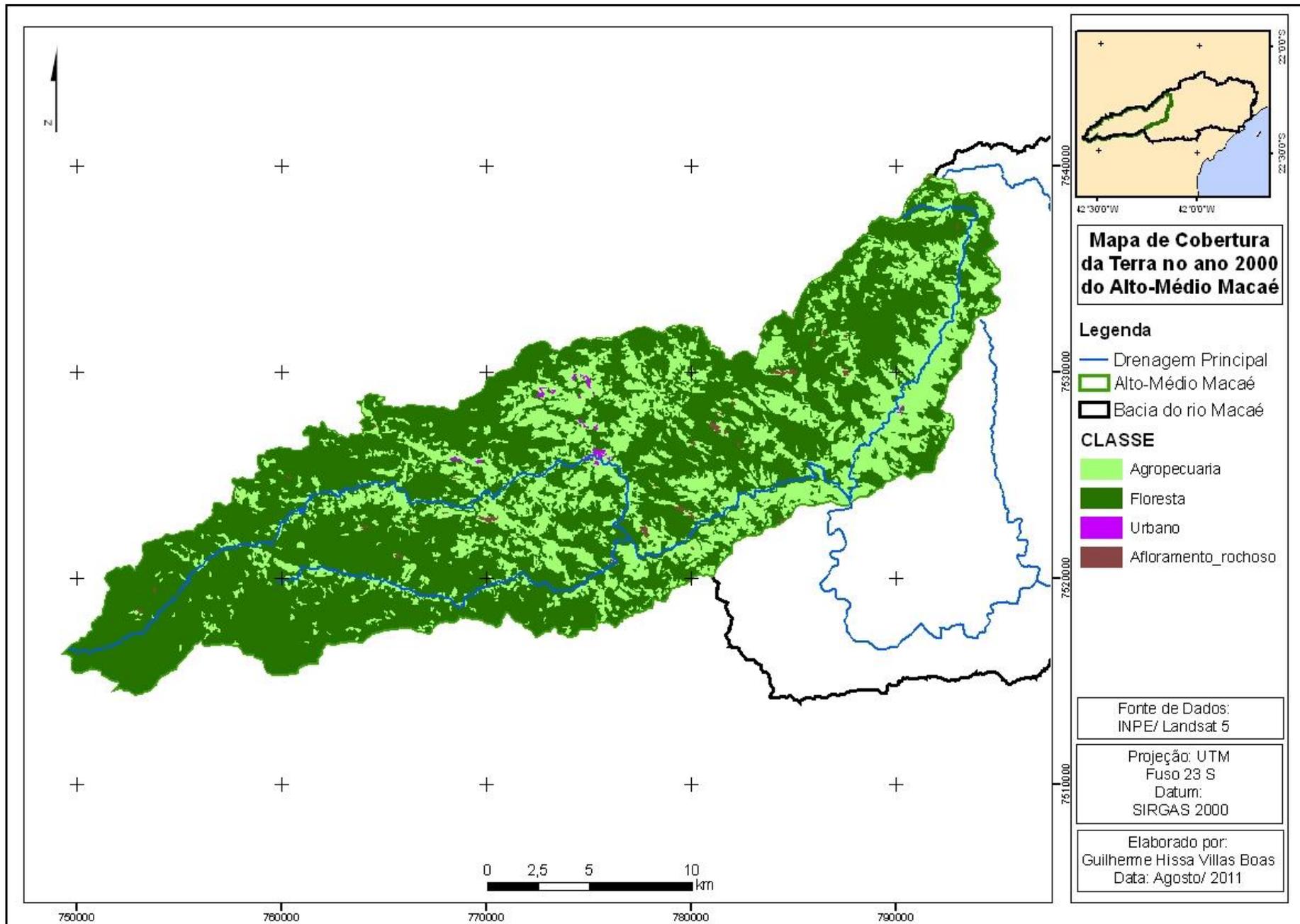


Figura 6.5: Mapa de cobertura da terra da Sub-bacia Alto-Médio Macaé no ano 2000.

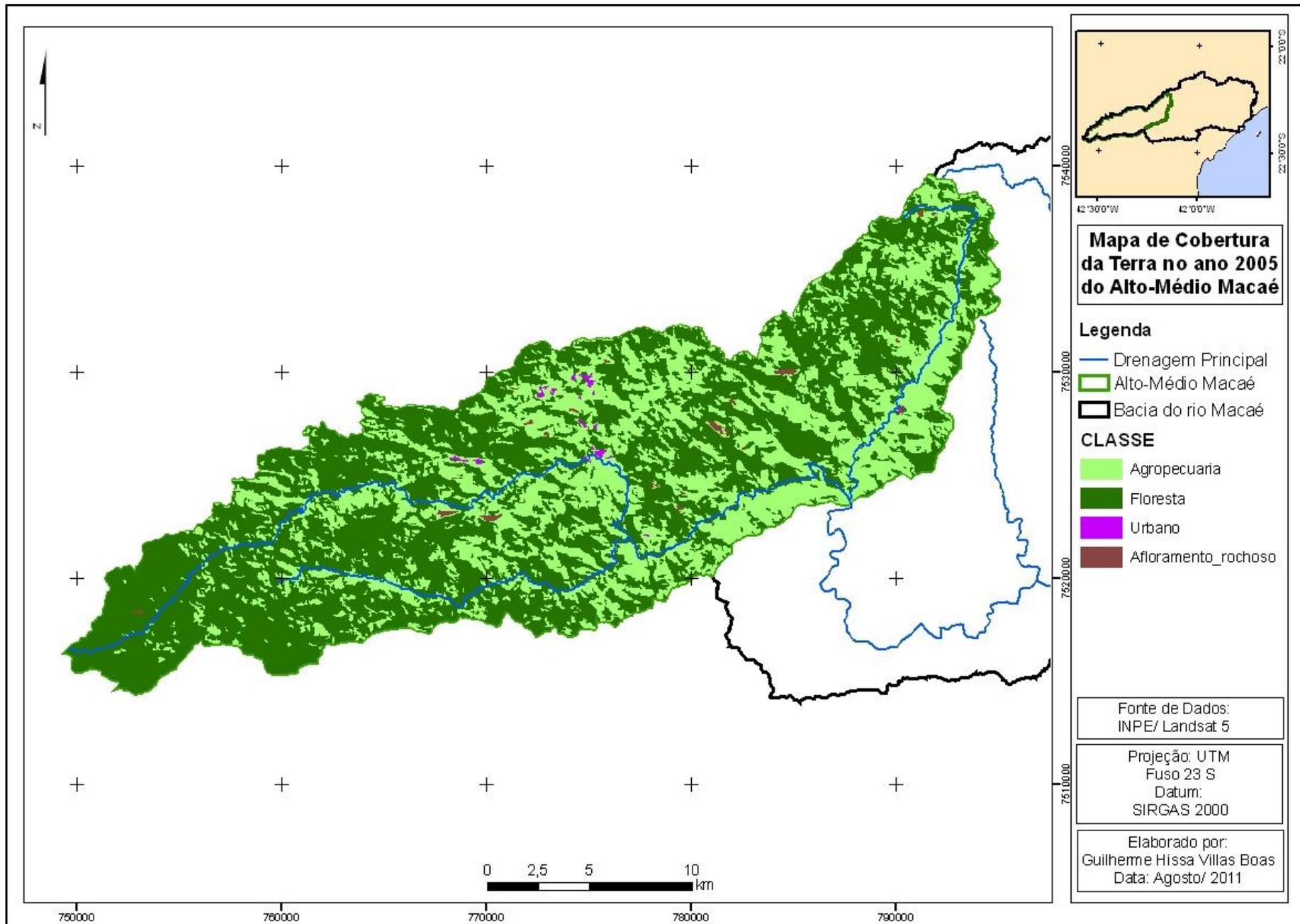


Figura 6.6: Mapa de cobertura da terra da Sub-bacia Alto-Médio Macaé no ano 2005.

### 6.3. Dados Pluviométricos

Os dados pluviométricos foram avaliados com base na série histórica disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Os gráficos 6.1 a 6.8 apresentam os gráficos dos totais pluviométricos mensais e dos totais pluviométricos diários divididos entre os anos 1968-1979, 1980-1989, 1990-1999 e 2000-2009. Destaca-se que além do ano de 1971, os meses dezembro de 1984 e maio de 1986, não dispõem de informações. Conforme foi citado no item 3.2.1 Caracterização Climática, os meses de verão apresentam maiores valores para os índices pluviométricos em função do anticiclone migratório polar.

O gráfico 6.1 apresenta o gráfico relativo aos totais pluviométricos nos meses entre janeiro de 1968 e dezembro de 1979. Observa-se que há uma média de três ou quatro meses por ano em que a pluviosidade alcança os 200 mm. Entretanto nesta década pode-se destacar que nove meses acumularam chuvas maiores que 400 mm, com destaque para o mês de dezembro de 1976 quando choveu 569mm.

Os meses de inverno apresentam valores em torno de menos de 100mm, porém somente em dois meses os valores não chegaram a 5mm (julho/1974 0mm; agosto/1975 2mm). De um modo geral as chuvas acumuladas nos meses entre maio e agosto não apresentam valores abaixo de 20mm.

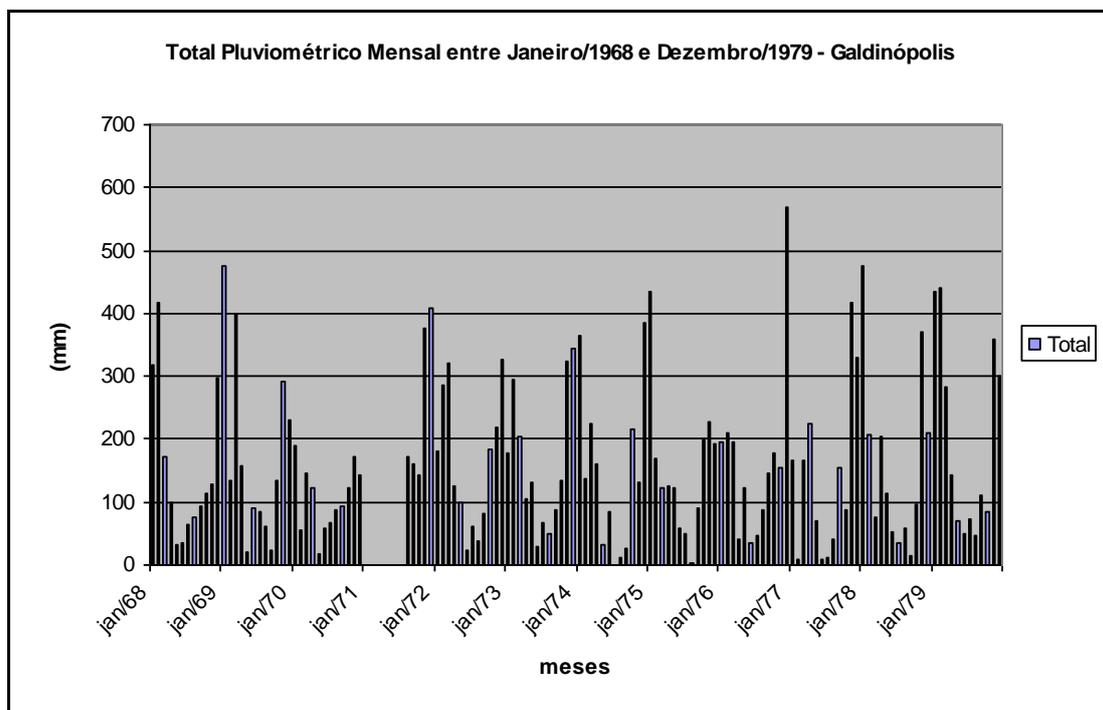


Gráfico 6.1: Total pluviométrico mensal entre Janeiro/1968 e Dezembro/1979 da Estação Galdinópolis (fonte: ANA/2010).

A gráfico 6.2 apresenta os valores pluviométricos diários entre 01/01/1968 e 31/12/1979. Observa-se que há uma distribuição homogênea que oscila paralelamente à tabela 6.6 entre as diferenças para os valores encontrados nos meses úmidos e nos meses secos. Porém, dois eventos extremos fogem ao padrão dos outros dias: 07/02/1973 com 132mm e 06/02/1979 com 146,8mm. Nesta década foram registrados trinta e três eventos maiores que 60mm.

Ainda que haja uma correlação direta entre os valores pluviométricos diários e os totais mensais, não se observa um paralelismo entre os gráficos relativos à esta década.

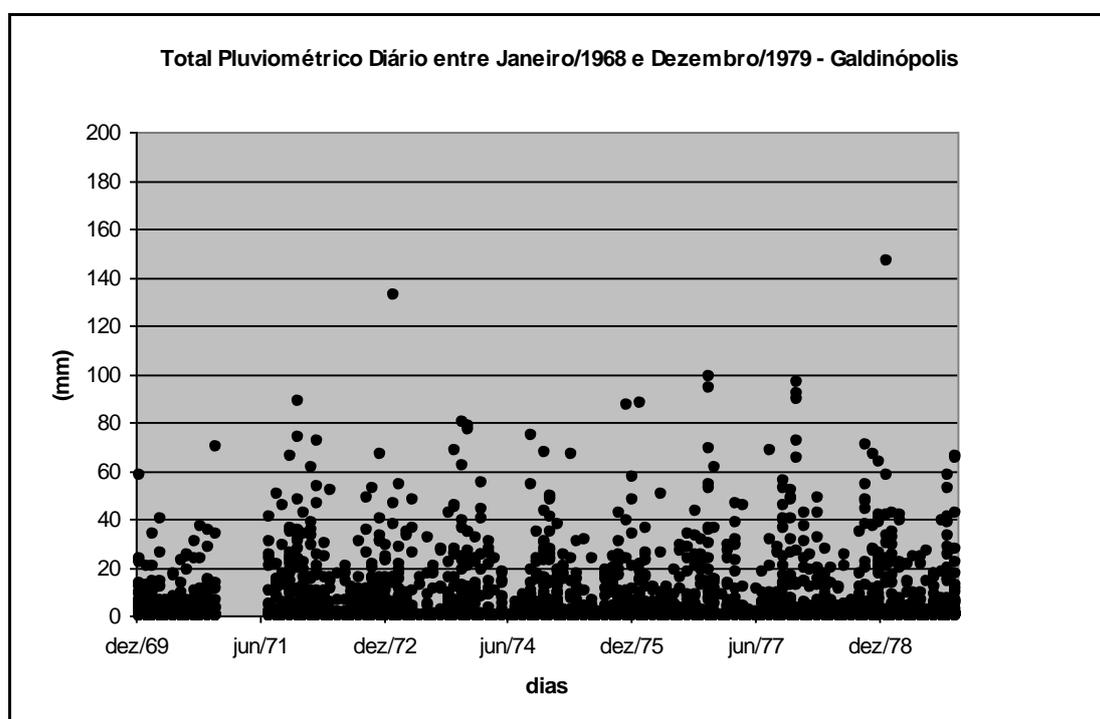


Gráfico 6.2: Total pluviométrico diário entre Janeiro/1968 e Dezembro/1979 da Estação Galdinópolis (fonte: ANA/2010)

O gráfico 6.3 apresenta os totais pluviométricos mensais entre os meses de janeiro de 1980 e dezembro de 1989. A recorrência de meses que acumularam valores maiores que 400mm diminuiu, sendo nesta década encontrados apenas sete meses (Janeiro/1980 552mm, Dezembro/1980 433mm, Janeiro/1981 425mm, Dezembro/1981 582mm, Março/1982 463mm, Janeiro/1985 537mm, Dezembro/1986 483mm). Os meses que apresentam pluviometria acima de 300mm também diminuíram, passando de 21 para 17.

Já os meses do inverno registraram valores maiores que os do ano anterior, quando apenas três meses registraram menos de 15mm acumulados (maio/ 81 12,2mm,

agosto/83 6,2mm e junho/84 4,4mm). Além disto, nesta década nenhum em mês a pluviosidade foi nula.

Os gráficos mostram, portanto, que a década de 1980/89 de um modo geral foi mais úmida que na anterior.

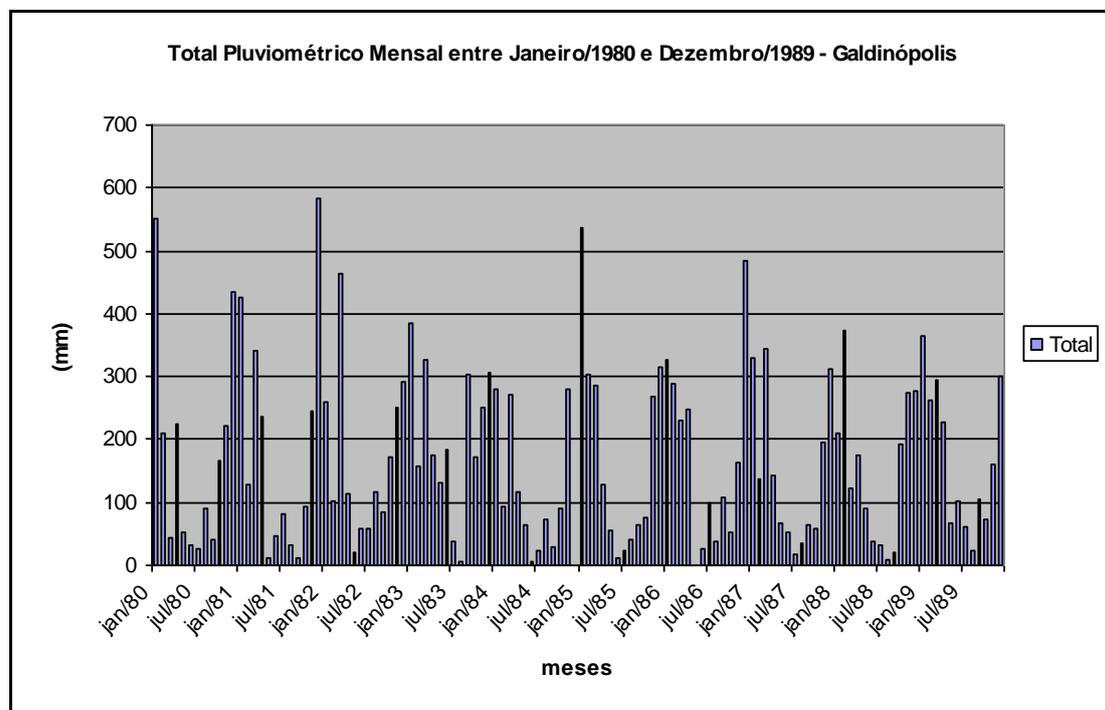


Gráfico 6.3: Total pluviométrico mensal entre Janeiro/1980 e Dezembro/1989 da Estação Galdinópolis (fonte: ANA/2010)

O gráfico 6.4 apresenta os valores pluviométricos diários entre 01/01/1980 e 31/12/1989. Assim como no gráfico anterior observa-se que nesta década de um modo geral, houve um crescimento nos valores encontrados. A recorrência de eventos acima de 60mm aumentou, passando de trinta e três para quarenta e um dias. Além disto, observam-se seis dias com chuvas acima dos 100mm (03/12/81 163mm; 04/03/83 112mm; 11/03/87 112,8mm; 15/01/89 129mm; 14/03/89 111mm e 21/12/89 120mm).

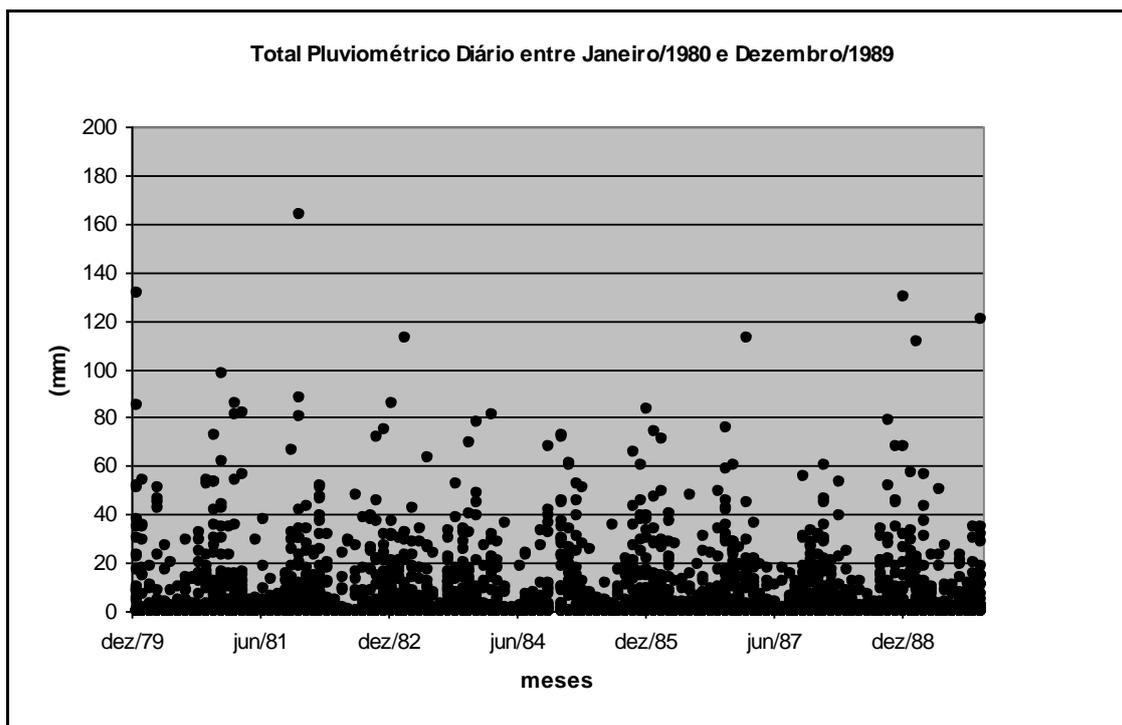


Gráfico 6.4: Total pluviométrico diário entre Janeiro/1980 e Dezembro/1989 da Estação Galdinópolis (fonte: ANA/2010).

O gráfico 6.5 apresenta os totais pluviométricos mensais entre janeiro de 1990 e dezembro de 1999. Observa-se, a princípio, uma maior disparidade entre os meses mais chuvosos e os meses mais secos quando comparado ao gráfico anterior. Além disto, dois meses se destacam dos demais por apresentarem altos índices acumulados: janeiro/1991 com 665mm e maio/1994 com 556mm. Entretanto, os meses com pluviosidade acima de 400mm nesta década diminuiu novamente. Observam-se além dos dois citados acima apenas mais três meses alcançaram este total acumulado (Dezembro/1991 435mm; Janeiro/1992 406mm e Janeiro/1997 450mm). O gráfico apresenta também que os meses com pluviometria acima de 300mm novamente diminuiriam passando de 17 para 15 nesta década.

Outro fato a ser destacado é o número de meses com totais iguais ou inferiores a 10mm. Nesta década houve seis meses que os valores pluviométricos mensais ficaram quase nulos: julho/1991 9mm, agosto/1991 10mm, agosto/1993 05mm, julho/1996 7mm, julho/1997 9mm e julho/1998 9mm.

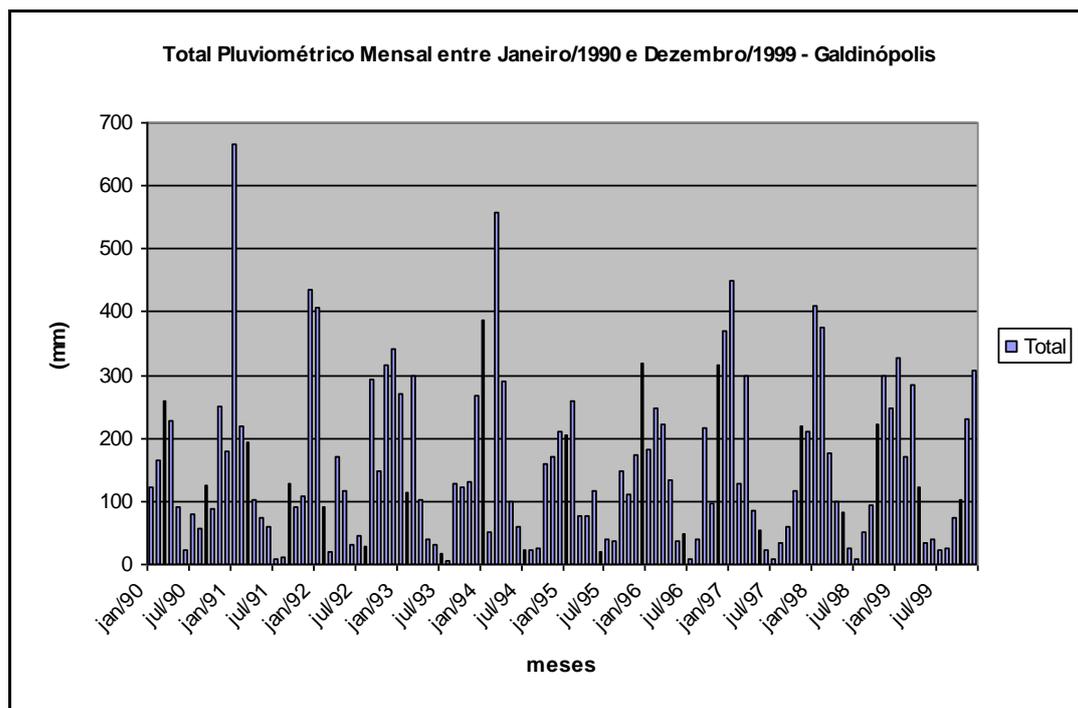


Gráfico 6.5: Total pluviométrico mensal entre Janeiro/1990 e Dezembro/1999 da Estação Galdinópolis (fonte: ANA/2010)

O gráfico 6.6 apresenta os totais pluviométricos diários entre 01/01/1990 e 31/12/1999. Novamente ocorre uma oscilação sazonal entre o período chuvoso do ano com valores diários altos e o período seco do ano com valores nulos. Entretanto neste gráfico destacam-se a recorrência de eventos de alta magnitude, neste trabalho destacados os valores acima de 60mm. Nesta década observam-se trinta e cinco dias de chuvas com grande poder de mobilização de sedimentos. Considerando que na década anterior houve quarenta e um eventos como este, pode-se afirmar que houve um decréscimo nesta década. Já os eventos acima de 100mm mantiveram-se com a frequência estável, sendo seis na década anterior e cinco nesta em questão.

Cabe destacar a pluviometria dos dias 17/01/1991 94mm e 18/01/1991 116mm, totalizando 210mm em 48 horas. Sabendo que os solos a partir de uma certa concentração de água não conseguem mais infiltrar as águas pluviais, imagina-se que nestes dois dias houve uma grande quantidade de escoamento superficial e consequente remoção e mobilização de sedimentos. Além disto, o rio Macaé, provavelmente, aumentou seu fluxo, logo cresceu sua competência e transporte de sedimentos dos mais variados tamanhos.

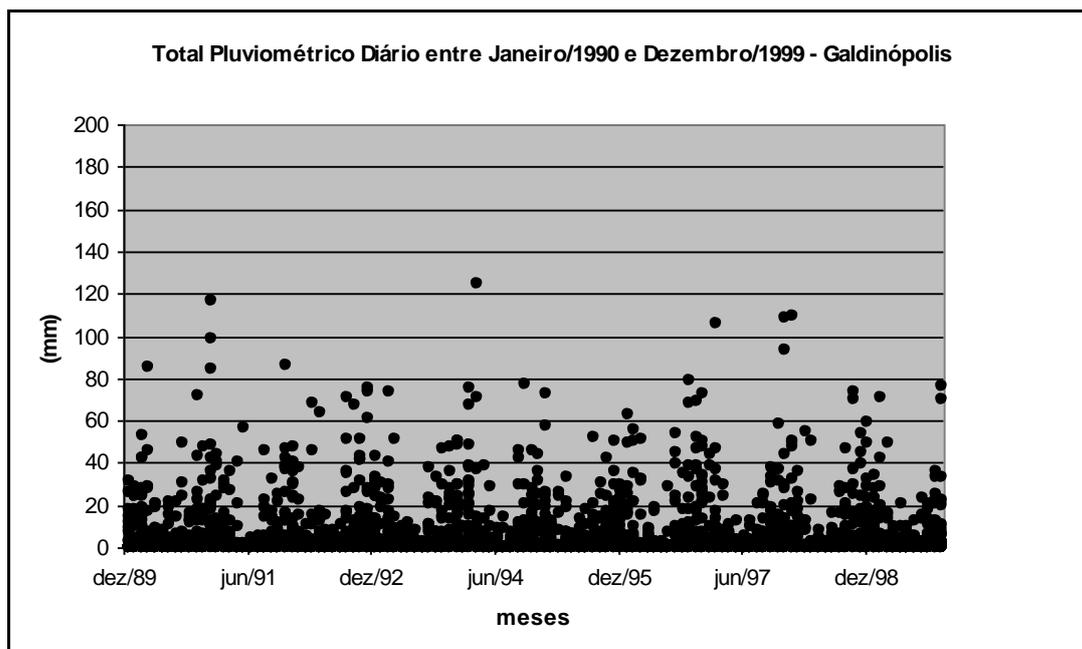


Gráfico 6.6: Total pluviométrico diário entre Janeiro/1990 e Dezembro/1999 da Estação Galdinópolis (fonte: ANA/2010).

O gráfico 6.7 apresenta o gráfico dos totais pluviométricos mensais entre janeiro de 2000 e dezembro de 2009. Nesta década observam-se que nos anos 2004, 2008 e 2009 houve cinco meses de totais pluviométricos acumulados acima dos 200mm. Além disto, neste período observam-se vinte e um meses onde a pluviometria acumulou mais de 300mm, enquanto que na década anterior apenas quinze meses alcançaram este valor. Já o número de meses com índices superiores a 400mm manteve-se estável se comparado à década anterior, sendo cinco o número total de meses. Sendo assim, observa-se que nos meses chuvosos, além de manter a mesma frequência para índices acima de 400mm, a recorrência de índices mensais altos, acima de 200mm, aumentou.

Nos meses secos destacam-se junho/2000 4mm, junho/2001 11mm, agosto/2001 10mm, agosto/2003 7mm, agosto/2007 3mm e julho/2008 8mm. Estes valores demonstram que na década entre 2000 e 2009 houve seis meses com chuvas menores ou iguais a 11mm, isto é, a mesma frequência que na década anterior.

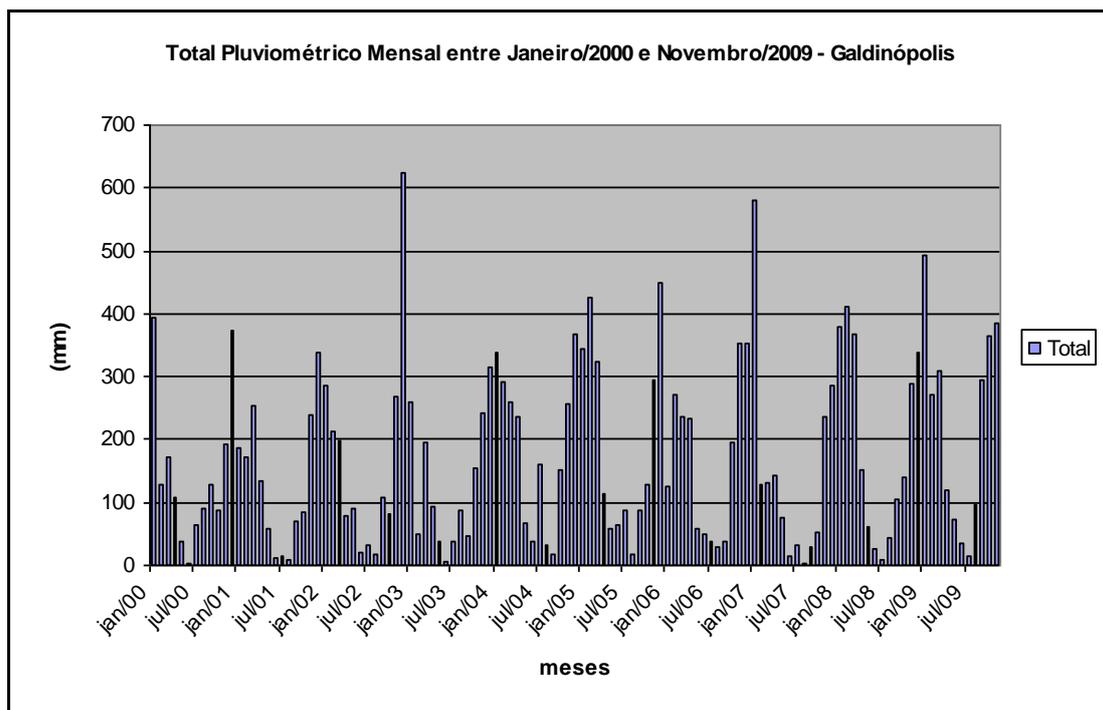


Gráfico 6.7: Total pluviométrico mensal entre Janeiro/200 e Dezembro/2009 da Estação Galdinópolis (fonte: ANA/2010)

O gráfico 6.8 apresenta o gráfico do total pluviométrico diário entre 01/01/2000 e 31/12/2009. Enquanto a frequência de eventos diários acima da cota 100mm manteve-se estável quando comparada às décadas anteriores com cinco eventos na década, a frequência de totais acumulados acima de 60mm cresceu novamente, atingindo quarenta e três dias neste período. Destacam-se nesta década os dias 08/11/2005 110mm, 18/04/2006 100mm, 01/12/2007 117mm, 22/01/2009 128mm e 13/02/2008 106mm.

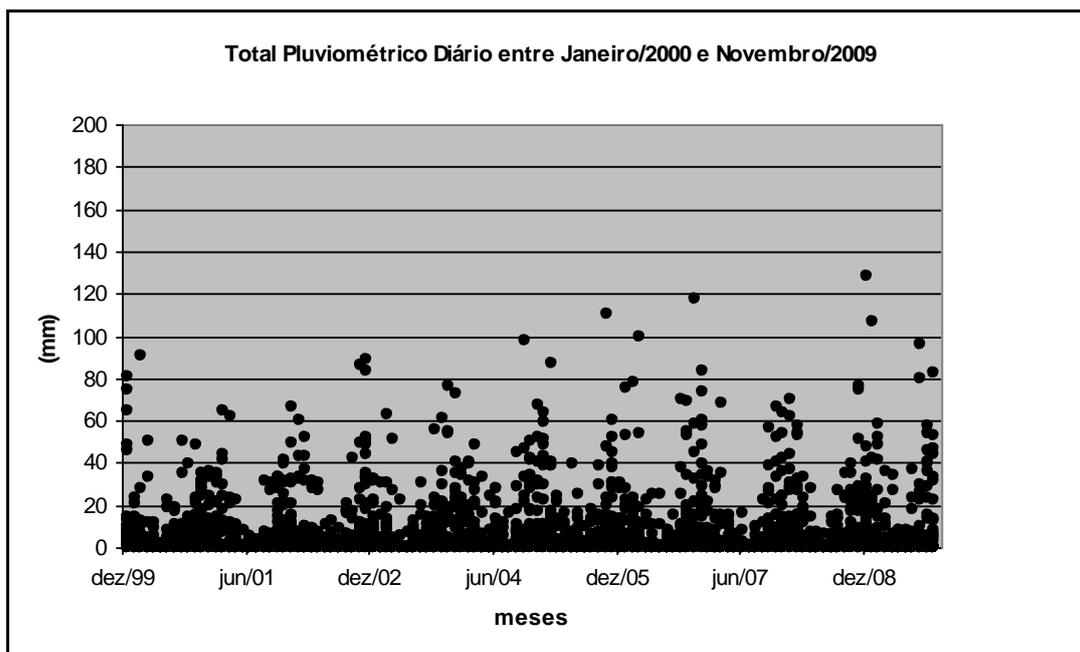


Gráfico 6.8: Total pluviométrico diário entre Janeiro/2000 e Dezembro/2009 da Estação Galdinópolis (fonte: ANA/2010).

Nascimento (2011) relacionou dados de pluviometria e vazão na bacia do rio Macaé entre os anos 1950 e 2005. Seus resultados apontam que os eventos pluviométricos máximos interanuais estão ficando mais fortes no baixo curso enquanto que no alto curso apresentam-se estáveis. Já as tendências pluviométricas sazonais apontam para uma similaridade de comportamento entre o baixo e o alto curso onde há um aumento nos totais acumulados do verão e diminuição no período do inverno.

Acredita-se que os dados utilizados na presente pesquisa apresentem conformidade com os resultados encontrados por Nascimento (2011) quando afirmam que os eventos extremos diários mantenham uma regularidade temporal e em seus valores. Já esta tendência citada pelo autor não foi encontrada nesta pesquisa. Pôde-se observar nestas quatro décadas analisadas que houve uma oscilação, pois quando em um período se observava grande acúmulo pluviométrico, no período seguinte os dados apresentavam-se menores.

#### 6.4. Perfis Transversais

O grupo de pesquisas em geomorfologia fluvial do LAGESOLOS vem realizando desde 2007 o monitoramento das variações hidrossedimentológicas em diversas estações ao longo do canal do rio Macaé em, pelo menos, dois períodos anuais que correspondem à estação seca e à estação das chuvas. A figura 6.7 apresenta os resultados desses monitoramentos na seção instalada após a confluência com o rio Sana e que está localizada logo após as feições geomorfológicas aqui analisadas. Já a tabela 6.6 apresenta os valores das áreas formadas entre a lâmina d'água e o leito do canal. Destaca-se que foi realizada uma campanha para o monitoramento desta e outras seções na semana do dia 07/03/2010, entretanto não foi possível realizar a medição desta seção, pois além da grande profundidade encontrada havia muita turbulência neste trecho, o que colocaria em risco a equipe. Sendo assim, admite-se que a área da seção transversal do dia 07/03/2010 é maior que 40m<sup>2</sup>.

Conforme pode ser visto na figura 6.7 não há uma correlação direta entre o aprofundamento do leito e a estação do ano. Isto é, não foram encontradas informações capazes de inferir que o leito do canal do rio Macaé, naquele trecho, seja erodido nos períodos chuvosos e apresente deposição nos períodos secos. Entretanto observa-se uma correlação direta entre a área preenchida pela água no perfil transversal e a estação do ano. As medições realizadas em março apresentam valores maiores que 30m<sup>2</sup> (07/03/2008 >40m<sup>2</sup>; 06/03/2009 36,68m<sup>2</sup> e 28/03/2010 38,91m<sup>2</sup>), enquanto que as realizadas em julho e outubro não chegam a 25m<sup>2</sup> (06/10/2007 14,89m<sup>2</sup>; 09/07/2008 24,03m<sup>2</sup>; 04/10/2008 22,42m<sup>2</sup>; 17/10/2009 22,44m<sup>2</sup> e 16/10/2010 17,40m<sup>2</sup>). Entrevistas com moradores apontam que o rio Macaé neste ponto chega a alcançar a cota -1m deste perfil em dias de vazão extremamente alta.

Cabe destacar, também, o confinamento apresentado neste perfil transversal. Após uma área de relativa baixa de energia, onde forma as feições geomorfológicas aqui analisadas, em função da expansão das suas margens, o rio Macaé retoma o formato de um único canal e segue em direção ao próximo nível de base. Isto pode justificar a estabilidade das margens neste trecho. Não há indícios de erosão e de deposição nas margens apesar da lâmina d'água oscilar mais de um metro quando comparado os perfis dos dias 09/07/2008 e 28/03/2010.

Por outro lado observa-se uma progressiva elevação no leito do canal neste ponto. Os perfis mais recentes apontam para a subida do leito mesmo no período chuvoso dos anos 2009 e 2010. Ainda que as áreas mensuradas apontem valores maiores nessas datas, o leito do rio Macaé vem progressivamente apresentando indícios de deposição neste trecho. Os valores das áreas das seções encontrados apresentam, portanto, maior influência da altura da lâmina d'água ao invés de serem controlados pelo rebaixamento do leito.

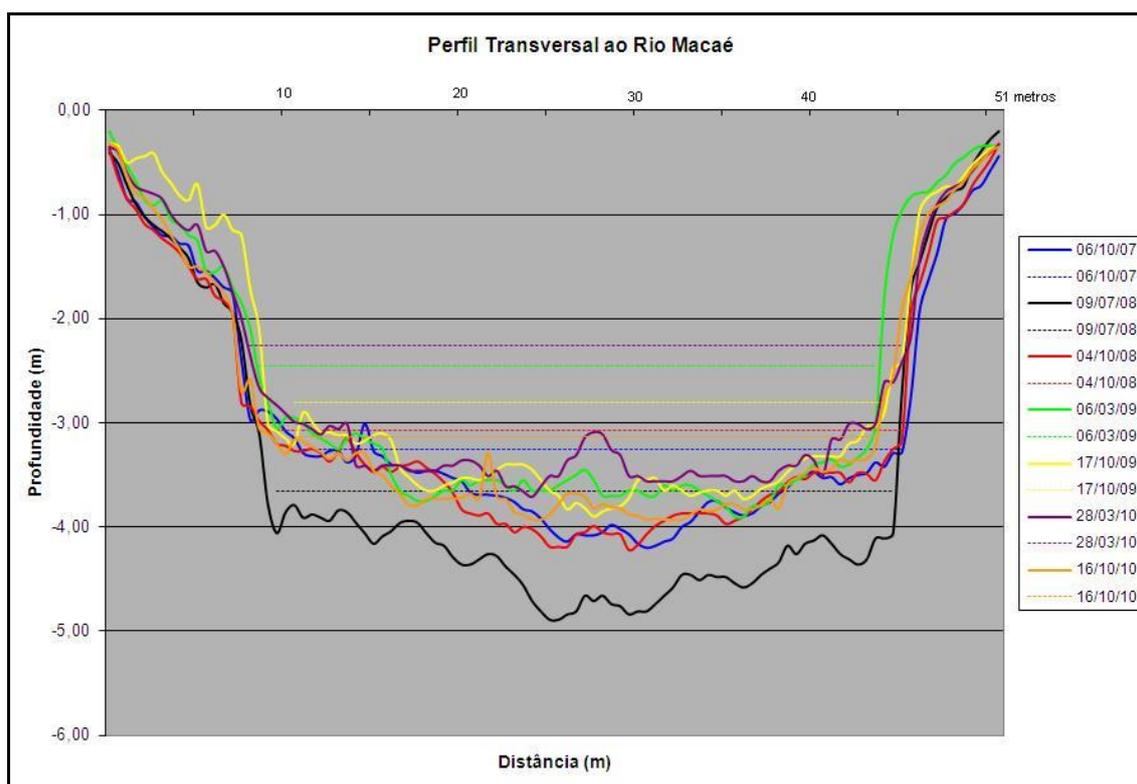


Figura 6.7: Perfis Transversais do canal do rio Macaé.

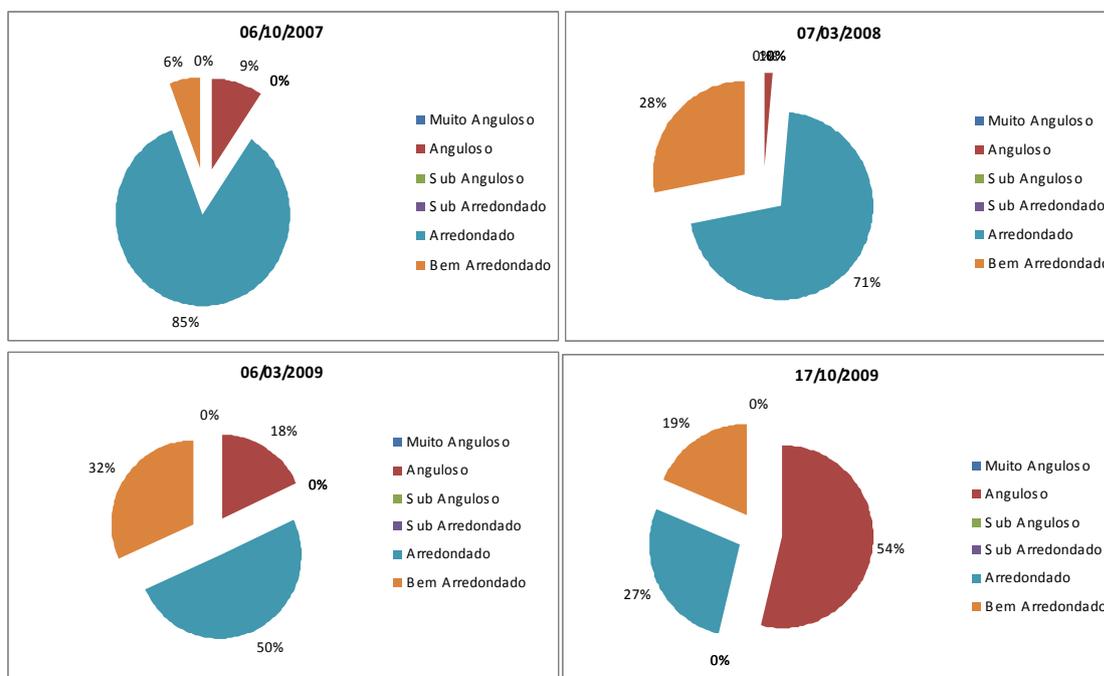
Data	Área (m <sup>2</sup> )
06/10/2007	14,89
07/03/2008	> 40
09/07/2008	24,03
04/10/2008	22,42
06/03/2009	36,68
17/10/2009	22,44
28/03/2010	38,91
16/10/2010	17,40

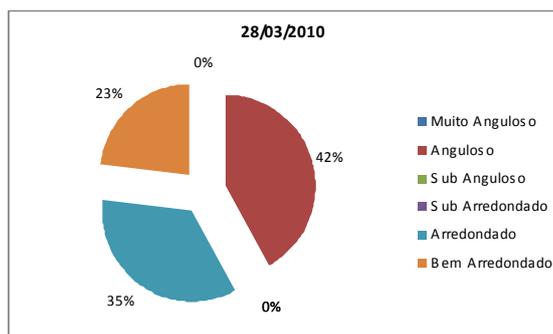
Tabela 6.6: Áreas encontradas nos respectivos dias de monitoramento da seção transversal.

Os gráficos 6.9 a 6.13 apresentam os percentuais encontrados nas análises do grau de arredondamento dos sedimentos coletados no canal do rio Macaé quando foram realizados os perfis transversais. Observa-se que, no período do mês de março (mais

chuvoso) há uma predominância dos sedimentos arredondados e bem arredondados e um menor percentual de sedimentos angulosos. Já para o período de outubro (menos chuvoso) ocorre o inverso, quando aumenta a ocorrência de sedimentos angulosos em relação aos mais arredondados. Considerando que para os sedimentos se tornarem arredondados ocorre a erosão física ao longo do trajeto do rio, através do choque entre eles e o leito, o que desgasta suas arestas, pode-se inferir que os mesmos percorrem longos percursos, denotando uma área fonte distante.

Analisando o mapa hipsométrico (figura 6.1) observa-se que neste trecho o rio Macaé percorre um ambiente de semi-confinamento, isto é, um alvéolo onde há deposição de sedimentos das áreas à montante. Além disto, o mapa de declividade (figura 6.2) apresenta que as áreas mais íngremes não se situam nesta região da sub-bacia, corroborando o fato da área fonte ser distante deste ponto. Entretanto, os mapas das feições geomorfológicas (figuras 6.8 a 6.18), expostos a seguir, apontam que está havendo uma remoção do material que compõe uma das ilhas fluviais. Esses sedimentos predominantemente arredondados, apesar de serem originários de vertentes distantes deste ponto, podem ter sido retidos nessas ilhas fluviais e atualmente vêm sendo novamente retrabalhados.





Gráficos 6.9 a 6.13: Gráficos percentuais do grau de arredondamento dos sedimentos coletados no canal do rio Macaé.

## 6.5. Evolução Temporal das Feições Geomorfológicas

As figuras 6.8 a 6.16 apresentam os mapeamentos das margens do rio Macaé após a confluência com o rio Sana, onde forma três feições fluviais. A fim de facilitar as análises dos resultados, as feições foram numeradas de um a três, sendo a ilha localizada na margem direita a feição 1, a ilha localizada na margem esquerda a feição 2 e a ilha à jusante das outras duas a feição 3. A figura 6.8 apresenta a ortofoto da AMPLA e as margens referentes ao ano 2000, na figura 6.9 foi utilizada uma imagem extraída do *Google* referente ao ano 2003, assim como as figuras 6.10 do ano 2004, 6.12 referente ao ano 2006 e 6.13 referente ao ano 2010. A figura 6.9 foi elaborada com uma ortofoto da IBGE e apresenta as condições relativas à 2005. A figura 6.14 apresenta as mudanças nas margens do rio Macaé entre os anos 2000, 2003 e 2004, enquanto que a figura 6.15 apresenta as mudanças entre os anos 2005, 2006 e 2010. A figura 6.16 traz uma síntese das mudanças históricas, no período analisado, deste trecho do canal.

De acordo com o levantamento pluviométrico da década que precedeu a análise destas feições (1990-1999), apesar de apresentar recorrência de eventos de alta magnitude, foi uma década de baixa entrada de energia no sistema na forma de chuvas catastróficas quando comparada à década seguinte (2000-2009). Nos dois últimos anos (1998 e 1999) apenas três eventos alcançaram 60mm. Neste sentido, o rio Macaé permaneceu um longo período com uma vazão estável e seu fluxo com baixa competência, denotando um comportamento mais deposicional que erosivo.

Este dado pode justificar, não só, a presença, como a marcante área e a estável vegetação da ilha 3 no ano 2000. Observa-se que na sua face à montante há uma concentração de sedimentos depositados pelo canal. Neste ano poucas barras, sejam longitudinais ou laterais, são visíveis. Esta condição permanece até 2003. Observa-se que tanto as ilhas como as margens laterais do canal do rio Macaé neste período possuem pouca vegetação ciliar e arbustiva.

A partir de 2003 ocorre a redução da ilha 2 a partir da sua face à montante. Porém em 2004 esta erosão permanece estável. Este fato pode ser justificado pela recorrência de quinze eventos pluviométricos acima de 60mm entre 2000 e 2004. Inclusive em 2004, ocorre uma migração da barra lateral, antes localizada na face à montante da feição 3, para suas margens laterais.

Em 2005 a ilha 2 apresenta uma significativa redução de área e em paralelo um crescimento de um depósito em sua face à montante. Neste mesmo período são observados o crescimento de outras barras laterais na ilha 1 e outra na ilha 2. A ilha 3, neste período, perde estabilidade e se transforma numa barra transversal, apresentando um depósito de sedimentos à sua jusante. Destaca-se que neste ano a foz do rio Sana está assoreada e o canal apresenta uma vazão baixa e reduzida capacidade de transporte quando alcança às áreas sob influência do rio Macaé.

Em 2006 este quadro intensifica-se. A ilha 2 reduz ainda mais e em paralelo cresce o depósito em sua face à montante. Além disto a foz do rio Sana permanece assoreada e sua margem apresenta-se mais estreita. Destaca-se que entre 2000 e dezembro de 2005 vinte e dois eventos de chuva acima dos 60 mm foram registrados, sendo que um deles em 08/11/2005 alcançou os 110mm.

Em 2010 a ilha 1 apresenta uma extensa barra lateral em sua margem direita. Já a ilha 2 permaneceu praticamente estável, apresentando apenas uma redução no depósito localizado na face à montante. E a ilha 3 que desde 2005 apresentava-se como uma barra longitudinal, apresentou uma migração lateral em 2006, mas manteve sua área até 2010. Observa-se, entre 2000 e 2010m que a margem externa direita do rio Macaé oscilou pouco se comparada à oposta.

Considerando as mudanças ocorridas na cobertura da terra entre 2000 e 2006 observa-se que, apesar da redução da área florestada e simultânea ampliação da atividade agropecuária (tabela 6.5), a carga de sedimento que alcançou a calha fluvial não ficou retida nestas feições. Ainda que tenha havido a redução na cobertura florestal na região, em cerca de 30%, não necessariamente pode-se considerar que houve uma ampliação proporcional da carga de sedimento e que esta carga tenha ido ao canal fluvial. Porém, ainda que verdadeira essa possibilidade observa-se no canal do rio Macaé pouca retenção de sedimentos.

Neste sentido, considera-se que a diminuição da proteção dos solos não ampliou significativamente a produção sedimentar ou, se houve incremento no aporte de sedimentos na calha fluvial, a vazão deste período teve competência suficiente para transportar esta taxa adicional de sedimentos, ao menos deste trecho.

Com isto, pode-se inferir que o rio Macaé, entre 2000 e 2010, apresentou um comportamento muito mais erosivo que deposicional neste trecho da bacia. Algumas

barras de sedimentos carregados foram formadas pelo processo de retenção das ilhas, mas de um modo geral, houve um retrabalhamento destes sedimentos sendo levados em outros episódios de cheias. Além disto, observa-se que a ilha 2 apresentou uma significativa redução de sua área nesses dez anos e a ilha 3 perdeu sua estabilidade, tornando-se vulnerável às vazões extremas.

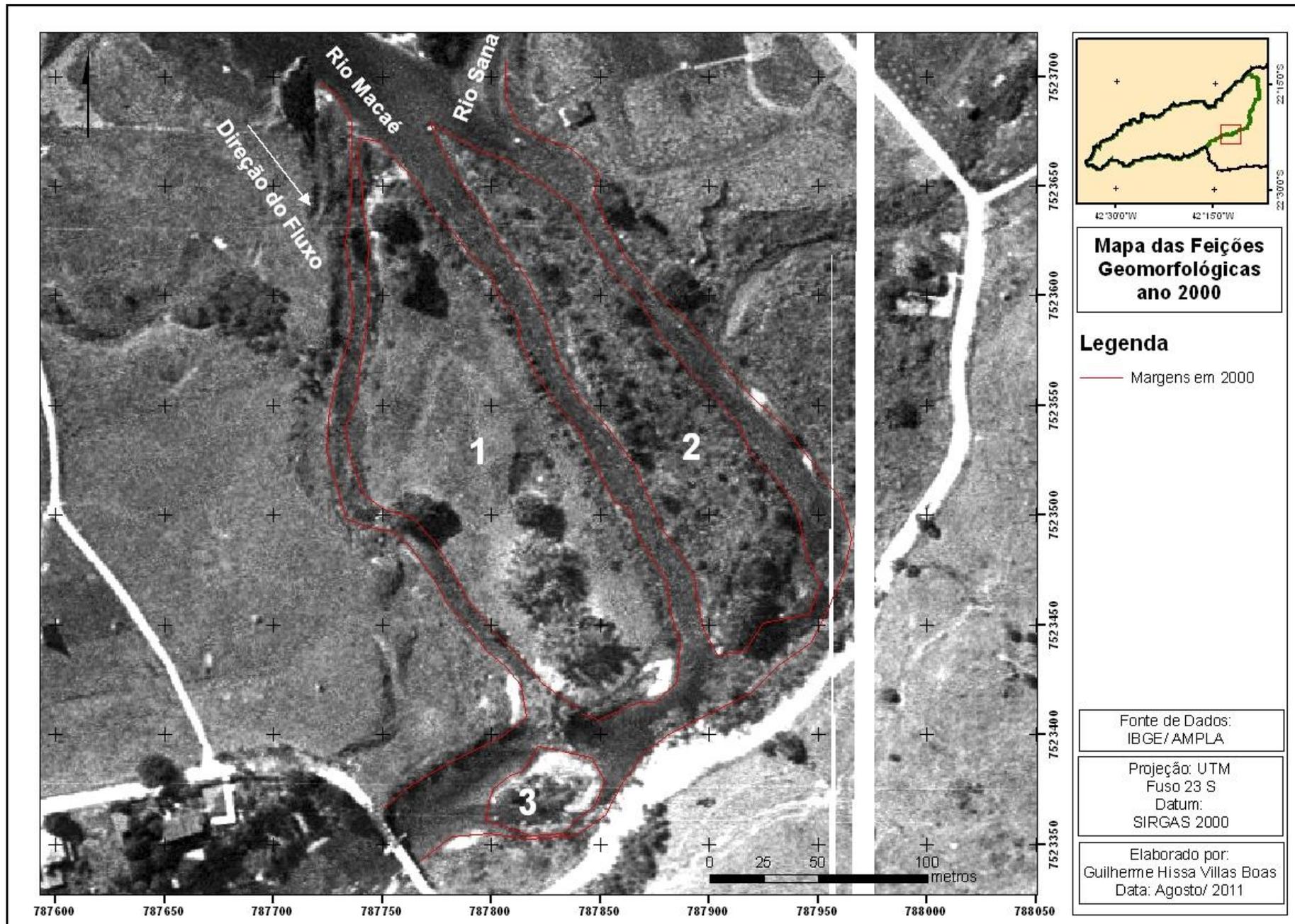


Figura 6.8: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2000.



Figura 6.9: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2003.

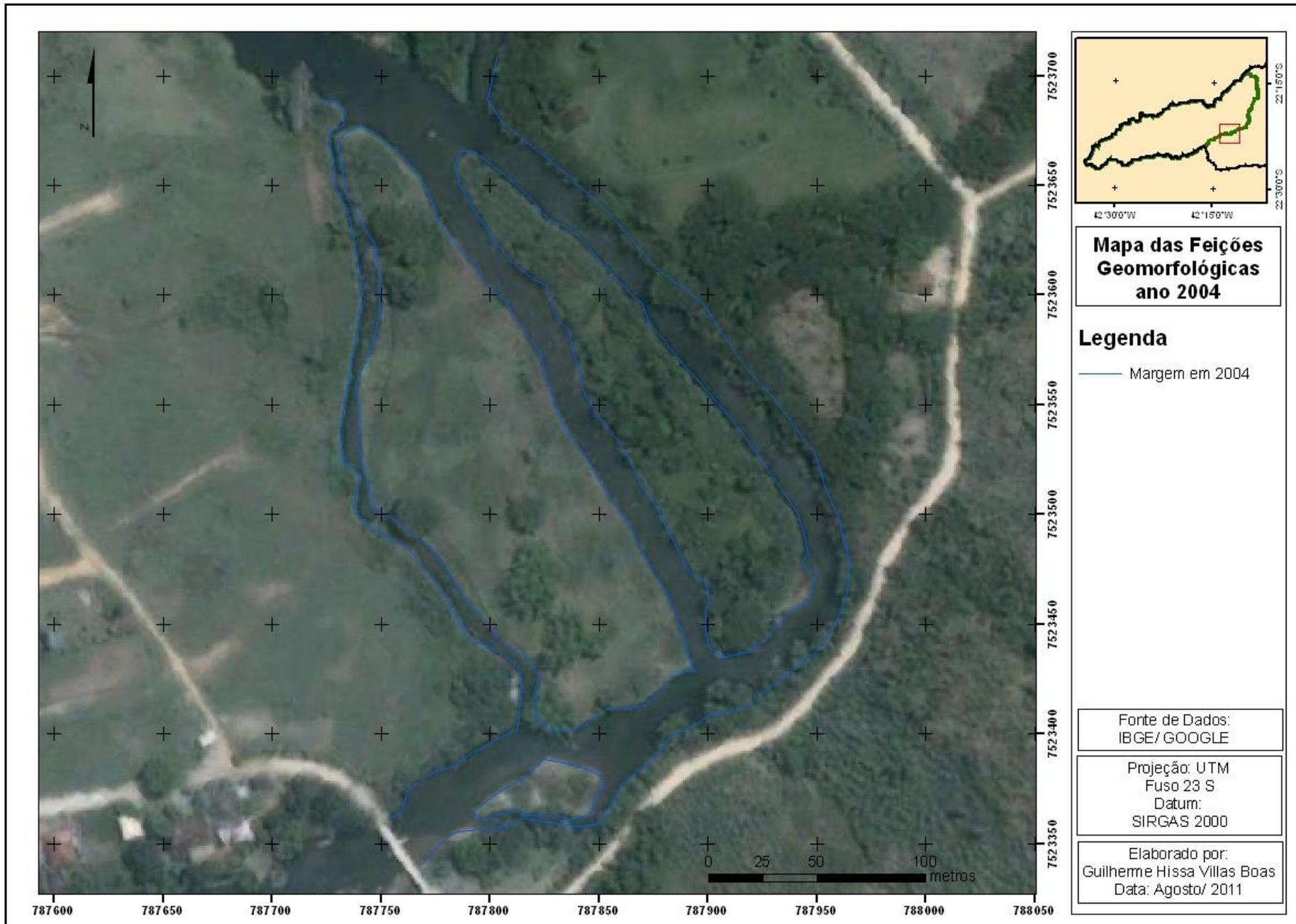


Figura 6.10: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2004.



Figura 6.11: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2005.



Figura 6.12: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2006.



Figura 6.13: Mapeamento das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé no ano 2010.

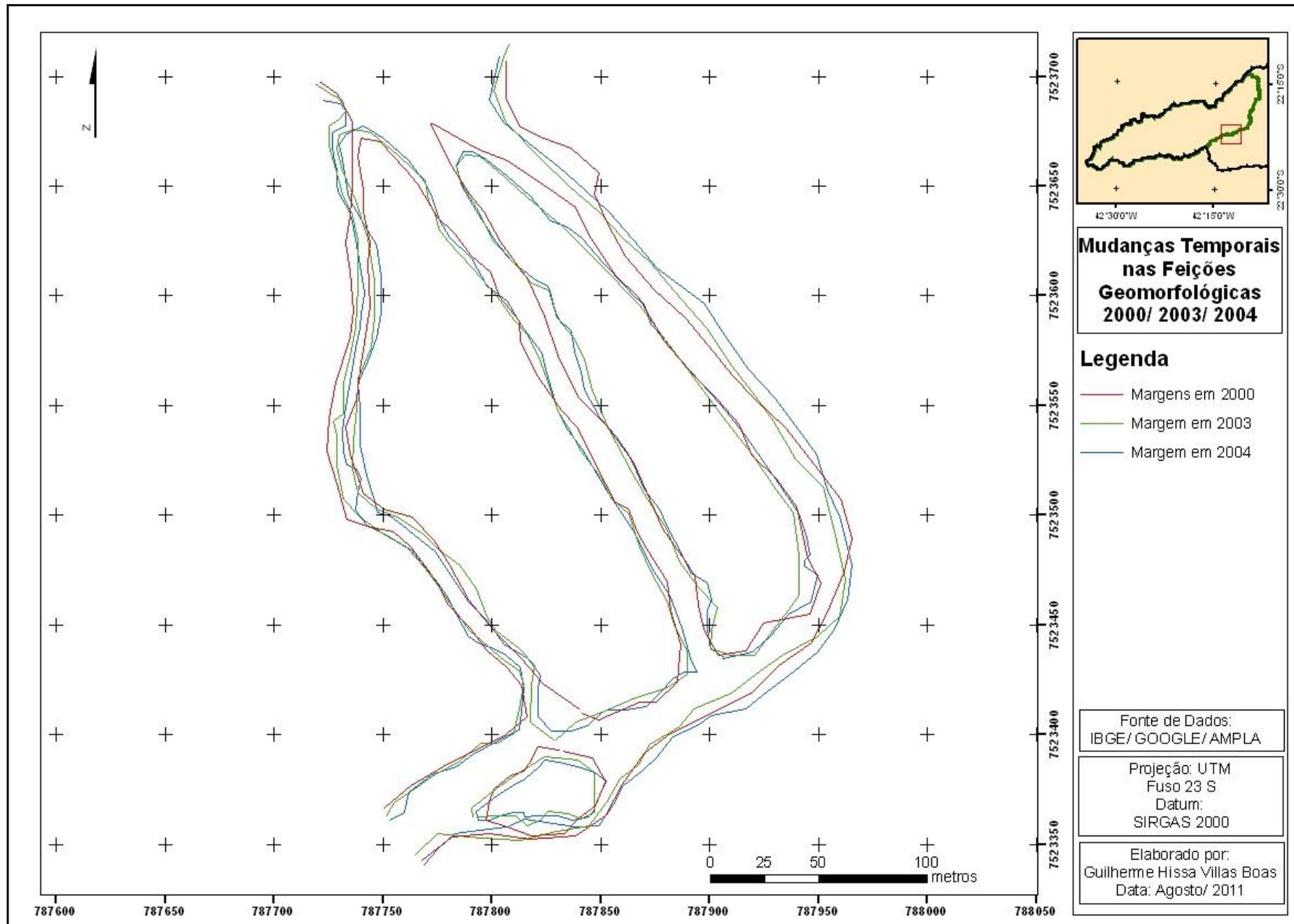


Figura 6.14: Mapeamento da evolução temporal das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé nos anos 2000, 2003 e 2004.

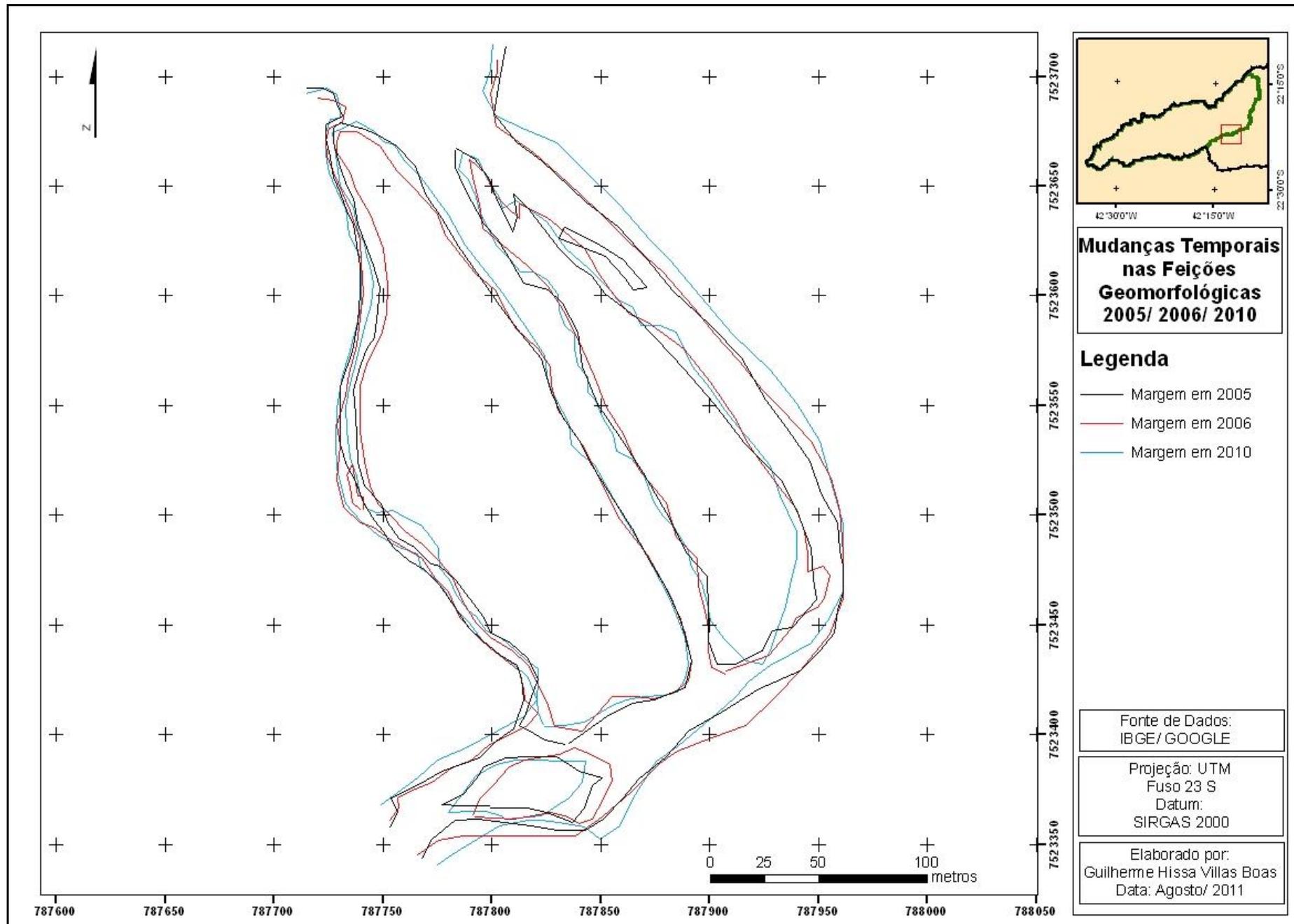


Figura 6.15: Mapeamento da evolução temporal das feições geomorfológicas do canal do rio Macaé nos anos 2005, 2006 e 2010.

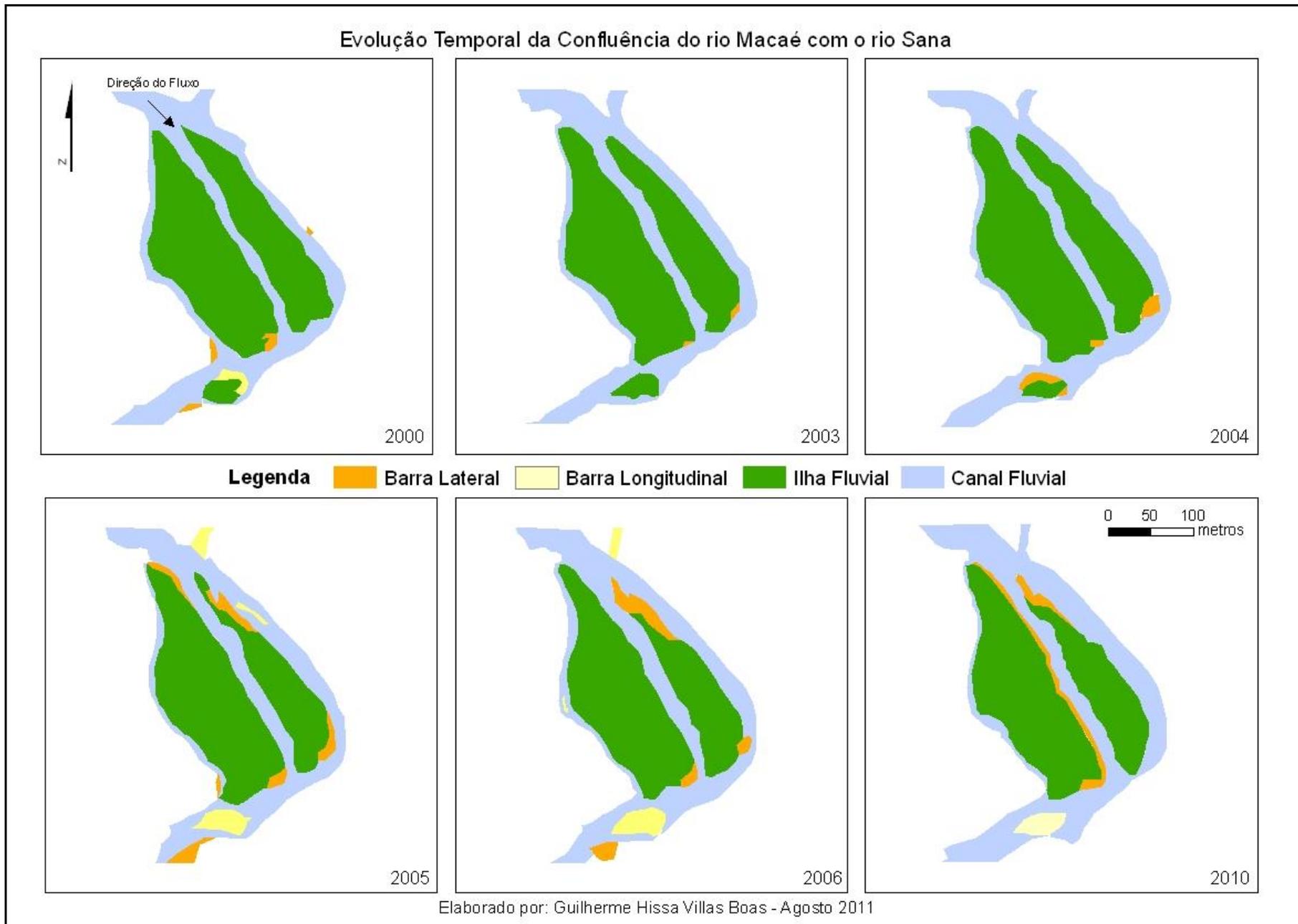


Figura 6.16: Mapa de evolução temporal das feições geomorfológicas da confluência do rio Macaé com o rio Sana.

## 7. Conclusões

A questão central trazida pela presente pesquisa foi buscar subsídios para compreender e avaliar de forma qualitativa como vem ocorrendo o auto-ajuste do sistema de drenagem da sub-bacia Alto-Médio Macaé (SAM), com base na caracterização dos agentes e mecanismos desencadeadores da dinâmica hidrossedimentar. Buscou-se avaliar a sensibilidade do sistema de drenagem a partir da caracterização da distribuição temporal das chuvas e das diferentes coberturas da terra em um período determinado no âmbito desta sub-bacia.

A caracterização física apontou relevantes aspectos que merecem destaque no que tange as forças intrínsecas à este sistema. O relevo escarpado, principalmente nos divisores de drenagem entre as sub-bacias do rio Sana e do rio Macaé, resultado da litologia da área; a presença de neossolos litólicos e cambisolos, com profundidades rasas e baixa estabilidade e a alta densidade de nascentes, apontam-nos como áreas propensas a disponibilizar sedimentos para o sistema fluvial. Além disto, as poucas áreas em forma de alvéolos que o rio Macaé atravessa ao longo do seu vale confinado, ganham maior importância na dinâmica fluvial, por apresentarem-se como áreas retentoras de sedimentos e servirem como níveis de base locais.

Outro ponto de destaque é a influência antrópica na produção sedimentar, através da retirada da cobertura florestal, que seguiu em direção aos divisores, não se restringindo aos fundos de vales. Estima-se que com a criação, e devida implantação, das Unidades de Conservação daquela área, as mudanças na cobertura florestal tenham uma dinâmica mais lenta.

Associado a isto, no período de dez anos, entre 2000 e 2009, ocorreu uma concentração de chuvas nos períodos de verão com maior recorrência de eventos de alta magnitude. Entretanto esta característica não foi exclusiva desta década. Quando comparadas as quatro décadas observou-se que houve uma oscilação cíclica da pluviometria. Após uma década com um significativo número de eventos de alta magnitude ocorre uma década com chuvas mais amenas. Sendo assim, estima-se que a próxima década (2010-2019) terá características pluviométricas mais brandas.

Já a resposta das feições geomorfológicas selecionadas apontaram para um comportamento erosivo da sub-bacia Alto-Médio Macaé. Considerando que a proteção dos solos apresentou uma redução de cerca de 30% e a pluviometria acumulada não

tenha apresentado um significativo crescimento, esperava-se um comportamento oposto ao encontrado. Isto é, se a vazão média do rio Macaé não apresentou significativo aumento enquanto crescia o aporte de sedimentos, a tendência é que as feições fluviais apresentassem um crescimento ou, pelo menos, uma manutenção das suas áreas dentro do período analisado.

Neste sentido, observa-se que a sub-bacia Alto-Médio Macaé tem uma conectividade eficiente nesta área, recebendo e transportando sedimentos a partir das partes mais altas para as partes baixas da bacia do rio Macaé. A redução da área das ilhas analisadas e a elevação do leito na seção transversal podem corroborar com este fato.

Destaca-se que os dados apresentados por Lima (2010) acerca da conectividade dos ambientes fluviais da bacia do rio Macaé apontam que as feições aqui analisadas encontram-se em ambientes de vale confinado com média a baixa energia e tem como características principais a conectividade, a moderada resiliência e localizado potencial de ajuste. Assim, o leito arenoso e pedregoso, controlado pelo embasamento rochoso, permite a formação de barras laterais, corredeiras e ilhas que induzem a uma grande diversidade hidráulica. As transformações no leito ocorrem de forma lenta e gradual a partir da sequência histórica de transporte sedimentar, influenciado, principalmente, por mudanças climáticas.

Sendo assim, a sub-bacia Alto-Médio Macaé apresentou um elevado grau de resiliência, o que denota que sua sensibilidade às transformações impostas na última década não foi alterada. O principal agente influente na dinâmica fluvial, no período analisado, foi a pluviosidade. Desta forma, caso ocorra uma redução dos eventos pluviométricos de alta magnitude na próxima década (2010-2019) estima-se que ocorra uma ampliação das feições fluviais analisadas, o que apresentar-se-ia como um retorno à uma situação prévia, ou uma retomada do status anterior.

Observa-se que a magnitude das transformações apresentadas não se sobrepôs às forças de resistência da sub-bacia Alto-Médio Macaé, ou pelo menos a área selecionada como diagnóstico não apresentou respostas. Em paralelo, é possível inferir que o tempo de resposta considerado não foi suficiente para realizar um diagnóstico de uma sensibilidade às transformações impostas.

## 8. Bibliografia

- ALLISON, R.J. e THOMAS, D.S.G. (1993). The sensitivity of landscapes. *In: Landscape Sensitivity.* (ed) Thomas, D.S.G. e Allison R.J. Ed John Wiley & Sons. Nova York. Pags 01 – 06.
- ALMEIDA, F.F.M. e CARNEIRO, C.D.R. (1998). Origem e Evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, 28 (2) págs 135-150.
- ARAUJO, J.R. (2003). A industria em Nova Friburgo. *In: Teia Serrana: formação histórica de Nova Friburgo.* ARAUJO, J.R. e MAYER, J.M. (coord). Editora ao livro técnico. Rio de Janeiro. Pags. 181-200.
- ASMUS, H.E. e FERRARI, A.L. (1978). Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. *In: PETROBRÁS. Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil.* Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES/DINTEP. p.75-88.
- ASSUMPTÃO, A.P. (2009). Retificação de canais fluviais no baixo curso da Bacia do rio Macaé – Uma Abordagem Geomorfológica. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BENNETT, R.J. e CHORLEY, R.J. (1978). *Environmental Systems.* Methuen e Co ed. London. 695 págs.
- BERTALANFFY, L.V. (1968). *General System Theory.* George Braziller. New York. 295 pags.
- BÓLOS, M. (1992). El geossistema, modelo teórico del paisaje. *In: Manual de ciencia del paisaje – teoría, métodos y aplicaciones.* (org.) Bólos, M.. Masson S.A. Barcelona. Pags 31-46.
- BOTELHO, R.G.M. e SILVA, A.S. (2004). Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In: Reflexões sobre geografia física no Brasil.* Vitte, A.C. e Guerra, A.J.T.. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. págs 154-192.
- BRIERLEY *et all* (2002). Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Austrália. *Applied Geography* 22; 91-122.
- BRIERLEY, G.J. e FRYIRS, K. (2005). *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework.* Blackwell Publishing, Oxford, UK. 398 pp.
- BROOKS, A. *et all* (2003). *The long-term control of vegetation and woody debris on channel and flood-plain evolution.* *Geomorphology.* 51 págs. 7-29.
- BRUNSDEN, D. (2001). A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. *Catena*, 42: 99-123.
- BRUNSDEN, D. e THORNES, J.B. (1979). Landscape sensitivity and change. *Transactions. Institute of British Geographers*, 4 (4); 463-484.
- BURT, T.P. (2001). Integrated management of sensitive catchment systems. *Catena*, 42; 275-290.
- CHORLEY, R.J. (1969). *Water, earth and man.* Methuen. London. 588 págs.
- CHORLEY, R.J. e KENNEDY, B.A. (1971). *Physical geography: a systems approach.* Prentice Hall. London. 375 págs.

- CHRISTOFOLETTI, A. (1990). A aplicação da abordagem em sistemas na geografia física. *Revista Brasileira de Geografia*, 52 (2); 21-35.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1999). Modelagem de sistemas ambientais. Ed. Edgard Blucher. São Paulo. 236 p.
- CONTI, J.B. e FURLAN, S.A. (2005). Geoeecologia: o clima, os solos e a biota. *In: Geografia do Brasil* ROSS, J.L.S (org). Ed USP. 546 págs.
- COOKE, R.U. e DOORNKAMP, J.C. (1974). *Geomorphology in environmental management*. Oxford University Press. 412 págs.
- DAVIS, E.G. e NAGHETTINI, M.C. (2000). Estudo de Chuvas Intensas no Rio de Janeiro. *In: Projeto Rio de Janeiro*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Brasília. CD-rom.
- DOWNS, P.W. E GREGORY, K.J. (1993). The sensitivity of river channels in the landscape system. *In: Landscape sensitivity*. (ed) Thomas, D.S.G. e Allison R.J. Ed John Wiley & Sons. Nova York. Págs 15 – 30.
- FERNANDES, M.C. (2009). Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análises geoeecológicas. *In: Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica* (Orgs) Bicalho, A.M.S.M. & Gomes, P.C.C. Rio de Janeiro: PPGG, PUBLIT, págs 267-286.
- FONSTAD. M.A. e W.A. MARCUS (2010). High resolution, basin extent observations and implications for understanding river form and process. *Earth Surface Process and Landforms*. 35, págs. 680-698.
- FRYIRS, K. e BRIERLEY, G.J. (2001). Variability in sediment delivery and storage along river courses in Bega catchment, NSW, Australia: implications for geomorphic river recovery. *Geomorphology*, 38; págs 237-265.
- GARCIA-RUIZ, J.M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81; págs 1-11.
- GUERRA, A.J.T. (1994). Processos erosivos nas encostas. *In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs). Bertrand Brasil. Rio de Janeiro.
- GUERRA, A.J.T. e MARÇAL, M.S. (2007). *Geomorfologia ambiental*. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 192 págs.
- HASUI, Y. (1990). Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. SBG/MG. Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro, Belo Horizonte, 1: pp. 1-31.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2006). Manual técnico de uso da terra. Rio de Janeiro. 91 págs.
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA (2011). Disponível em [www.inea.rj.gov.br](http://www.inea.rj.gov.br). Acessado em 10 de agosto de 2010.
- JENSEN, J. (2006). Topographic Position Index (tpi\_jen.avx) extensión for ARCVIEW 3.X, v.1.3a. Jennes Enterprises. Disponível em: [www.jennessent.com/arcview/tpi.htm](http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm)
- KNOX, J.C. (2001). Agricultural influence on landscape sensitivity in the Upper Mississippi River Valley. *Catena*, 42; 193-224.
- KONDOLF, G.M. e PIÉGAY, H. (2003). *Tools in fluvial geomorphology*. John and Wiley Sons. England. 692 págs.

- LATOCHA, A. (2009). Land-use changes and longer-term human–environment interactions in a mountain region (Sudetes Mountains, Poland). *Geomorphology*, 108; págs 48-57.
- LIMA, R.N.S (2010). Conectividade dos ambientes fluviais: implicações para avaliação de sensibilidade do sistema de drenagem da bacia do rio Macaé (RJ). Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MARÇAL, M.S. (2009). Bacia Hidrográfica como novo recorte no processo de gestão ambiental. *In: Questões Metodológicas e Novas Temáticas na Pesquisa Geográfica* (Orgs) Bicalho, A.M.S.M. & Gomes, P.C.C. Rio de Janeiro: PPGG, PUBLIT, págs185-205.
- MARQUES, J.S. (1994). Ciência geomorfológica. *In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs). Bertrand Brasil. Rio de Janeiro.
- MATOS, S.H.V.L. e PEREZ FILHO, A. (2004). Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema.
- MAYER, J.M. (2003). A criação de Nova Friburgo. *In: Teia Serrana: formação histórica de Nova Friburgo*. ARAUJO, J.R. e MAYER, J.M. (coord). Editora ao livro técnico. Rio de Janeiro. Pags. 19-46.
- MEIS, M.R. *et all* (1982). Desnivelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. *In: CBG*, 32, Salvador. Anais. SBG 4: 1489-1509
- MENDONÇA-SANTOS, M.L. *et all* (2007). Mapeamento digital de classes de solos no Estado do Rio de Janeiro / Maria de Lourdes Mendonça Santos ... [et al.]. – Dados eletrônicos – Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- NANCO, K. *et all* (2008). Estimation of soil splash detachment rates on the forest floor of an unmanaged Japanese cypress plantation based on field measurements of throughfall drop sizes and velocities. *Catena*, 72; págs 348-361.
- NASCIMENTO, F.J.B. (2011). Estudos de séries históricas hidrológicas: uma abordagem geomorfológica na bacia do rio Macaé (RJ). Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro
- NATAL, C.B. (2003). O turismo rural na região serrana fluminense: um estudo de caso de São Pedro da Serra. *In: Revisando o território fluminense*. MARAFON, G.J. e RIBEIRO, M.A. (orgs). Negef. Rio de Janeiro. Pags 169-186.
- NICOULIN, M. (2003). A gênese de Nova Friburgo: emigração e colonização suíça no Brasil 1817 - 1827. Fundação Biblioteca Nacional. Rio de Janeiro. 367 p.
- OLIVEIRA, F.L. *et all* (2008). Monitoramento dos sistemas de drenagem da bacia do rio Macaé (RJ.) *In: Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia*. Belo Horizonte. CD-rom.
- OWENS, P.N. (2005). Conceptual models and budgets for sediments management at the river basin scale. *Journal of Soils & Sediments*, 5 (4); 201-212.
- PORTO *et all* (2009). Investigating the effects of afforestation on soil erosion and sediment mobilisation in two small catchments in Southern Italy. *Catena*, 79; págs 181-188.
- SANT'ANNA NETO, J.L. (2005). Decálogo da Climatologia do Sudeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Climatologia*; v1.
- SCHUMM, S. A. (1977). *The fluvial system*. Wiley and sons, 338p.
- SELBY, M.J. (1985). *Earth's changing surface*. Oxford University Press. 602 págs.
- SHREVE, R.L. (1966). Statistical law of stream numbers. *Journal of geology*, 74 (1); 17-37.

SILVA, L.C. (2010). Manejo de rios degradados: uma revisão conceitual. *Revista Brasileira de Geografia Física*. Recife. Vol 03, págs 23-32.

SILVA, L.C. e CUNHA, H.C.S. (2001). orgs. *Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro*. In: Projeto Rio de Janeiro. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Brasília. CD-rom.

SILVA, R.C.R.S. e CARVALHO, A.M. (2004). Formação econômica da região norte fluminense. *In: Economia e desenvolvimento no norte fluminense: da cana-de-açúcar aos royalties do petróleo*. PESSANHA, R.M. e NETO, R.S. (org). Wtc editora. Campos dos Goytacases. 364 p.

SOTCHAVA, V.B. (1977). O estudo de geossistemas. *Revista IG-USP*, 16; 1-52.

STRAHLER, A.N. (1951). *Physical geography*. John e Wiley Sons. 534 págs.

SUMMERFIELD, M.A. (1991). *Global geomorphology: an introduction to the study of landform*. Longman Scientific e Technical. 537 págs.

SWIECHOWICZ, J. (2002). The influence of plant cover and land use on slope–channel decoupling in a foothill catchment: a case study from the carpathian foothills, southern Poland. *Earth Surface Process and Landforms*. 27; 463-479.

THOMAS, M. (2001). Landscape sensitivity in time and space – an introduction. *Catena*, 42; 83-98.

TUCKER, M. E. (1981). *Sedimentary petrology: an introduction*. Great Britain: Blackwell Scientific Publications. 252p.

VILLAS BOAS, G. H. et. all. (2008). Caracterização morfométrica da bacia do rio Macaé (RJ). *In: Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia*. Belo Horizonte, MG. CD-rom.