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

NATHALIA SILVA DUARTE

CONECTIVIDADE NO SISTEMA DE DRENAGEM DO RIO SANA, AFLUENTE DO RIO MACAÉ (RJ).

RIO DE JANEIRO
JULHO DE 2015

NATHALIA SILVA DUARTE

CONECTIVIDADE NO SISTEMA DE DRENAGEM DO RIO SANA, AFLUENTE DO RIO MACAÉ (RJ).

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisitos a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Mônica dos Santos Marçal

RIO DE JANEIRO
JULHO DE 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

DUARTE, Nathalia Silva

Conectividade no sistema de drenagem do rio Sana, afluente do Rio Macaé (RJ) Nathalia Silva Duarte – 2015
97F.: Il.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG, Rio de Janeiro, 2015.

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Mônica dos Santos Marçal

1. Conectividade 2. Sistema de Drenagem 3. Macaé 4. Dissertação 5. Transferência de sedimentos e água
I. Mônica dos Santos Marçal (Orient.). II.Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

NATHALIA SILVA DUARTE

CONECTIVIDADE NO SISTEMA DE DRENAGEM DO RIO SANA, AFLUENTE DO RIO MACAÉ (RJ).

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisitos a obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADO POR:

_____

Profª. Drª. Mônica dos Santos Marçal (Dptº Geografia/UFRJ) – Orientadora

_____

Profº. Drº. André de Souza Avelar (Dptº Geografia/UFRJ)

_____

Profº. Drº. Antônio Carlos de Barros Correa (Dptº Ciências Geográficas/UFPE)

Rio de Janeiro

Julho de 2015

AGRADECIMENTOS

À Professora Mônica Marçal pela orientação desta dissertação, atenção e amizade.

Aos integrantes de todas as patentes do Grupo de Pesquisa Geomorphos, em especial à Luziane Mesquita da Luz, Guilherme Hissa Villas Boas, Raphael Nunes de Souza Lima, Juliana Cabral Sessa, Christina Barbara Giesebart e Rodrigo Correia dos Santos, pelo compartilhamento de conhecimentos geográficos e geomorfológicos.

À Carla, secretária do Programa de Pós-Graduação em Geografia, sempre muito solícita a resolver os tramites burocráticos ao longo do mestrado.

Ao Professo Manoel do Couto Fernandes, pelo auxílio na busca de base cartográfica.

Ao Professor Frédéric Monié, pelo incentivo final.

As amigas e companheiras de trabalho da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional Abastecimento e Pesca – SEDRAP, pela compreensão, paciência e palavras de incentivo durante estes anos de pesquisa, em especial as geógrafas Delfina Honrado e Juliana Vasconcellos.

À minha família e aos meus queridos amigos que tiveram paciência e compreenderam, por vezes, a minha ausência nos eventos durante esta fase de muita dedicação aos estudos.

Ao Paulo Leal, companheiro e amigo que sempre me incentivou durante a realização do mestrado e dos trabalhos de campo.

DUARTE, Nathalia Silva. **Conectividade no sistema de drenagem do rio Sana, afluente do Rio Macaé (RJ).** 2015. 96f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Rio de Janeiro, 2015.

RESUMO

Considerando a necessidade de incorporar o aspecto espacial e temporal ao diagnóstico da transferência de água e sedimentos entre subsistemas de uma bacia de drenagem, o objetivo geral desta pesquisa consiste em analisar o fluxo de água e sedimentos entre a encosta e o canal fluvial, no sistema de drenagem do rio Sana, afluente do Rio Macaé (RJ) através da abordagem da conectividade e identificação espacial e do comportamento dos bloqueios responsáveis pela estocagem de sedimentos. Os procedimentos metodológicos e operacionais empregados na pesquisa envolvem a elaboração de mapas bases (MDE e declividade), análise dos dados de chuva, classificação do vale do rio Sana quanto ao grau de confinamento, identificação dos bloqueios que rompem a conectividade encosta/canal (laterais) e tributários/canal principal (longitudinais) e mapeamento da área de captação efetiva e da conectividade. A inclusão dos bloqueios antrópicos na metodologia proposta por Fryirs *et al*. (2007a) demonstrou-se adequada na análise da dinâmica atual, pois refletem como as interferências antrópicas que incidem diretamente na morfologia da paisagem agem sob os processos geomorfológicos desencadeados pelas respostas hidrológicas nos subsistemas encosta e canal, em busca com equilíbrio dinâmico, a estas perturbações. O sistema de drenagem do rio Sana apresentou elevado grau de conectividade quando considerado apenas os bloqueios laterais, no entanto, quando adicionados os bloqueios longitudinais, que ocorrem na confluência dos tributários com o rio principal, o grau de conectividade foi reduzido no caso de chuvas de baixa magnitude. Considerando os resultados alcançados, pode-se dizes que a utilização das noções de conectividade entre ambientes, encosta/canal, na escala de análise de bacia hidrográfica demonstrou-se adequada, pois contempla os processos naturais e antrópicos na evolução da paisagem.

DUARTE, Nathalia Silva. **Conectividade no sistema de drenagem do rio Sana, afluente do Rio Macaé (RJ).** 2015. 96f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Rio de Janeiro, 2015.

Considering the importance to incorporate spatial and temporal aspects to the diagnosis of water and sediment transfer between subsystems of a catchment, the aim of this research is to analyze the water and sediment shift between the hillslopes and the channel network in the Sana sub-catchment, of Macaé catchment (RJ) using connectivity approach and spatial and behavior identification of impediment prompter of sediment storage. The methodological and operational procedures involved the preparation of bases maps (DEM and slope), analysis of rainfall data, degree of constriction classification of the Sana river valley, identification of blocks that disrupt the slope/channel connectivity (lateral linkages) and the tributary / trunk stream (longitudinal linkages) and mapping the effective catchment area and connectivity. The inclusion of anthropic impediment on the methodology proposed by Fryirs *et al.* (2007a) proved to be appropriate in the analysis of the current dynamics, because they reflect how the anthropogenic interference that affect directly the landscape morphology act under the geomorphological processes initiated by hydrological responses in slope and channel subsystems, searching a dynamic balance to these perturbations. The Sana catchment show a high degree of connectivity considered only lateral linkages blocks, however, when the longitudinal blockages are added (which occur at the confluence tributary / trunk stream) the degree of connectivity has been reduced in the low magnitude rainfall cases. Considering the results achieved, we can say that the use of notions of connectivity between environments, slope/channel, on the catchment scale of analysis showed to be appropriate as it contemplates the natural and anthropogenic processes in the evolution of the landscape.

LISTA DE QUADROS

Quadro1: Definição e funcionalidades dos *buffers* no alto curso da bacia do rio Hunter, SE da Austrália (FYIRS, 2007a, p.301, tradução nossa)..... **24**

Quadro 2: Informações das estações pluviométricas **32**

Quadro 3: Valores dos limiares de chuva diária de acordo com a magnitude **35**

Quadro 4: Uso e cobertura da terra por sub-bacias **47**

Quadro 5: Extensão do rio Sana segundo o grau de confinamento **55**

Quadro 6: Tipologia dos bloqueios presentes no sistema de drenagem do rio Sana e a magnitude das chuvas capaz de rompe-los. **57**

Quadro 7: Área de Captação efetiva e grau de conectividade das principais sub-bacias do rio Sana - Chuvas de Baixa Magnitude considerando apenas os bloqueios laterais.....**70**

Quadro 8: Área de Captação efetiva e grau de conectividade das principais sub-bacias do rio Sana – Chuvas de Moderada Magnitude considerando apenas os bloqueios laterais.....**71**

Quadro 9: Área de Captação efetiva e grau de conectividade das principais sub-bacias do rio Sana – Chuvas de Baixa Magnitude considerando bloqueios laterais e longitudinais.....**74**

Quadro 10: Área de Captação efetiva e grau de conectividade das principais sub-bacias do rio Sana - Chuvas de Moderada Magnitude considerando bloqueios laterais e longitudinais...**74**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da área de estudo e de localização da Bacia do rio Macaé no Estado do Rio de Janeiro. 3

Figura 2: Geologia da Bacia do rio Sana e de localização na Bacia do rio Macaé. 7

Figura 3: Compartimentos Geomorfológicos da Bacia do rio Sana e de localização na Bacia do rio Macaé.. 8

Figura 4: Solos da Bacia do rio Sana e de localização na Bacia do rio Macaé..... 10

Figura 5: Manchete da notícia publicada no site da Prefeitura Municipal de Macaé em 06/02/2015. 12

Figura 6: Classes de cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do rio Sana - valores absolutos e percentuais 13

Figura 7: Cobertura Vegetal e Uso do Solo na Bacia do rio Sana 14

Figura 8: Conectividade em uma bacia idealizada. As ligações laterais, longitudinais e verticais apresentam forças diferentes no alto, médio e baixo curso de uma bacia idealizada, de acordo com a configuração dos processos de cada zona e a localização dos bloqueios..... 22

Figura 9: Distribuição das estações pluviométricas da ANA na bacia do rio Macaé e adjacências. 32

Figura 10: Área de influência das estações pluviométricas da ANA pelo Polígono de Thiessen. 33

Figura 11: "*Boxplot*" variação das máximas diárias mensais da estação Barra Alegre. 35

Figura 12: Parâmetros aplicados na elaboração do MDE da bacia do rio Sana..... 36

Figura 13: Conectividade da bacia de drenagem. A partir da relação entre área de contribuição efetiva e escala de tempo efetivo..... 41

Figura 14: Sub-bacias do sistema de drenagem do rio Sana. 44

Figura 15: Modelo Digital de Elevação do sistema de drenagem do rio Sana. 45

Figura 16: Mapa de declividade do sistema de drenagem do rio Sana. 46

Figura 17: Vista da Cabeceira de drenagem do rio Sana 48

Figura 18: Precipitação total anual na estação pluviométrica Barra Alegre entre os anos 1994 e 2013.. 49

Figura 19: Número e média de dias com chuva e número média de dias com chuva efetiva na estação pluviométrica Barra Alegre entre os anos 1994 e 2013. 50

Figura 20: Histograma com a frequência de chuvas efetivas de baixa, moderada e alta magnitude, considerando a série histórica de 1994 a 2013 da estação pluviométrica Barra Alegre.....51

Figura 21: Em amarelo segmento do rio Sana não confinado, próximo ao perfil transversal EF (Figura 22) 52

Figura 22: Grau de confinamento do vale do rio Sana e perfis transversais ao vale do rio Sana: AB – vale confinado, CD - vale parcialmente confinado e EF - vale não confinado. 53

Figura 23: Em vermelho segmento do rio Sana parcialmente confinado e o ponto em azul indica o local onde a fotografia foi registrada, perfil transversal CD (Figura 22) 54

Figura 24: Segmento do rio Sana confinado, próximo ao perfil transversal AB (Figura 22) 55

Figura 25: Perfil Longitudinal do rio Sana e a classificação segundo o grau de confinamento 56

Figura 26: Distribuição dos bloqueios naturais no sistema de drenagem do rio Sana. 59

Figura 27: Maior bloqueio natural do tipo tributário preenchido encontrado no sistema de drenagem do rio Sana. Mapa demonstrando a extensão do bloqueio (A), esquema utilizando o recurso 3D do Google Earth (B) e fotografia do autor (C e D). 60

Figura 28: Distribuição dos bloqueios antrópicos no sistema de drenagem do rio Sana. 62

Figura 29: Corte da encosta para construção de estrada. 64

Figura 30: Alteração na margem do Rio Sana devido a construção de ponte. 64

Figura 31: Tributário alterado, canalização e desvio da água para chuveiro 65

Figura 32: Tributários alterados, instalação de manilhas para escoamento da água em direção ao rio Sana.....65

Figura 33: Intervenções antrópicas responsáveis pelos bloqueios nas confluências dos tributários com rio Sana. 66

Figura 34: Confluência do Córrego Alegre com Rio Sana, bloqueio por ponte da estrada Sana-Frade.....67

Figura 35: Confluência Córrego Peito de Pombo com Rio Sana, confluência livre de impedimentos.....67

Figura 36: Confluência Córrego do Colégio com Rio Sana, confluência livre de impedimentos. 67

Figura 37: Área de captação efetiva no caso de chuvas de baixa, moderada e alta magnitude considerando os bloqueios laterais. 69

Figura 38: Área de captação efetiva no caso de chuvas de baixa, moderada e alta magnitude considerando os bloqueios laterais e longitudinais. 73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

2. OBJETIVOS DA PESQUISA

2.1 Objetivo Geral 4

2.2 Objetivos Específicos 4

3. CONTEXTO FÍSICO E AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO 5

3.1 Localização 5

3.2 Aspecto Geológico e Geomorfológico 5

3.3 Aspectos Climáticos e Pedológicos: 9

3.4 Principais Atividades e Impactos Associados 11

3.5 Uso e cobertura da Terra 12

4. EMBASAMENTO TEÓRICO 17

4.1 Bacias Hidrográficas e Sistema Fluvial 17

4.2 (Des) Conectividade entre Ambientes 18

4.3 Área de Captação Efetiva e Formas de Bloqueios 20

4.4 Precipitação, Escoamento Superficial e Produção de Sedimento 25

4.5 Sistema de Informação Geográfica na Análise e Gestão Ambiental e dos Recursos Hídricos 28

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 31

5.1 Análise dos dados de chuva 31

5.2 Elaboração dos mapas bases - MDE e declividade 35

5.3 Grau de confinamento dos vales 36

5.4 Identificação dos bloqueios 37

5.5 Mapeamento da área de captação efetiva 39

5.6 Mapeamento da conectividade 40

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES 43

6.1 Definição das sub-bacias 43

6.2 Distribuição temporal das chuvas de baixa, moderada e alta magnitude 48

6.3 Grau de confinamento do vale do rio Sana 51

6.4 Bloqueios naturais e antrópicos 57

6.5 Área de captação efetiva e conectividade do sistema de drenagem do rio Sana 68

7. CONCLUSÃO 78

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 80

1. INTRODUÇÃO

A água impulsionada pela força da gravidade é um dos principais agentes modeladores da paisagem (CHORLEY, 1969; HOOKE 2003). No contexto da bacia de drenagem parte da água precipitada movimenta-se sobre os solos e as rochas em direção aos canais de drenagem pelo processo de escoamento superficial. No processo de "lavagem" das vertentes, erosão dos solos, e também de movimento de massa, parte deste sedimento é transportado para rede de drenagem e a outra fração deste material é armazenada no próprio ambiente de encosta, ou seja, a conexão entre os ambientes de encosta e fluvial é rompida, bloqueada por formas deposicionais.

Diversos autores como Harvey (2002); Hooke (2003); Brierley & Fryirs (2005); Brierley *et al.* (2006); Bracken & Croke (2007); Fryrs *et al.* (2007a; 2007b); Croke *et al.* (2013) e Fryirs (2013) utilizam o conceito de conectividade para se referir à transferência de sedimento e água dentro ou entre compartimentos da paisagem. A análise da variabilidade temporal e espacial da conectividade é relevante para compreensão do destino do sedimento erodido e do balanço sedimentar.

Segundo Fryrs *et al.* (2007) e Fryrs (2013) as principais questões que devem ser respondidas para a compreensão da conectividade são: onde os bloqueios ocorrem e qual a magnitude do *input* de chuva necessária para rompe-los, aumentar a área de captação efetiva da bacia de drenagem e consequentemente sua conectividade.

A relação encosta/canal tem sido objeto de análise em várias pesquisas visando a compreensão do comportamento e conectividades entre esses ambientes, entre estas destacam-se: Chorley & Kennedy (1971); Brunsden & Thornes (1979); Harvey (2002) e Piégay & Shumm (2003). A ligação entre encosta/canal e planície de inundação/canal é definida por Fryrs (2013) como conectividade lateral.

O tema proposto nesta pesquisa surge da busca de se compreender como ocorrem os inter-relacionamentos dos subsistemas ambientais, encosta e canal, no âmbito de uma bacia hidrográfica e, a partir desta, propor uma caracterização da transferência de sedimentos em suspensão das encostas para os canais fluviais.

A principal base teórica/metodológica que fundamenta a pesquisa consiste na conectividade do fluxo de água e sedimento entre ambientes (HARVEY, 2002; FRYIRS, 2013) com maior enfoque na conectividade lateral (FRYIRS *et al.* 2007a). Abordagem

moderna, que reflete como o sistema de drenagem responde a perturbações naturais e/ou antrópicas, com potencial para contribuir no planejamento ambiental e de recursos hídricos, dentro da perspectiva do balanço sedimentar e dos problemas de assoreamento dos canais.

Segundo Harvey (2002), "*as condições do comportamento da ligação apontam como o sistema responde à perturbação, e por isso é importante na determinação da resposta geomorfológica às mudanças ambientais induzidas pelo homem, pelo clima ou tectonicamente*" (HARVEY, 2002 p. 175). A caracterização da dinâmica de transferência de sedimento auxilia no entendimento do comportamento hidrossedimentar por parte dos gestores de recursos hídricos e permite um melhor planejamento do recurso, controle dos processos erosivos, do assoreamento dos canais e da qualidade da água.

A bacia do rio Macaé localizada no norte do Estado do Rio de Janeiro vem sendo densamente estudada por Marçal (2013), Villas Boas & Marçal (2013), Lima & Marçal (2013) e Souza (2013), quanto à dinâmica do sistema fluvial, no que tange as características do uso e cobertura do solo e do comportamento do rio Macaé. As seções transversais monitoradas por Marçal (2013) apontam o predomínio do processo de agradação e consequente assoreamento do rio Macaé, além do alargamento das seções após a desembocadura com os principais afluentes (rio Sana, São Pedro e D`Antas), apontando a influência dos canais contribuintes no aporte sedimentar no canal principal.

Logo, o objetivo desta pesquisa é analisar a dinâmica de transferência de sedimentos no sistema de drenagem do rio Sana (com área de aproximadamente 118 km²), localizada no médio/alto curso da bacia do rio Macaé (Figura 1), através da conectividade lateral, entre os ambientes encosta e canal. A compreensão da dinâmica hidrossedimentar dos subsistemas da bacia do Macaé tem intenção de colaborar para o entendimento futuro do sistema como um todo.

Além disso, a bacia do rio Macaé apresenta grande potencial hídrico na oferta de água demandada por diversos setores. O Plano de Bacia, concluído em 2014, objetivando a contenção da produção excessiva de sedimentos, aponta para o potencial de aplicação de programas de Pagamento por Serviços Ambientais, como o Produtor de Água. Sob esta perspectiva a pesquisa tem intenção de contribuir com o desenvolvimento de uma metodologia que contemple o entendimento do sistema ambiental (encosta e canal) de forma integrada e que seja simples e compreensível suficiente para que possa ser considerada pelos gestores.

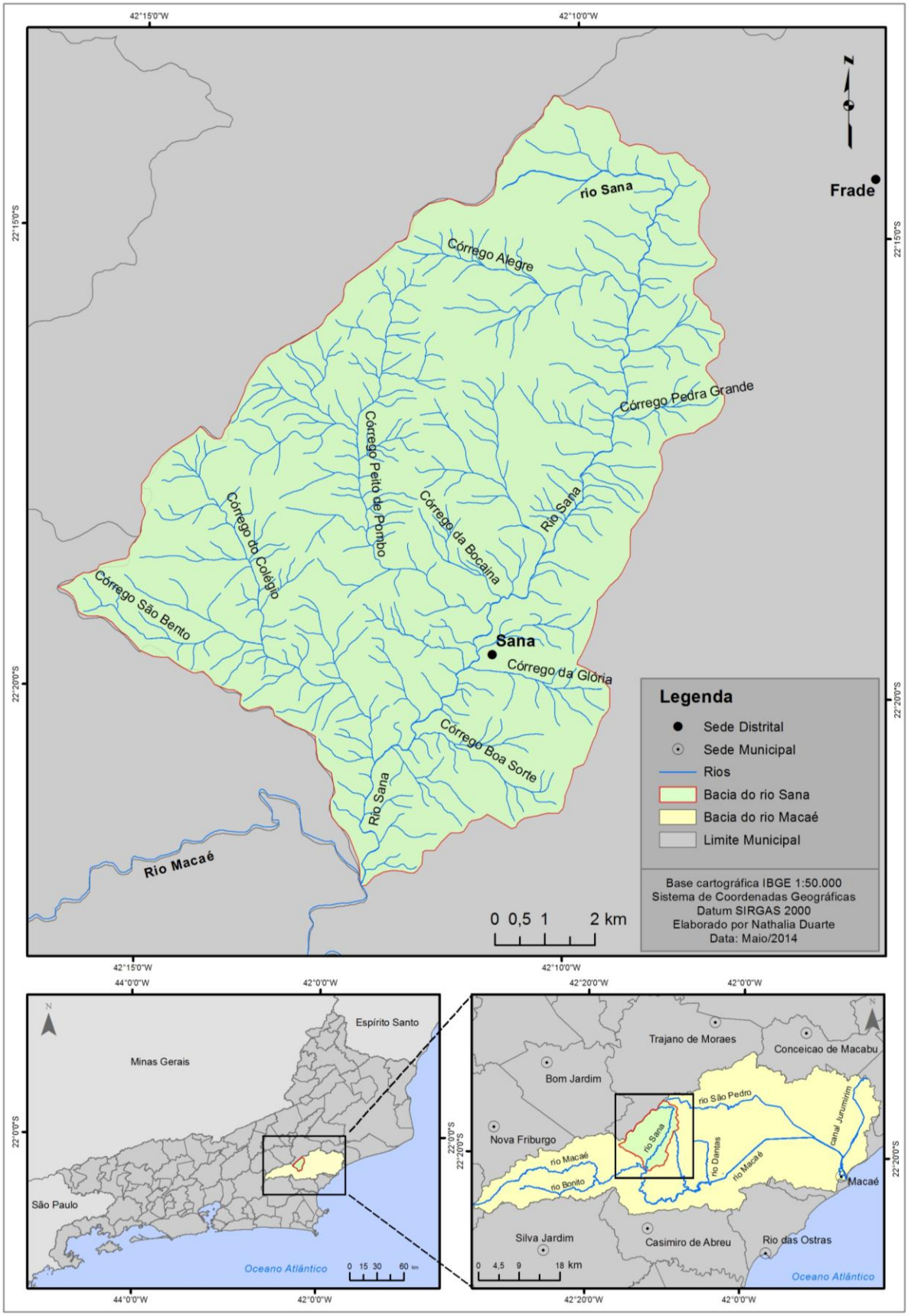

Figura 1: Mapa da área de estudo e de localização da Bacia do rio Macaé no Estado do Rio de Janeiro.

2. OBJETIVOS DA PESQUISA

2.1 Objetivo Geral

Analisar a transmissão de água e sedimentos entre os subambientes encosta e canal, no sistema de drenagem do rio Sana, afluente pela margem esquerda do Rio Macaé (RJ). Busca-se caracterizar a conectividade do sistema de drenagem a partir de dados pluviométricos, da localização dos bloqueios de água e sedimentos e da área de captação efetiva da bacia.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o grau de confinamento dos vale do rio Sana e a declividade das encostas.
- Identificar e caracterizar os diferentes tipos de bloqueios (naturais e antrópicos) na transferência de sedimentos em suspensão das encostas ao canal principal do rio Sana e aos principais tributários.
- Analisar e classificar padrões de magnitude de chuvas diárias e sua correlação com o escoamento superficial.
- Identificar a área de captação efetiva em diferentes cenários de chuva segundo os padrões de magnitude.
- Classificar os padrões de conectividade a partir da correlação entre as áreas de captação efetiva e padrões de magnitude das chuvas diárias, levando em consideração a frequência de ocorrência destes padrões e sua variabilidade temporal.
- Contribuir para o planejamento dos recursos hídricos na Bacia do rio Macaé e gestão ambiental da Área de Proteção Ambiental do Sana.

3. CONTEXTO FÍSICO E AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo são apresentados os aspectos físicos da área de estudo e o contexto ambiental influenciado pelo histórico de ocupação da terra, das principais atividades econômicas e dos usos dos recursos naturais que modificam o espaço e interferem direta ou indiretamente o sistema fluvial.

3.1 Localização

O sistema de drenagem do rio Sana, localizado entre as coordenadas 22°13'30.78"S e 22°22'7.50"S, 42° 8'13.67"O e 42°15'57.32"O, na vertente sul da Serra do Mar, compreende uma área de 133 km² e está inserido no médio-alto curso da bacia do rio Macaé. Em relação aos limites político-administrativos situa-se na região norte fluminense, mais especificamente no município de Macaé. O limite da bacia do rio Sana se assemelha ao do distrito do Sana, limitado a noroeste pelo município de Trajano de Morais, a sudoeste pelo município de Nova Friburgo, a sudeste pelo distrito de Cachoeiros de Macaé e a nordeste pelo distrito do Frade.

3.2 Aspecto Geológico e Geomorfológico

A área da Bacia do rio Macaé encontra-se nos grandes lineamentos e fraturamentos do Estado do Rio de Janeiro, marcado pela evolução geológica da Serra do Mar, cuja configuração está associada aos movimentos tectônicos da separação dos continentes sul-americanos e africanos (HASUI, 1990).

De acordo com o mapeamento geológico na escala 1:100.000, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM para o Estado do Rio de Janeiro no ano de 2012, as principais unidades litoestratigráficas encontradas na bacia do rio Macaé são as unidades pré-cambrianas Região dos Lagos e São Fidélis, a unidade paleozoica Granito Sana, além das unidades cenozoicas Barreiras e Depósitos Colúvio-Aluvionar. No sistema de drenagem do rio Sana as unidades mapeadas foram: Granito Sana, São Fidélis e Depósitos Colúvio-Aluviais. Em relação à estrutura geológica, observam-se falhas lineares, com predomínio da orientação nordeste–sudoeste (alto curso) estabelecendo, aparentemente, um controle estrutural no traçado do rio Sana. (Figura 2).

Na Unidade São Fidélis, datada do Proterozóio e inserida no Complexo Paraíba do Sul, há o predomínio dos seguintes litotipos: granada-biotita, sillimanita, gnaisse quartzo-feldspático

(metagrauvacas), com bolsões e veios anatéticos *in situ* ou injetados, com composição granítica.

O Granito Sana, datado do período Cambriano, encontra-se principalmente na porção leste da Bacia do rio Sana, há também um fragmento de menor extensão na região sudoeste da bacia, próximo ao córrego São Bento. Esta unidade é composta por uma série de rochas intrusivas do tipo granitóide, constituído por rocha leucocrática cinza clara esbranquiçada a branca, de granulação fina a média (textura microfanerítica).

Segundo Geraldes et *al.* (2012), "a atuação de marcantes zonas de cisalhamento com orientações preferenciais nos sistemas N/S-NE/SW, ENE/WSW, registram possível participação de atividade tectônica extensional tardia ao alojamento".

Os Depósitos Colúvio-Aluvionar são caracterizados por sedimentos Quaternários inconsolidados, constituídos por cascalho, areias argilosas e argilas arenosas. São sedimentos de encostas transportados por processos de fluxos gravitacionais e aluviais, depositados nos fundos de vales, planícies de inundação, terraços fluviais e leques alúvio-coluviais. Os maiores depósitos encontram-se no vale do rio Sana.

Assumpção & Marçal (2006), através da identificação das anomalias de drenagem, apontam para o forte controle estrutural da região e assinala para assimetria topográfica da Bacia do rio Sana e deslocamento para leste, facilmente visualizada pela diferença dos comprimentos dos canais nas duas vertentes do canal coletor. Outra característica que marca o controle estrutural associado a zonas de fraturas é a retilinidade ou linearidade dos canais.

No que se refere à compartimentação geomorfológica foi utilizado o mapeamento de Silva (2002) elaborado para o Estado do Rio de Janeiro na escala 1:50.000 (Figura 3). Estão presentes na Bacia do rio Sana cinco tipos compartimentos: Planícies Fluviais e Flúvio-Marinhas (até 20 m), Colinas (20 m – 100 m), Morros (100 m – 200 m), Serras Locais ou Morfologia de Transição (200 m - 400 m), Serras Escarpadas (acima de 400 m). Tendo em vista sua característica de médio/alto curso e grande influência da Serra do Mar a Bacia do rio Sana apresenta o predomínio das unidades Serras Escarpadas (81,60%) e Serras Locais ou Morfologia de Transição (15,05%), compartimentos cujos processos erosivos de encostas são mais intensos. A porção da bacia classificada como Planície Fluvial encontra-se no vale do Rio Sana nas proximidades das confluências com os córregos da Bocaina e do Peito do Pombo, onde localiza-se o perímetro urbano mais adensado da bacia, o povoado do Arraial do Sana.

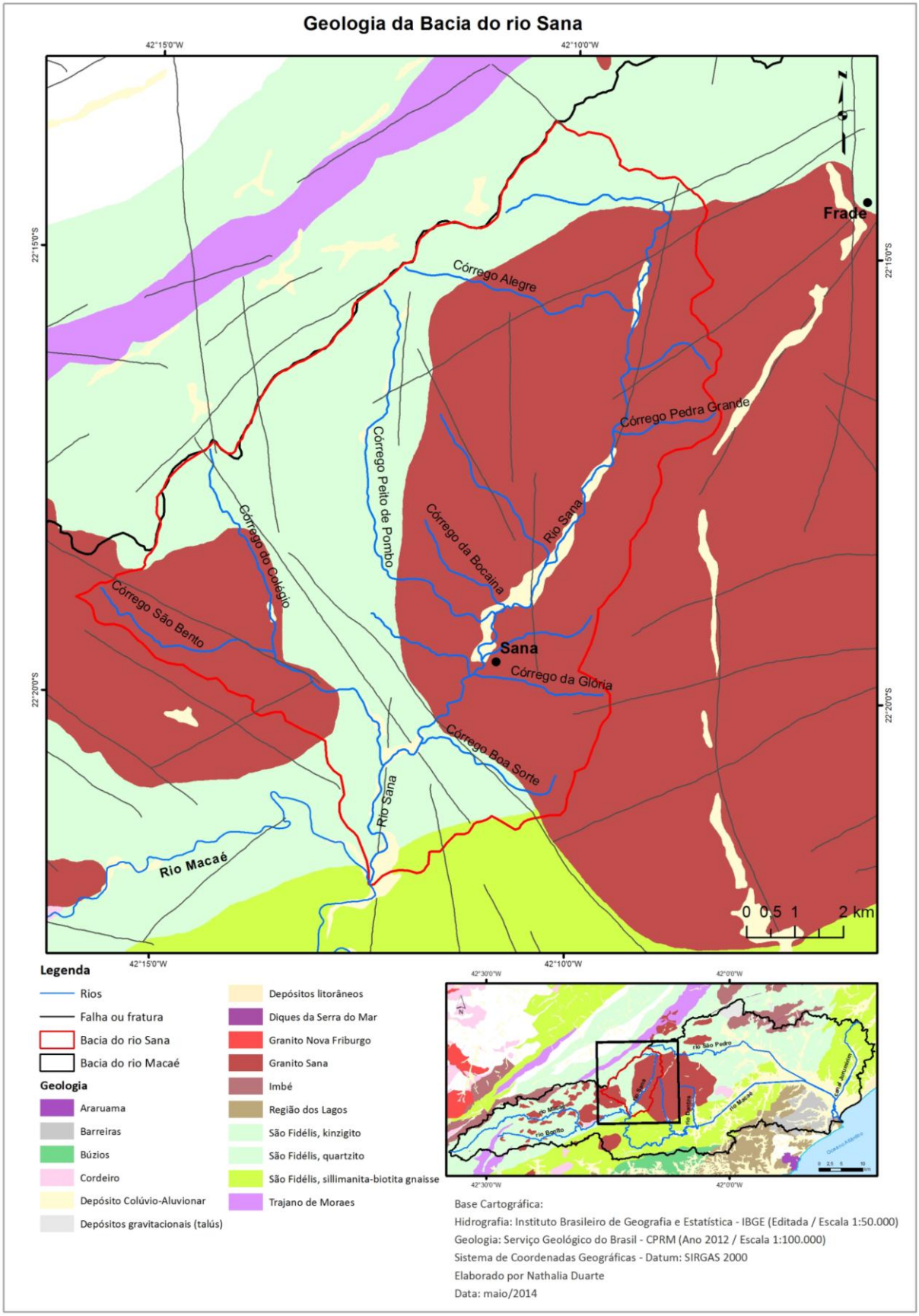

Figura 2: Geologia da Bacia do rio Sana e de localização na Bacia do rio Macaé. Fonte: CPRM, 2012.

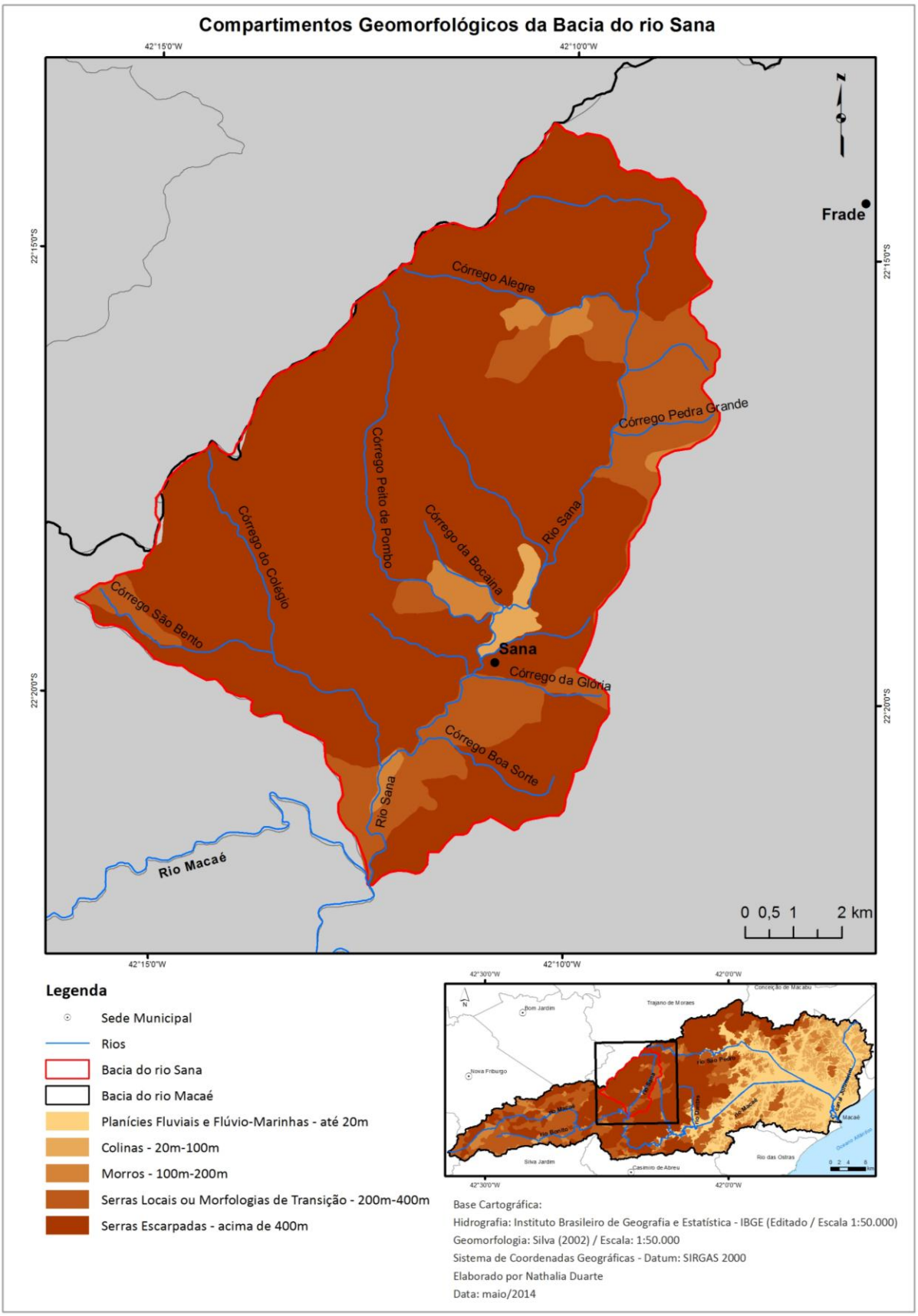

Figura 3: Compartimentos Geomorfológicos da Bacia do rio Sana e de localização na Bacia do rio Macaé. Fonte: Silva (2002).

3.3 Aspectos Climáticos e Pedológicos:

A Bacia Hidrográfica do rio Macaé possui clima típico de região litorânea tropical. A presença do Oceano Atlântico promove uma regulação térmica e consequente suavização das temperaturas e altas umidades em áreas litorâneas. Deste modo, a alta umidade aliada com a rugosidade do relevo favorece a ocorrência de chuvas orográficas.

A partir da análise de uma série histórica de 41 anos dos dados pluviométricos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas, Nascimento (2011) aponta a maior concentração pluviométrica o alto curso da Bacia do rio Macaé e que, preferencialmente, a precipitação aumenta de acordo com a elevação do relevo. Além da tendência de aumento dos totais acumulados de verão e redução dos totais de inverno em toda bacia.

Na Bacia do rio Sana não há estações de monitoramento pluviométrico da ANA. As estações mais próximas são: Maria Mendonça localizada no município de Trajano de Morais, Barra Alegre no município de Bom Jardim e Fazenda Oratório no município de Macaé.

As características geológicas e geomorfológicas aliadas ao clima são refletidas nas propriedades pedológicas da região. O mapeamento de Carvalho Filho *et al.* (2001) inserido no Projeto Rio de Janeiro coordenado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na escala 1:500.000, aponta para o predomínio das classes Cambissolo e Neossolo Litólico na Bacia do rio Sana (Figura 4). Tais classes serão descritas a seguir segundo o Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2007).

A classe *Cambissolo* apresenta horizonte B incipiente, com características de solos mais jovens e profundidades que variam de rasos a profundos. São encontrados em quase toda extensão da bacia do Macaé, principalmente no alto e médio curso. Já os Neossolos *Litólicos*, com ocorrência na porção oeste, são constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso, sem presença de horizonte B diagnóstico.

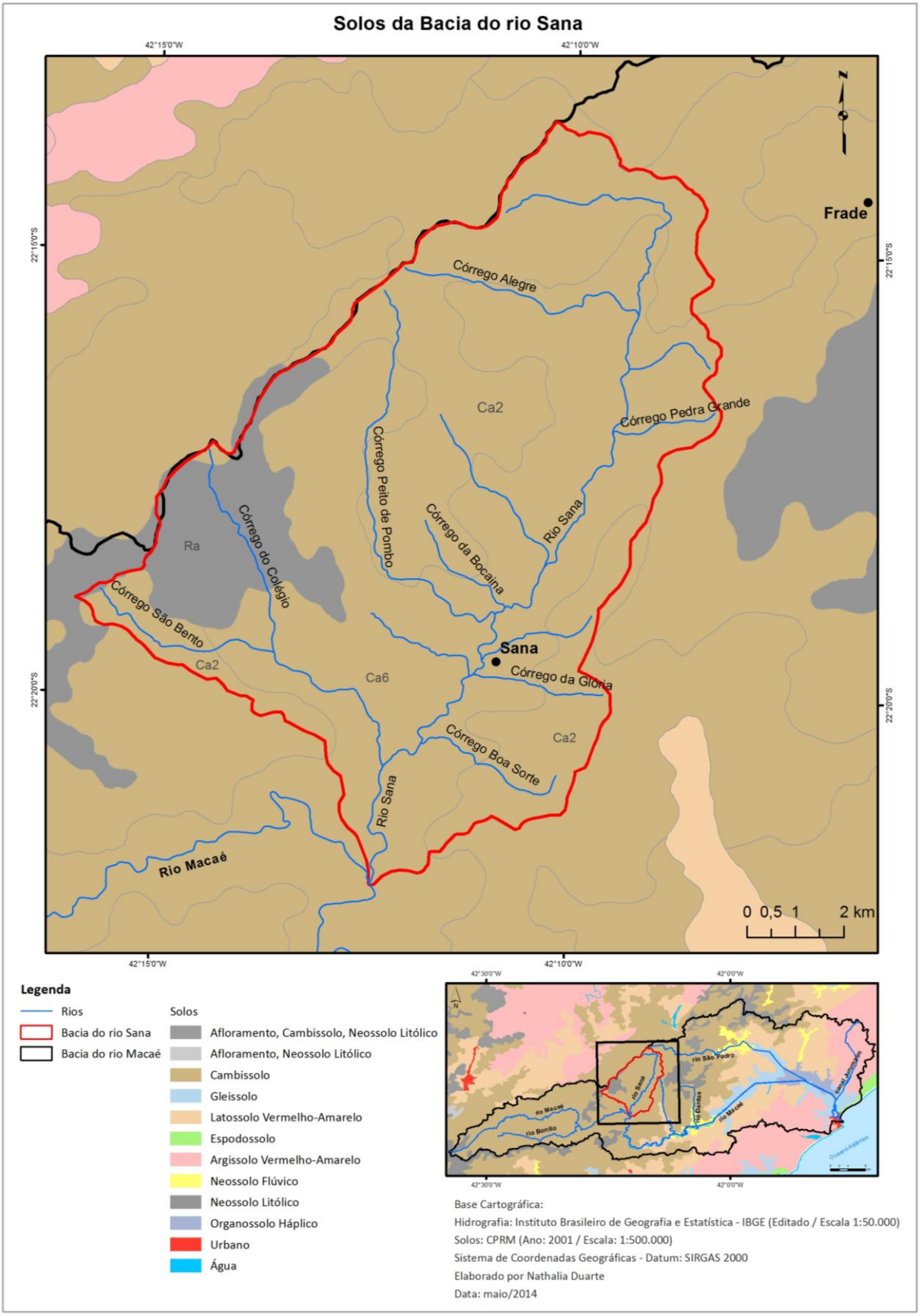

Figura 4: Solos da Bacia do rio Sana e de localização na Bacia do rio Macaé. Fonte: Carvalho Filho *et al.* (2001)

3.4 Principais Atividades e Impactos Associados

A bacia do rio Macaé passou por um processo de intensa intervenção nas últimas décadas impulsionado por diferentes ciclos de exploração econômica. Entre as décadas de 1960 a 1980 alguns canais do baixo curso do rio Macaé foram modificados através de obras de retificação realizada pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) (MARÇAL & LUZ, 2003; ASSUMPÇÃO & MARÇAL, 2012). Segundo Lima & Marçal (2013), a retificação alterou o percurso e a geometria do canal principal, ou seja, encurtou o trajeto, aumentou o gradiente de declividade do perfil longitudinal, e removeu todas as feições geomorfológicas do rio; com objetivo acelerar o escoamento das águas em eventos de cheias e diminuir as áreas alagadas.

O distrito do Sana teve seu processo de ocupação marcado pelos ciclos econômicos de exploração de madeira de lei, café e agropecuária, atividades extremamente degradantes ao meio ambiente, o que gerou retração da área original de cobertura vegetal caracterizada pela Mata Atlântica. O turismo apareceu como potencial atividade econômica da região que persiste até os dias atuais, no entanto, em paralelo a esta atividade vieram a especulação imobiliária, o parcelamento indiscriminado da terra, construções em áreas marginais de proteção dos rios, etc. (VIVA RIO, 2003).

A criação da Área de Preservação Ambiental (APA) do Sana em 2001, unidades de conservação de uso sustentável com limites semelhantes a Bacia do rio Sana, demonstra a preocupação com a conservação do bioma Mata Atlântica, a preservação dos mananciais e a intenção de proporcionar condições adequadas da atividade turística da região.

A demanda de água na bacia do rio Sana destina-se, em grande parte, para consumo humano e irrigação. Segundo Fernandes (2009), a água destinada ao abastecimento da população do Sana é captada principalmente nas sub-bacias do Palmital (120 residências) e da Glória (150 residências), sendo distribuída sem tratamento prévio. O autor aponta para a influência positiva da presença de florestas na qualidade da água, considerando os indicadores sólidos totais e turbidez, e que a sub-bacia do Palmital com maiores percentuais de cobertura florestal apresentou boa qualidade de água, já a sub-bacia da Glória, com predomínio de áreas de pastagem, apresentou índices de qualidade de água abaixo do estipulado para consumo humano.

Estudos de Pinheiro, (2008) e Ramos *et al.*, (2008) demonstram que a qualidade da água vem sendo prejudicada pelo desenvolvimento econômico da região que, na maioria das vezes,

não vem acompanhado da adequação da infraestrutura básica. A principal fonte de poluição no sistema de drenagem do Sana é o lançamento de efluentes domésticos diretamente nos corpos hídricos.

Problemas quantitativos também são observados quanto a distribuição de água à população do Sana. Segundo Monteiro, em matéria para o site da Prefeitura de Macaé, nos primeiros meses de 2015 a população da sede do Distrito do Sana passou por um problema de escassez de água devido, principalmente, ao período de estiagem em 2014 e ao aumento da demanda hídrica provocada pelo grande número de visitantes nestes meses. A alternativa encontrada pela Empresa Pública Municipal de Saneamento – ESANE foi a instalação de uma adutora que capta água do Córrego do Peito de Pombo.

Esane amplia abastecimento de água no Sana

Feb 6, 2015 12:42:00 PM - Jornalista: Maria Izabel Monteiro

Foto: Moisés Bruno
Ações visam ampliar captação de água no distrito serrano

Figura 5: Manchete da notícia publicada no site da Prefeitura Municipal de Macaé em 06/02/2015.

3.5 Uso e cobertura da Terra

Os ciclos econômicos e as atividades por ele impulsionadas atuam diretamente na forma do uso e cobertura da terra. O contexto do uso e cobertura da terra utilizado foi o mapeamento da vegetação e uso do solo realizado pela Associação Candido Mendes de Ensino e Pesquisa (ACAMEP, 2011) para o Projeto Macaé Rio Sustentável (2ª edição) a partir da interpretação visual das ortofotos de alta resolução do INEA/IBGE (2006) da parte superior da bacia

hidrográfica do rio Macaé, cujas classes de vegetação foram definidas com base na Resolução do CONAMA 010/1993.

No sistema de drenagem do rio Sana encontram-se presentes as seguintes classes: afloramento rochoso, vegetação rupestre, floresta em estágio médio/avançado de sucessão, floresta em estágio inicial de sucessão, gramíneas, ocupação rural e ocupação urbana de baixa densidade. No entanto, há o predomínio de três principais classes: floresta em estágio médio/avançado de sucessão (37,4%), gramíneas (31,7%) e floresta em estágio inicial de sucessão (26,5%). Tal mapeamento e a respectiva distribuição das classes preponderantes é melhor elucidada nas Figuras 6 e7.

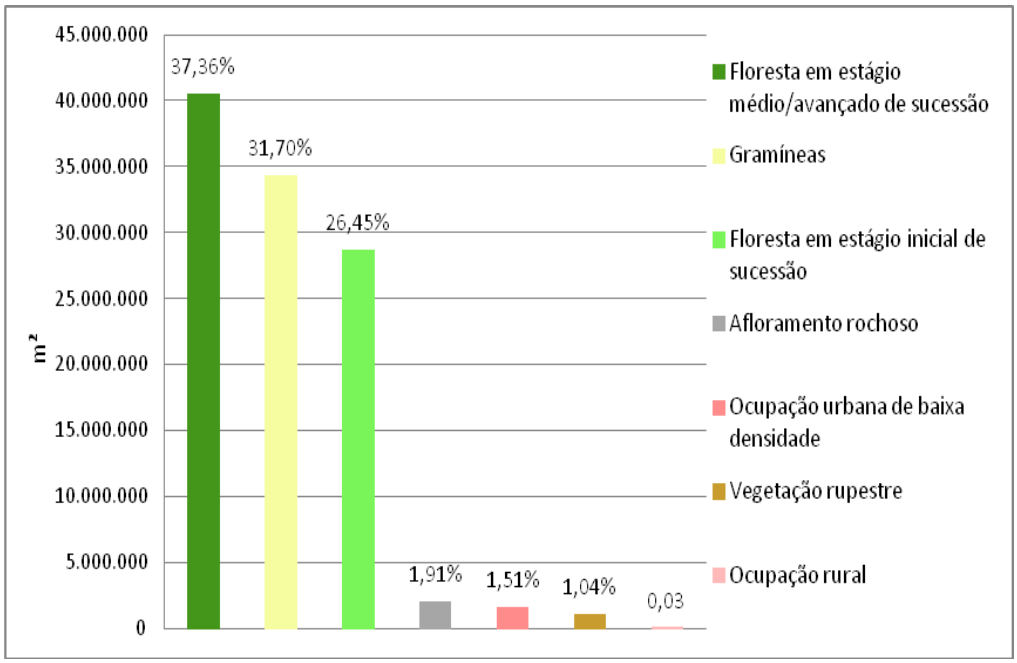

Figura 6: Classes de cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do rio Sana - valores absolutos e percentuais (ACAMEP, 2011).

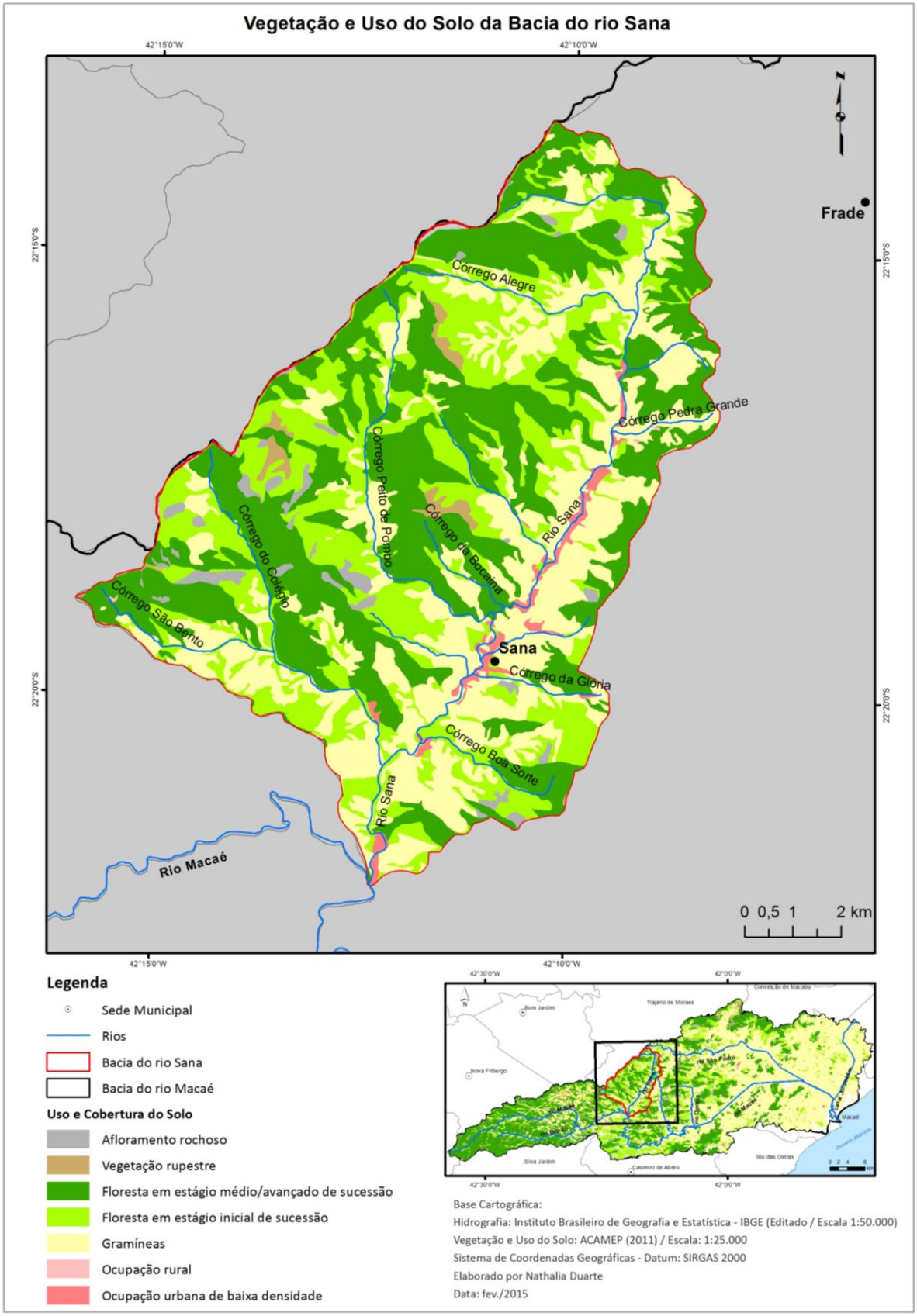

Figura 7: Cobertura Vegetal e Uso do Solo na Bacia do rio Sana Fonte: ACAMEP (2011).

Segundo a Resolução do CONAMA nº 10 de 1993 os estágios de regeneração estão relacionados a vegetação secundária, ou seja, após a supressão total ou parcial da vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais. O estado de regeneração inicial refere-se a vegetação herbáceo/arbustiva de porte baixo, a serapilheira, quando presente, forma uma camada fina pouco decomposta e diversidade biológica variável. Já o estágio médio/avançado corresponde a uma vegetação predominantemente arbórea e/ou arbustiva, podendo constituir estratos diferenciados ou dossel fechado e relativamente uniforme e serapilheira variando de espessura ou abundante.

Zaú *et al.* (2007), a partir do monitoramento em parcelas experimentais, apontam que a mata alterada, devido a menor interceptação e pela maior presença de matérias grosseiros na serapilheira, tem seu escoamento superficial ampliado se comparado a área florestada, especialmente sob altos índices de umidade antecedente e chuvas de grande intensidade.

A classe definida como gramínea está associada prioritariamente a áreas destinadas a pastagens. No que se refere à área de estudo, bacia do rio Sana, Castro (2010) ao mapear as feições erosivas na bacia do rio Sana aponta que estas estão localizadas preferencialmente em áreas desmatadas para pastagem. Ratificando esta associação, Silva (2012), também em estudo na bacia do rio Sana, ressalta que a maior parte das áreas suscetíveis à erosão encontra-se com seu uso caracterizado por pastagens.

Segundo Santos & Augustin (2012), as pesquisas Heathwaite *et al.* (1989) e Barbosa & Fearnside (2000) apontam que as áreas de pastagem, em geral, sofrem o processo de compactação do solo o que reduz a capacidade de infiltração e consequentemente aumenta o escoamento superficial. No entanto, em relação ao transporte de sedimento o mesmo autor, com base nos trabalhos de Barbosa & Augustin (2006) e Pinese Júnior *et al.* (2009), aponta que a cobertura vegetal de gramíneas contribui para reter o sedimento e diminuir o transporte de sedimento ao longo da vertente.

Segundo Vasconcelos (2011), a vegetação rupestre também conhecida como campo rupestre é condicionada pelos afloramentos rochosos e ocorrem em áreas elevadas da Serra do Mar, são representadas por um conjunto de comunidades predominantemente herbáceo-arbustivas que variam em função do relevo, microclima, profundidade do solo e natureza do substrato.

As classes referentes à ocupação humana, a rural caracteriza-se pela ocorrência de áreas cobertas por gramíneas e presença de edificação para moradia e equipamentos de utilidade na

atividade agropecuária, já a urbana de baixa densidade destaca-se pela presença de manchas de baixa densidade de construção fragmentada e descontínua.

Os dados deste mapeamento mostram que apesar do predomínio de florestas, ocupando mais de 6 mil hectares (63,81% da Bacia do rio Sana), estes fragmentos florestais encontram-se por vezes desconectados por extensas áreas de gramíneas, geralmente associada à agricultura ou pecuária como áreas de pastagem de gado. A ocupação urbana encontra-se distribuída principalmente no vale do rio Sana, principalmente na Área de Preservação Permanece de faixa marginal de curso d'água. Já a ocupação rural está presente pontualmente nas proximidades do Córrego Pedra Grande, a população residente nesta área tem como prática principal a pecuária e a agricultura familiar, e utilizam os rios para o abastecimento doméstico e a irrigação de culturas.

4. EMBASAMENTO TEÓRICO

A análise da dinâmica de transferência de sedimentos entre os ambientes encosta e canal, no âmbito de uma bacia hidrográfica, demanda o conhecimento de fundamentos teóricos e metodológicos importantes para o entendimento do fenômeno. A construção do embasamento teórico está focada na abordagem da conectividade entre ambientes.

Para compreensão da questão central da pesquisa este capítulo está estruturado na seguinte sequência: abordagem sistêmica em bacias hidrográficas, (des) conectividade entre ambientes, área de captação efetiva e formas de bloqueios, precipitação, escoamento superficial e produção de sedimentos e Sistema de Informação Geográfica na análise gestão ambiental e dos recursos hídricos.

4.1 Bacias Hidrográficas e Sistema Fluvial

O conceito de bacia hidrográfica é anterior ao de sistema, no entanto, foi a partir dos trabalhos de Horton (1945) e Strahler (1950) que a abordagem sistêmica foi introduzida na definição da bacia hidrográfica pelos geomorfólogos, tornando-se atualmente o principal recorte adotado nas pesquisas da geomorfologia e da geografia física.

Paralelamente, importante contribuição científica para a abordagem sistêmica foi a publicação da Teoria Geral dos Sistemas, em 1948, pelo biólogo Ludwig Bertalanffy, criando uma nova forma de visão da dinâmica ambiental baseada na totalidade.

O clássico trabalho de Chorley (1962) *"Geomorphology and General System Theory"* aborda a unidade sistêmica no contexto da geomorfologia. Além disso, faz analogia dos sistemas abertos com as bacias hidrográficas, que recebe energia do clima e possui uma única saída.

Christofoletti (1974) define a bacia hidrográfica como área composta por um conjunto de rios que convergem para um canal principal delimitada por divisores topográficos. De maneira semelhante, Coelho Netto (1998) define bacia de drenagem como "*uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum*" (COELHO NETTO, 1998, p.97-98). A autora aponta a atuação climática e das forças tectônicas como o *input* de energia deste sistema aberto.

Mattos & Perez Filho (2004) apontam para a necessidade do estudo sistêmico e integrado das bacias hidrográficas, evitando a compreensão isolada dos elementos que as compõem, os

autores assinalam para o potencial do entendimento das inter-relações dos elementos, "*de modo que o todo resultante não é resultado da soma da estrutura, funcionamento e organização de suas partes. Analisar separadamente os processos que ocorrem nas vertentes e aqueles que acontecem nos canais fluviais não permite compreender como o sistema bacia hidrográfica funciona enquanto unidade organizada complexa*". (MATTOS & PEREZ FILHO, 2004, p.17)

A abordagem sistêmica conduzida por Christofoletti (1979) e Piégay & Schumm (2003), para estudos da geomorfologia fluvial, contemplam a dinâmica dos processos geomorfológicos e hidrológicos de forma inter-relacionada. O conceito de sistemas fluviais demonstra a necessidade de pensar as relações entre os ambientes fluviais de forma interligada. Desta forma, Chorley & Kennedy (1971) definem que os sistemas fluviais são compostos por uma rede complexa de elementos que se relacionam ajustando-se às entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de energia do sistema. Dentre esses elementos, destacam-se como os dois principais os aspectos físicos dos sistemas fluviais (a morfologia dos rios, planícies, encostas, etc.) e o efeito cumulativo da interação entre água e sedimentos.

Segundo Christofoletti (1974), torna-se necessário para a compreensão de cada sistema compreender os aspectos que o compõem: tais como a matéria, material que vai ser mobilizado; a energia, força impulsionadora que faz com que o sistema funcione; e estrutura, o arranjo dos componentes do sistema.

Nesta perspectiva a bacia hidrográfica aparece como um recorte espacial apropriando para análise da conectividade encosta e canal cuja compreensão dos componentes: precipitação pluvial, escoamento superficial, produção de sedimentos e erosão hídrica, são fundamentais para leitura da dinâmica de transferência de água e sedimentos entre estes ambientes.

4.2 (Des) Conectividade entre Ambientes

O conceito de conectividade aplicado a sistemas fluviais foi introduzido por Brunsden & Thornes (1979). Nos últimos anos importantes contribuições foram feitas por Harvey (2002), Hooke (2003) e Fryirs *et al.* (2007a; 2007b). Na literatura nacional destaca-se o estudo de Souza (2011) e Souza & Correa (2012) para o qual o conceito de conectividade é utilizado para análise da transmissão de energia e matéria no sistema fluvial tendo como base teórico-metodológica a ideia dos estilos fluviais (BRIERLEY & FRYIRS, 2005), conectividade da

paisagem (BRIERLEY, *et al.;* 2006) e o paradigma holístico da sensitividade da paisagem (BRUNSDEN, 2001).

Os estudos de **conectividade** aplicados à hidrologia e geomorfologia podem ser classificados, segundo Bracken & Croke (2007), em **conectividade da paisagem**, que trata da ligação física da paisagem dentro da bacia de drenagem; **conectividade hidrológica**, que se refere à dinâmica da água entre unidades de paisagem e **conectividade sedimentológica**, que diz respeito à transferência física de sedimentos e poluentes através da bacia de drenagem.

Bracken & Croke (2007) apontam que o conceito de conectividade sedimentológica está sempre implícito na abordagem empírica da taxa de aporte de sedimentos (*sediment delivery ratio)*, técnica de mensuração considerada como "caixa preta", com pouca compreensão real dos padrões espaciais e temporais do movimento dos sedimentos.

Segundo Fryirs *et al.* (2007), diversos modelos têm sido utilizados para examinar a (des) conectividade hidrológica e/ou sedimentar e o seu efeito sobre as áreas de contribuição. Outros pesquisadores analisaram a conectividade da paisagem usando estruturas conceituais vinculadas a aplicações baseadas em campo (ex, HARVEY, 1992; FRYIRS & BRIERLEY, 1999, 2001; HOOKE, 2003). (FYIRS, 2007, p.300).

Entende-se que a transmissão de energia e matéria das encostas para os vales e canais fluviais é impulsionada principalmente pelos *inputs* de energia conduzidos pelas precipitações. A água em conjunto com outros fatores, impulsionados pela força da gravidade, são os principais agentes modeladores da paisagem (CHORLEY, 1969). A hidrossedimentologia busca compreender a dinâmica de transporte de sedimentos pelas características dos fluxos de escoamento em encostas ou rios (parâmetros hidrológicos) e pelas características dos sedimentos que são transportados (parâmetros sedimentológicos). Desta forma, considera-se importante compreender a conectividade hidrológica e sedimentológica de Bracken & Croke (2007) de forma integrada.

Segundo Harvey (2002) os mecanismos de conexão ligam os componentes do sistema fluvial, controlam o transporte de sedimentos para jusante e a propagação dos efeitos de mudanças do nível base a montante. Harvey (*op. cit.*) analisa as diferentes escalas temporais e espaciais das ligações *(coupling)*. No que se refere às escalas espaciais, destaca a existência de ligações na escala local, dentro de uma zona ou entre duas zonas adjacentes do sistema fluvial (dentro do ambiente de encosta, entre encosta e canal, na confluência de tributários com o canal principal e entre segmentos do canal) e ligações em grandes escalas divididas em

zonal (entre duas grandes zonas do sistema fluvial) e regionais (afetando potencialmente a totalidade de uma bacia de drenagem).

Fryirs (2013) define três tipos de **conectividades** em uma bacia de drenagem, **lateral, longitudinal** e **vertical** e que estas podem ser interrompidas por diferentes tipos de bloqueios. Segundo a autora, a conectividade lateral caracteriza-se pela ligação da rede de canal com a paisagem de forma mais ampla, e inclui a relação entre encosta-canal e planície de inundação do canal. A conectividade longitudinal é definida pelas relações de montante/jusante e tributário/canal principal, inseridas no contexto da rede de canais. Já a conectividade vertical resulta das interações dos fluxos superficiais e sub-superficiais de água e sedimento.

No que se refere à **conectividade lateral**, encosta-canal, a frequência que o canal processa e retrabalha o material derivado das encostas é registrada. A energia, ou seja, força desta ligação é impulsionada pelos deslizamentos de terra, voçorocas, instabilidade dos leques aluviais, bem como o potencial da contribuição do escoamento superficial através de fluxos de água não canalizados. A conectividade canal-planície de inundação é movida pela magnitude e frequência dos eventos de inundação, em que o sedimento é depositado na planície de inundação, ou a planície de inundação é retrabalhada e, desta forma, é ativada a transferência de sedimentos para o canal. A recorrência dos fluxos de extravasamento para a planície determina o grau dessa conectividade (WALLING & HE, 1997; WALLING & OWENS, 2003).

Segundo Croke *et al.* (2013), as cheias extremas são reconhecidas como agentes impulsionadores da **conectividade lateral** entre o canal e a planície de inundação, e destaca a importância desta ligação do ponto de vista ecológico, hidrológico e do transporte de sedimentos. Ou seja, os eventos extremos superam os limiares necessários para romper o bloqueio no transporte de sedimentos da planície de inundação.

4.3 Área de Captação Efetiva e Formas de Bloqueios

A área de captação efetiva segundo Fryirs *et al.* (2007a) corresponde a área ou porção de uma bacia que tem o potencial de contribuir diretamente, ou transportar ao longo da rede de canais, sedimentos sob dada condição de fluxo para um ponto comum, refletindo o grau de conectividade da bacia.

Ainda segundo os autores a modelagem do fluxo de sedimentos em bacias hidrográficas deve considerar os fatores controladores de energia e a disponibilidade de

sedimentos, garantindo que as saídas (*outputs*) estejam devidamente fundamentadas pelo mapeamento de campo, dos impedimentos que interrompem o transporte de sedimentos.

Estes impedimentos ou bloqueios são feições geomorfológicas originais e/ou antropogênicas, ou seja, originadas por agentes naturais ou por intervenções antrópicas, além dos aspectos de uso e cobertura da terra, que pode dificultar o aporte de sedimento das encostas para os canais. Brierley, *et al.;* (2006) apontam para a necessidade de identificar os bloqueios que impedem ou diminuem a conectividade. Os autores distinguem três tipos de bloqueios: *buffer, barriers* e *blankets*. Os *Buffers* são formas que impedem a entrada de sedimentos na rede de canais e perturbam a conectividade lateral. As *Barriers* são barreiras presentes no interior da rede de canais e influenciam a conectividade longitudinal. Já os *Blankets* rompem as ligações verticais, podem ocorrer em cursos de água ou em planícies de inundação. A Figura 8 mostra a partir de um desenho esquemático o grau de conectividade longitudinal, lateral e vertical no alto, médio e baixo curso de uma bacia idealizada.

Fryirs *et al.* (2007a) descreve alguns tipos de *buffers* geralmente presentes no alto curso de uma bacia de drenagem, estes são: sopé da encosta (zona de piemonte), laque aluvial, terraço, planície de inundação contínua e descontínua e tributário preenchido (Quadro 1). Harvey (2002) aponta como bloqueios em ambientes de encosta, os depósitos de tálus, em áreas montanhosas; os detritos de deslizamento de terra, abaixo das cicatrizes de deslizamentos, e os colúvios que muitas vezes cobrem as encostas mais baixas em áreas de erosão laminar difusa.

Souza & Correa (2012) acrescentam as estradas não pavimentadas como tipo de impedimento lateral, quando encontradas em um nível diferenciado do seu redor atuando como um dique e Souza (2014), aponta as áreas urbanas rurais cujas vias não pavimentadas apresentam baixo grau de impermeabilização influenciando na conectividade das encostas adjacentes em eventos de magnitude baixa.

Barros (2014) ratifica esta definição dos bloqueios laterais apontando que os mesmos se expressam na paisagem entre a baixa encosta e os canais com planícies de inundação ou terraços. No entanto, aponta que os *buffers* também podem ser encontrados na confluência de um tributário com o canal principal, local onde o fluxo de água e sedimento do afluente conecta com o fluxo do canal principal. Admite-se que, neste caso, exista uma (des) conectividade tanto lateral como longitudinal.

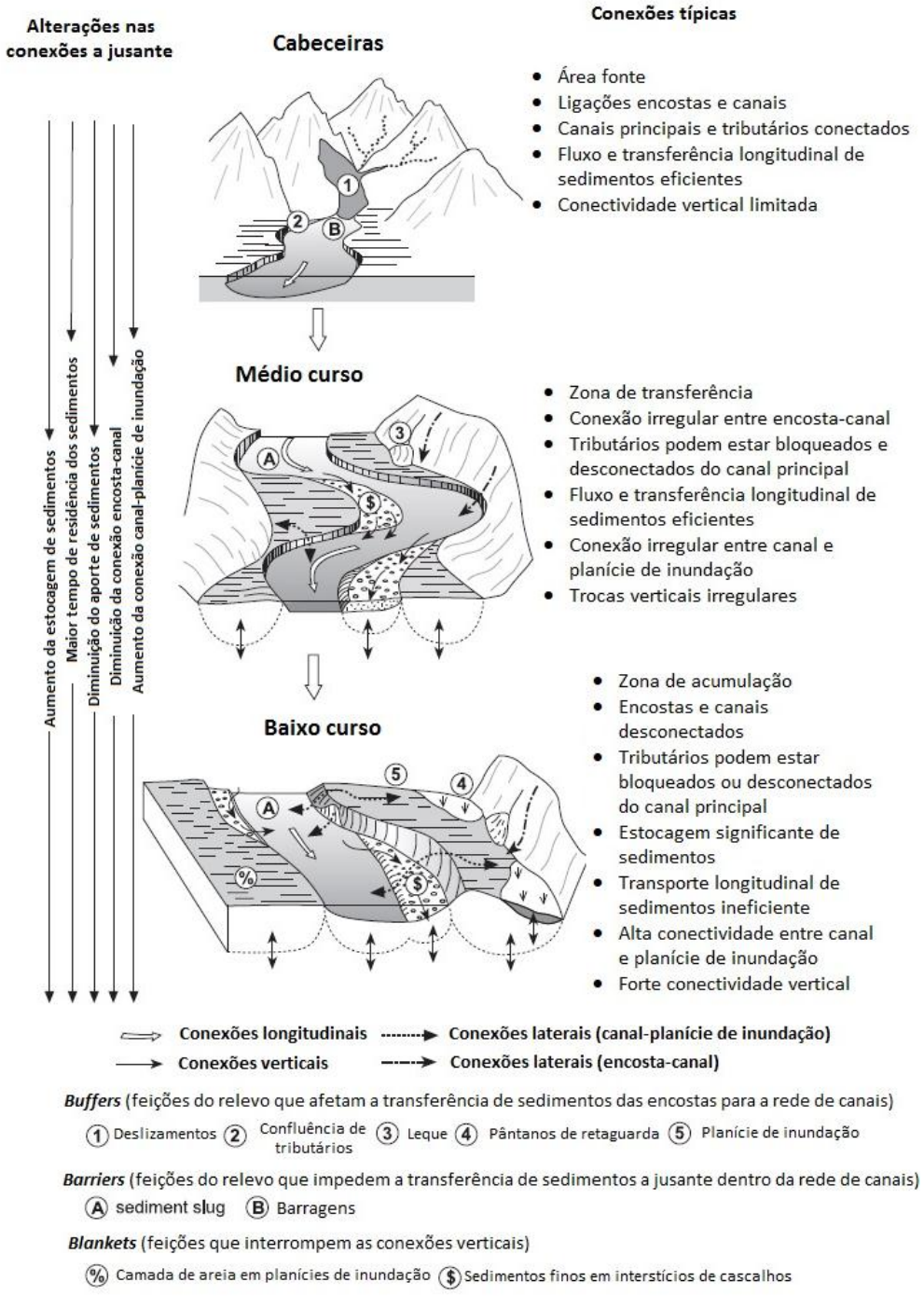

Figura 8: Conectividade em uma bacia idealizada. As ligações laterais, longitudinais e verticais apresentam forças diferentes no alto, médio e baixo curso de uma bacia idealizada, de acordo com a configuração dos processos de cada zona e a localização dos bloqueios (FRYIRS, 2013, p. 35, tradução nossa).

A natureza e a extensão da área (des) conectada de uma bacia hidrográfica variam ao longo do tempo e espaço, influenciada pela forma, composição escala e posição dos bloqueios FRYIRS *et al*., 2007a). Por isso, os bloqueios têm influência direta na definição da área ou porção da bacia que tem o potencial de contribuir diretamente com sedimentos para rede de canais sob dadas condições de fluxo (FRYIRS, *op. cit*.). Ou seja, a área de captação efetiva é ampliada quando o *input* de energia, no caso o evento chuvoso, é suficientemente forte, para que seja capaz de ultrapassar ou romper os impedimentos.

Schumm (1963) aponta que a denundação em grandes áreas necessita de mais tempo do que em áreas pequenas. Isto porque os sedimentos oriundos das partes mais altas das grandes bacias podem ser depositados, erodidos e redepositados diversas vezes antes de chegarem ao exutório, já em pequenas bacias, as encostas íngremes permitem um rápido transporte de sedimentos ao longo do sistema da bacia e para fora da mesma.

Segundo Harvey (2002), a maioria das encostas são, na melhor das hipóteses, mal conectadas ao sistema fluvial, ou seja, há pouca transmissão de sedimentos a jusante. Este baixo grau de conexão pode ser explicado pela abundância de bloqueios de sedimentos em ambientes de encostas. Segundo o mesmo, a ligação pode ser efetiva em locais onde haja fluxo de detritos em encostas *(hillslope debris flows)* alimentadas por ruptura do talude *(slope failure)* ou onde os processos de encosta são dominados pelo escoamento superficial.

Quadro1: Definição e funcionalidades dos *buffers* no alto curso da bacia do rio Hunter, SE da Austrália (FYIRS, 2007a, p.301, tradução nossa).

Feição	Definição e posição	Como identificar e mapear	Efeito do bloqueio
Buffers			
Sopé da encosta (piemonte)	Terreno com declividade suave (encosta suave) que se encontra entre a encosta escarpada e planície de inundação. Muitas vezes há ocorrência de planícies de inundação ou leques aluviais adjacentes.	Superfície distintamente graduada correndo ao longo da margem do vale. Algumas dentro da planície de inundação.	Blocos de sedimentos derivados das encostas adjacentes, sedimentos que não podem ser transportados através da superfície.
Leque aluvial	Área com traçado convexo de sedimento que se irradia a partir de uma pequena rede afluente, onde o fluxo emerge do confinamento para o fundo de vale. Muitas vezes existem planícies de inundação adjacentes.	Feição cônica localizada entre esporões de substrato rochoso (*bedrock spurs*). Trajeto do fluxo evidente na superfície.	Não ativo no momento. Impede o transporte de sedimentos de encostas e tributários alimentadores para o canal, pois os sedimentos não podem ser transportados pela superfície. Só podem ser retrabalhados se a incisão se estender por eles a partir do canal principal.
Terraço	Superfície elevada de antiga planície de inundação que raramente é inundada. Ocorre ao longo da margem do vale e, muitas vezes, é margeada por planície de inundação.	Feição escalonada (em degraus) encaixada entre uma margem do vale de leito rochoso e elevada se comparada à superfície da atual planície de inundação.	Não ativo no momento. Impede o transporte de sedimentos de encostas e tributários para o canal. Superfície elevada significa que fluxos contemporâneos não podem romper suas superfícies. Só podem erodir a partir do processo de expansão do canal. Sedimentos consolidados requerem condições de alta energia para que isso ocorra.
Planície de inundação contínua	Superfície plana adjacente à margem do canal em um vale lateralmente confinado. Podem estar encaixados entre margens de vales rochosos, terraços ou piemonte.	Superfície imediatamente adjacente à margem do canal com feições das unidades geomorfológicas de planície de inundação, como diques e paleocanais.	Impede o transporte de sedimento de encostas para o canal. Rompe o transporte longitudinal de material, removendo-o do canal. Superfícies atualmente ativas, mas exigem expansão dos canais para que elas sejam violadas.
Planície de inundação descontínua	Superfície plana adjacente à margem do canal em um vale parcialmente confinado. Podem estar encaixados entre margens de vales rochosos ou terraços.	Superfície imediatamente adjacente à margem do canal com feições da unidade geomorfológica de planície de inundação, como canais de inundação *(floodchannels)*.	Impede o transporte de sedimento de encostas para o canal. Rompe o transporte longitudinal de material, removendo-o do canal. Superfícies atualmente ativas, mas exigem expansão dos canais para que elas sejam violadas.
Tributário preenchido	Sistema tributário preso atrás de um terraço ou planície de inundação.	Superfície do vale de preenchimento intacto sem canal bem definido que flui para a parte de trás de um terraço ou planície de inundação ao longo de um vale tributário.	Preso atrás de outras formas de *buffer* e desconectando a rede de tributários do fluxo principal do fundo do vale.

4.4 Precipitação, Escoamento Superficial e Produção de Sedimento

A precipitação pluviométrica corresponde a um importante elemento no *input* de energia no sistema fluvial e, portanto, as características dos eventos influenciam a geração de escoamento e a capacidade de carreamento de sedimentos das encostas para a rede de drenagem e/ou fundo de vales. O entendimento dos fenômenos hidrológicos aponta para a importância de uma adequada rede de monitoramento pluviométrico, com uma série histórica contínua e uma distribuição espacial compatível a escala de análise.

Em áreas florestadas, Lima (1975) aponta que a precipitação efetiva corresponde à chuva que efetivamente chega ao solo, sendo esta, as gotas que passam diretamente pelas aberturas existentes entre as copas, as gotas que respingam das copas e o escoamento de tronco. Isto porque, parte da chuva é interceptada e retida temporariamente nas copas das árvores e em seguida redistribui-se através de gotas que caem direto das folhas das copas, do escoamento de tronco e outra parte retorna a atmosfera por evaporação.

A compreensão da movimentação da água na paisagem remete aos trabalhos pioneiros de Horton (1933), os quais o autor descreve o mecanismo de geração de escoamento superficial a partir da relação das variáveis, intensidade de precipitação e capacidade de infiltração do solo. Ou seja, escoamento superficial como parcela de água não infiltrada, cuja ocorrência está diretamente ligada a eventos de grande magnitude (SIEFERT & SANTOS, 2012).

Ainda segundo Siefert & Santos (2012), a teoria de Horton permaneceu vigente até a década de 60 quando estudos empíricos relacionados a modelagem matemática trouxeram avanços no conhecimento referente aos mecanismos de geração de escoamento. Os resultados destas pesquisas atinaram para importância do fluxo subsuperficial e a umidade antecedente do solo no processo de expansão e contração da porção saturada e da rede de drenagem da bacia, esta interação influencia o denominado escoamento superficial por saturação.

Sendo assim, tendo em vista a complexidade do tema, atualmente a teoria de escoamento superficial hortoniano é mais comumente aplicada ao processo de escoamento gerado em áreas impermeáveis ou em condições de solo saturado, onde as taxas de infiltração são inferiores a intensidade da chuva.

A produção de sedimentos pode ser analisada em diferentes escalas espaciais, desde a microescala que enfoca a desagregação das partículas do solo, como na escala de vertente, de bacia hidrográfica ou regional; como também em diferentes escalas temporais, indo do tempo histórico ao geológico, ou seja, dos processos atuais aos pretéritos.

No contexto das bacias hidrográficas as **vertentes** podem ser consideradas como **zonas "produtoras"** de água, que, pelo processo de escoamento, seriam levadas até a rede de drenagem. Caracterização semelhante pode ser empregada às vertentes como fontes produtoras de sedimentos pelo processo de erosão dos solos, cujas partículas são carreadas junto com a água até os rios, lagos ou são armazenadas nas partes inferiores das encostas (SILVEIRA, 2009).

Coelho Netto (1995) aponta que as formas geométricas do relevo (convexas, côncavas ou retilíneas) são ao mesmo tempo condicionantes e resultantes do processo erosivos e/ou deposicionais e que entre o topo das encostas e fundo de vales transitam sedimentos e diversos elementos detríticos ou solúveis, através de mecanismos associados a água, vento ou gelo em interação com as forças gravitacionais.

A partir da analogia com ciclo hidrológico, Bordas & Semmelmann (2009) apontam para o ciclo hidrossedimentológico que envolve o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia. Tal ciclo é totalmente dependente do primeiro, no entanto diferente da molécula de água, o sedimento não volta ao meio de onde provêm.

Ainda segundo Bordas & Semmelmann (*op. cit.*), os principais processos que compõem o ciclo hidrossedimentológico são: a desagregação, que seria o desprendimento de partículas sólidas do meio do qual faz parte; a erosão, processo de deslocamento das partículas sólidas da superfície do solo ou das paredes dos leitos dos córregos e rios; o transporte do material erodido pela água; a decantação das partículas mais finas transportadas em suspensão; o depósito, parada total das partículas e consolidação, compactação do depósito resultante.

Considerando a água como principal agente modelador do relevo no domínio tropical e reconhecendo a importância da compreensão dos fluxos de água e de sedimento das encostas para os canais fluviais, Hooke (2003) aponta os afluentes, erosão das margens de canais e das paredes dos vales, erosão dos pedimentos coluviais, movimentos de massa e erosão das encostas por fluxos superficiais, erosão em tuneis (*piping*) e voçorocamento como principais fontes de sedimentos para o canal.

A produção de sedimentos depende de uma série de fatores naturais (precipitação, relevo e solo), mas também sofre grande influência de fatores antrópicos como a interferência no uso e ocupação do solo. Desta forma, a partir das características destes fatores é possível inferir de

forma qualitativa sobre a dinâmica de aporte sedimentar (CARVALHO, 2008 e PEREIRA *et al.*, 2010).

A geologia através do controle estrutural e composição do material (litologia) controla diretamente e indiretamente a dinâmica do escoamento da água e erosão dos solos. O controle estrutural tem grande influência na configuração geomorfológica, principalmente no alto curso das bacias de drenagem. Já a natureza do substrato geológico influencia a composição mineralógica e textura dos solos que determina sua erodibilidade.

As características da chuva, tamanho das gotas e energia cinética são importantes para definir sua erosividade, capacidade erosiva, juntamente com as características do solo e do relevo, capacidade de infiltração, tipo de cobertura e declividade, determinam o momento no qual há o início do escoamento superficial e consequentemente a erosão hídrica dos solos.

Guerra (1995), ao relacionar intensidade da chuva e energia cinética aponta que grande percentagem das gotas grandes (> 4,0mm) pertencem a intensidade entre 50 e 100 mm/h. No entanto, ressalta que outros fatores devem ser considerados para predizer a perda do solo. Para enfatizar a complexidade da compreensão deste processo, cita os estudos de Reed (1979) que demonstram que, dependendo das propriedades do solo, a erosão pode ocorrer até mesmo sob chuva com intensidade de apenas 1mm/h, desde que o total pluviométrico seja de 10 mm.

Como demonstra Silveira (2009), com o escoamento superficial há o início do processo de erosão dos solos:

> *O **escoamento superficial** é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo. O escoamento superficial manifesta-se inicialmente na forma de pequenos filetes de água que se moldam ao microrrelevo do solo. A erosão de partículas de solo pelos filetes em seus trajetos, aliada à topografia preexistente, molda, por sua vez, uma microrrede de drenagem efêmera que converge para a rede de cursos de água mais estável, formada por arroios e rios.* (SILVEIRA, 2009 p.37).

A erosão hídrica pode ser tanto laminar como linear. A erosão laminar está relacionada com o escoamento superficial difuso da água da chuva, que resulta na remoção de partículas finas da camada superficial do solo. Já a erosão linear depende do escoamento superficial e/ou subsuperficial, formando sulcos, ravinas ou voçorocas.

Estas feições são descritas como sinais de instabilidade dos sistemas geomorfológicos, cujas causas apontadas podem ser decorrentes: de eventos extremos, de mudanças climáticas ou hidrológicas da bacia, da remoção da vegetação ou mudança nas propriedades do solo ou mudança do nível de base (OOSTWOUD WIDJENES & BRYAN, 1991).

Diversos autores como Dunne & Leopold (1978), Bigarella, *et al.* (1979), Guerra (1995, 1999) apontam para o impacto da retirada da vegetação natural e aumento da erosão dos solos e o consequente aumento da carga se sedimento nos rios. De forma semelhante Silveira (2009) descreve a importância da vegetação na redução da erosão:

> *A presença de vegetação na superfície do solo contribui para obstaculizar o escoamento superficial, favorecendo a infiltração em percurso. A vegetação também reduz a energia cinética de impacto das gotas de chuva no solo, minimizando a erosão* (SILVEIRA, 2009 p.37).

As estradas também são reconhecidas como elementos que interferem nos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica e a instabilidade de encostas (MEGAHAN,1977; PECHENICK, 2014). Megahan (*op. cit*.) aponta que umas das possíveis causas da erosão após a construção de estradas em terras florestadas são decorrente da eliminação ou redução da cobertura de proteção do solo, do aumento da inclinação das encostas criada pelos cortes e aterros das encostas, diminuição da taxa de infiltração, interceptação do fluxo de subsuperfície pelo corte na encosta provocado pela estrada, diminuição da resistência ao cisalhamento e concentração da água interceptada. De maneira semelhante Pechenick (*op. cit.*), aponta que nas bacias de alto curso as estradas localizadas paralelas aos córregos podem modificar a hidrologia da encosta concentrando o escoamento em valas ou canaletas de drenagem em direção ao canal ou bueiros com probabilidade de desenvolvimento de ravinas e voçoroca e, além disso, quando encontradas ao longo dos contornos das vertentes, corte de estradas, possuem potencial para interceptar o fluxo de água subsuperficial proveniente da encosta adjacente.

Além dos processos erosivos citados, a ocorrência de movimentos gravitacionais também contribui diretamente no aporte de sedimentos para o fluxo do canal e preenchimento dos vales. No entanto, grande parte destes sedimentos fica retida por períodos variados no ambiente de encosta, contribuindo em menor escala no aporte de sedimentos para os canais fluviais e, consequentemente, gerando menos risco ao processo de assoreamento dos rios.

4.5 Sistema de Informação Geográfica na Análise e Gestão Ambiental e dos Recursos Hídricos

A Gestão Ambiental e dos Recursos Hídricos são atividades diretamente interligadas. Segundo Lanna (2000), a Gestão Ambiental constitui-se do "*processo de articulação das ações dos diferentes agentes sociais que interagem em um dado espaço, com vistas a garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos ambientais (...) às especificidades do*

meio ambiente, com base em princípios e diretrizes previamente acordados/definidos" (LANNA, 2000 p. 75). O que torna a Gestão Ambiental, segundo o autor, uma atividade voltada à estruturação de sistemas gerenciais de tomada de decisões que promovem o inventário, uso, controle, proteção e conservação do ambiente visando a atingir o objetivo estratégico do desenvolvimento sustentável. Tendo em vista que a água é um dos elementos que compõem o meio ambiente o gerenciamento desse elemento ou recurso está interligado ao gerenciamento do meio ambiente e tem a bacia hidrográfica como a unidade geográfica mais apropriada ao planejamento e intervenção.

A rede de canais pode ser vista como conjuntos atributos (des) conectados, multidimensionais e multiescalares enquadrados dentro do contexto da bacia, dentro do qual, diferentes relações de processos operam em escalas de tempo variáveis. O monitoramento na escala da bacia é necessário para apontar a variabilidade inerente e a conectividade de um determinado sistema fluvial. Isso é necessário para avaliar as respostas do sistema de fluxos do ajustamento rio. As abordagens trans-escalares se aproximam dos processos que operam a unidade hidráulica, unidade geomorfológica até alcançar a escala da bacia, avaliando as ligações espaciais entre esses componentes (BRIERLEY *et al*; 2010). Pesquisas na escala da bacia também são adequadas para identificar e tratar as causas, ao invés dos sintomas, dos processos degradacionais, auxiliando a determinar se a influência dos processos degradacionais é específico do local ou se refletem impactos de fora deste, induzidos por eventos de perturbações em outros pontos da área da bacia de drenagem (BRIERLEY e FRYIRS, 2009; SKINNER e BRUCE-BURGESS, 2007 *apud* BRIERLEY *et al*; 2010).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) aparece como excelente ferramenta para análise integrada dos elementos que compõem o meio ambiente e ainda para apoiar o processo de tomada de decisão por parte dos gestores baseado nos produtos por ele gerado. O SIG possibilita a análise espacial multiescalar e o relacionamento dos dados espaciais que são manipulados como camadas sobrepostas. A análise espacial desenvolvida no ambiente SIG possibilita a simples representação de um elemento natural ou antrópico como também a modelagem de complexos fenômenos ambientais, permitindo uma representação dos processos ambientais do mundo real.

Segundo Fernandes *et al.* (2012) a análise geomorfológica foi facilitada pelo uso de técnicas de geoprocessamento, como exemplo destaca os estudos de Hutchinson (1989), Guimarães (2000), Coelho Netto et al. (2007), Wilson & Gallant (2000). O autor chama

atenção para o cuidado necessário com os resultados alcançados a partir da construção de representações computacionais da realidade, com destaque para a dimensionalidade dos dados e informações a serem trabalhadas na modelagem da paisagem, os quais geralmente são trabalhados a partir de dados da superfície planimétrica (projetada), o que pode gerar resultados de cálculo de áreas e distâncias subestimados.

Desta forma, os Modelos Digitais de Elevação aparecem como alternativa para trabalhar com a dimensionalidade dos elementos da paisagem (FERNANDES *et al;* 2012), possibilitando a definição de alguns aspectos hidrológicos como a identificação da direção de fluxo, cálculo do fluxo acumulando, extração das linhas de drenagem e limites da bacia, a partir da extração automática utilizando métodos e algoritmos pré-existentes.

Muitos Modelos Digitais de Elevação são obtidos a partir de mapas topográficos cuja precisão está diretamente condicionada a escala deste mapeamento, o que se torna um problema dependendo do objetivo da pesquisa, pois não há no Brasil uma boa cobertura de mapeamento topográfico de detalhe.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A análise da conectividade entre o ambiente de encosta e de fundo de vale demanda a compreensão dos mecanismos de transporte e estocagem de sedimentos, considerando a variabilidade temporal e espacial. A fim de alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa foi realizado um levantamento bibliográfico teórico-metodológico sobre o conceito de sistema fluvial, bacias hidrográficas, precipitação, escoamento superficial, produção de sedimentos, erosão hídrica dos solos e (des) conectividade entre ambientes.

Os procedimentos metodológicos e operacionais da pesquisa podem ser divididos em seis etapas: 1) análise dos dados de chuva, 2) elaboração dos mapas bases - MDE e declividade, 3) classificação do vale do rio Sana quanto ao grau de confinamento, 4) identificação dos bloqueios, 5) mapeamento da área de captação efetiva e 6) mapeamento da conectividade.

Os dados trabalhados são provenientes de fontes oficiais e estudos com credibilidade técnica, no entanto, nem sempre a escala é a mais adequada para a leitura que se deseja nesta pesquisa, mas os dados são os mais confiáveis e atuais existentes da área de estudo. É importante chamar atenção para as distintas escalas dos dados cartográficos utilizados, sendo referenciadas suas características sempre que utilizados. São utilizadas também diversas escalas de representação espacial de acordo com os aspectos que se pretende destacar do fenômeno descrito.

5.1 Análise dos dados de chuva

A análise dos dados de chuva parte do pressuposto que a água precipitada impulsionada pela força da gravidade é o principal *input* na transmissão de energia e matéria das encostas para os vales e canais, refletindo o grau de conexão destes subsistemas do ponto de vista da transmissão de água e sedimento. Nesta pesquisa esta transferência de água e sedimento será descrita pela relação entre chuva e escoamento superficial Hortoniano.

Os dados pluviométricos foram adquiridos através do acervo digital do Sistema de Informações Hidrológicas – HIDROWEB, disponíveis no site da Agência Nacional de Águas (ANA), das estações: Barra Alegre (2242018) no município de Bom Jardim, Maria Mendonça (2242002) no município de Trajano de Moraes, Fazenda Oratório (2241004) no município de Macaé, e Galdinópolis (2242004) no município de Nova Friburgo, nenhuma delas localizadas no sistema de drenagem do rio Sana, mas sim na bacia do rio Macaé e adjacências (Quadro 2

e Figura 9). A escolha das estações foi motivada pela distância da área de estudo e a presença de uma série histórica contínua de 20 anos (1994 - 2013). As estações pluviométricas trabalhadas registram os valores de chuva no período de 24h, não sendo possível calcular a intensidade e duração dos eventos.

Quadro 2: Informações das estações pluviométricas

Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Barra Alegre	2242018	-22:14:8	-42:17:9	650
Maria Mendonça	2242002	-22:11:11	-42:9:49	800
Fazenda Oratório	2241004	-22:15:33	-41:59:3	50
Galdinópolis	2242004	-22:21:49	-42:22:51	740

Fonte: ANA

Figura 9: Distribuição das estações pluviométricas da ANA na bacia do rio Macaé e adjacências.

O objetivo inicial da análise dos dados pluviométricos era obter uma aproximação da distribuição espaço-temporal dos eventos de chuva recorrentes e extremos na bacia do rio Sana. No entanto, a impossibilidade de caracterização dos eventos de chuva, devido ao

registro de totais diários acumulados e presença de uma rede de monitoramento esparsa, desencadeou a necessidade de adaptação da metodologia.

O Polígono de Thiessen foi utilizado para determinar as áreas de influência das estações e auxiliar na definição da estação a ser trabalhada (Figura 10). O traçado do polígono de Thiessen foi definido em ambiente SIG no software ArcGIS 10 aplicando a ferramenta *Create Thiessen Polygon* que utiliza o método de triangulação Delaunay para definir a área de influência de cada estação. Dessa forma, observa-se que as áreas de influência das estações Galdinópolis e Fazenda Oratório não cruzam a bacia do rio Sana, já a estação Maria Mendonça abrange 47,8% da área da bacia e a Barra Alegre 52,2%. Devido a maior área de abrangência na bacia do rio Sana, optou-se pela utilização dos dados da estação Barra Alegre para estimar padrões de magnitude das chuvas diárias e analisar a frequência de tais eventos.

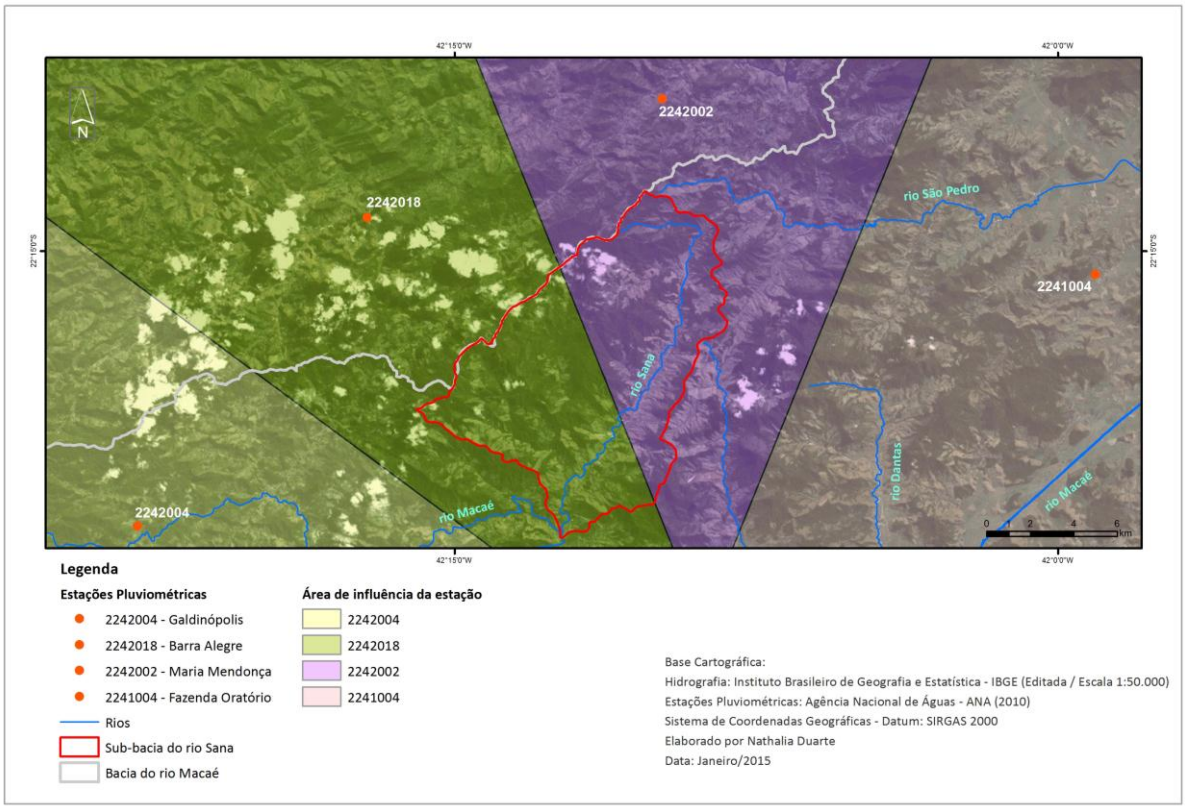

Figura 10: Área de influência das estações pluviométricas da ANA pelo Polígono de Thiessen.

Os dados originais do banco de dados Access foram exportados para Excel, o que permitiu o tratamento estatístico para obtenção das classes de chuva quanto a sua magnitude e em seguida dos valores, da precipitação total anual, do número de dias com chuva e da frequência

de chuvas de baixa, moderada e alta magnitude na bacia do rio Sana. Optou-se por utilizar as máximas diárias mensais da estação Barra Alegre para estipular estes limiares.

Como mencionado anteriormente, a análise dos dados de chuva nesta pesquisa tem como objetivo correlacionar os registros de precipitação diários com o escoamento superficial Hortaniano, processo desencadeador do movimento de partículas do solo a jusante. Sendo assim, somente precipitações que geram escoamento superficial foram consideradas. A umidade antecedendo do solo, perda por evapotranspiração e infiltração não serão contemplados nesta pesquisa.

Na busca de classificar as chuvas diárias de acordo com sua magnitude, as classes empregadas foram: chuvas diárias de baixa magnitude, chuvas diárias de moderada magnitude e chuvas diárias de alta magnitude. Tais classes foram definidas a partir de descrições estatísticas e teóricas, com objetivos de estimar limiares de chuva correlacionando-os com a capacidade de romper os bloqueios e influenciar a conectividade do sistema de drenagem.

Para definir o valor mínimo da altura das chuvas diárias de **baixa magnitude** capazes de gerar escoamento superficial foram considerados os apontamentos de Miranda (1992), que relata que chuvas de até 10 mm podem ser totalmente interceptadas pelas copas florestais e de Reed (1979, *apud* GUERRA, 1995), que considera apenas os eventos de chuva maiores de 10 mm capazes de gerar escoamento superficial. Sendo assim, as chuvas diárias abaixo de 10 mm não foram consideradas na pesquisa. As chuvas diárias de **moderada magnitude** têm o limite mínimo definido a partir da média da série histórica de 20 anos de máximas diárias mensais da estação Barra Alegre. Já o limite mínimo das chuvas diárias de **alta magnitude** foi definido pelo valor máximo, sem considerar os valores atípicos (*outlier)*, da máxima diária mensal da estação Barra Alegre. A Figura 11 expõe os valores das máximas diárias mensais da estação Barra Alegre e, circulado, o valor definido como limiar de alta magnitude, correspondente ao mês de janeiro (126,6 mm). Os valores dos limiares encontram-se no Quadro 3.

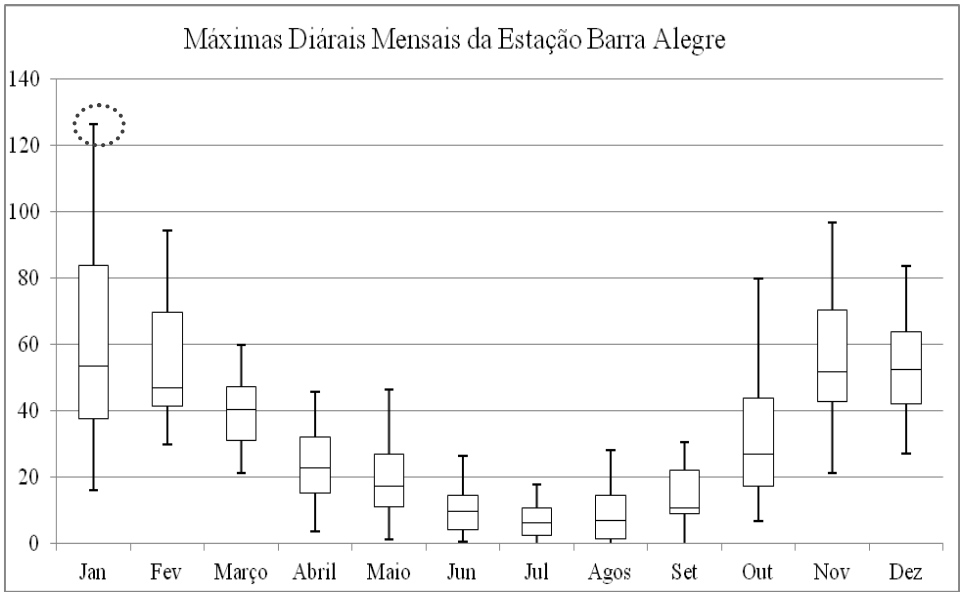

Figura 11: "*Boxplot"* variação das máximas diárias mensais da estação Barra Alegre.

Quadro 3: Valores dos limiares de chuva diária de acordo com a magnitude

Magnitude da chuva diária	Limiar (mm/dia)
Baixa magnitude (***B***)	$10{,}0 \leq \boldsymbol{B} < 33{,}5$
Moderada magnitude (***M***)	$33{,}5 \leq \boldsymbol{M} < 126{,}6$
Alta magnitude (***A***)	$\boldsymbol{A} \geq 126{,}6$

5.2 Elaboração dos mapas bases - MDE e declividade

A declividade das encostas é considerada nesta pesquisa como o principal fator controlador do aporte de sedimento das encostas para os canais, seguindo orientações da metodologia utilizada por Fryirs *et al.* (2007a; 2007b) para definição da área de captação efetiva. O Modelo Digital de Elevação (MDE), com informações de declividade e altimetria, foi desenvolvido a partir da base vetorial das cartas topográficas do IBGE (folha: Trajano de Moraes, Quartéis e Casimiro de Abreu) na escala 1:50.000 utilizando o *software* ArcGIS 10. Os arquivos originalmente no formato *.dgn próprio de sistemas CAD. foram transformados para o formato *shapefile* compatível à manipulação em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os dados de entrada utilizados para a confecção do Modelo Digital de Elevação (MDE) através da ferramenta *Create TIN* da extensão *3D Analyst* do ArcGIS foram: curva de nível, hidrografia, pontos cotados e limite da bacia. Os parâmetros aplicados aos dados estão expostos na Figura 12.

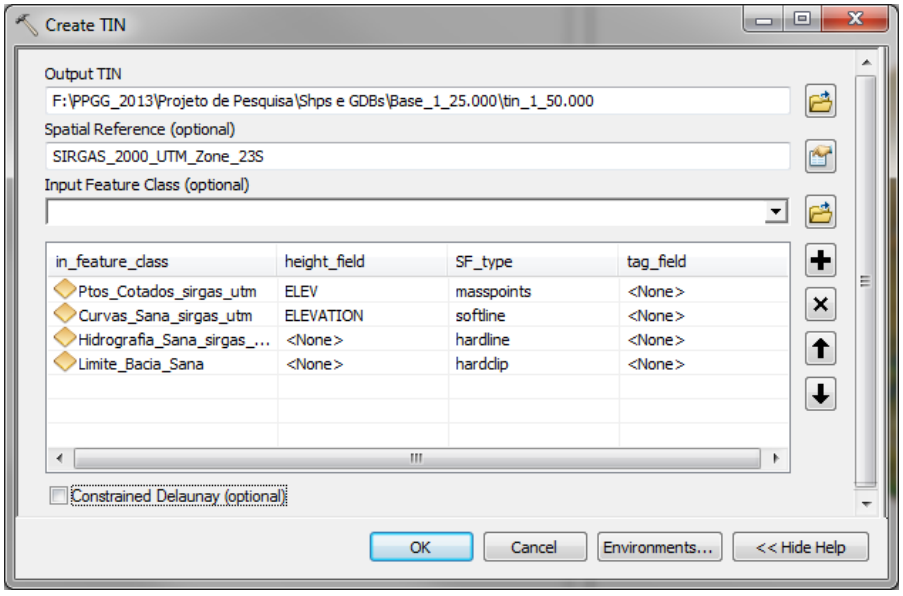

Figura 12: Parâmetros aplicados na elaboração do MDE da bacia do rio Sana.

As informações de declividade e altimetria são fundamentais para definição do grau de confinamento dos vales, identificação dos bloqueios naturais, delimitação da área de captação efetiva e, consequentemente, o mapeamento da conectividade do sistema de drenagem do rio Sana, as classes de declividade utilizadas para tais procedimentos foram descritas nos tópicos seguintes. As classes de declividade foram definidas arbitrariamente para representação visual em mapa, sendo estas: 0 - 3°, 3 - 5°, 5 - 20°, 20 - 30°, 30 - 45° e 45 - 90°.

5.3 Grau de confinamento dos vales

O grau de confinamento do vale do rio Sana foi definido a partir das características de largura do vale que é controlada principalmente pela estrutura do embasamento geológico e efetividade dos processos geomorfológicos da área de estudo. A base de dados utilizada foi MDE, gerado a partir das cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000, e seus produtos derivados: altimetria e declividade.

A definição das classes seguiu a proposta em uma das etapas da metodologia dos estilos fluviais (River Styles®) desenvolvida por Brierley & Fryirs (2003). O resultado foi comparado como o obtido por Lima (2010) que aplicou esta metodologia na Bacia do rio Macaé. As classes segundo a configuração dos vales são: vale confinado (sem presença de planícies de inundação), vale parcialmente confinado (com presença de planícies de inundação descontínuas) e vale não confinado (com presença de planícies de inundação contínuas) (BRIERLEY & FRYIRS, 2003).

Segundo Brierley & Fryirs (2005), a configuração do vale influencia a capacidade de ajuste lateral do canal e consequentemente o comportamento dos rios. Além disso, grau de confinamento dos vales refletem as características dos compartimentos geomorfológicos que estão inseridos e contribuem para o identificação da conectividade lateral de um determinado segmento de canal, ao refletir a ocorrência ou ausência de planície de inundação.

5.4 Identificação dos bloqueios

Como visto anteriormente os bloqueios são formas que interrompem e impedem a transmissão de sedimentos em suspensão e consequentemente restringe a área de captação efetiva da bacia. Desta forma, a localização e a classificação dos bloqueios do sistema de drenagem do rio Sana, somados a análise dos *inputs* de chuva necessários para rompê-los são etapas fundamentais para definição da área de captação efetiva. Os trabalhos de Brierly *et al.* (2006) e Fryirs *et al.* (2007), orientam como identificar os bloqueios.

Tendo em vista que a presente pesquisa enfoca a conectividade lateral, remeteu-se maior atenção aos bloqueios classificados por Brierley (*op. cit.*) e Fryirs (*op. cit*.) como *Buffer* (ver Quadro 1, página 24). Interessante chamar atenção para o fato dos autores priorizarem tipologias de bloqueios naturais, como formas de relevo que, de alguma maneira, desconectam os subsistemas encostas e canais no que se refere a transferência de água e sedimentos. A tipologia de bloqueio lateral natural aplicada na presente pesquisa seguiu a proposta de Fryirs (2007a) com algumas adaptações, as classes utilizadas foram: 1) sopé da encosta e terraço alto, 2) planície de inundação e terraço baixo, 3) tributário preenchido e 4) cabeceiras de drenagem entulhada. Observa-se que não foi possível identificar as feições geomorfológicas referentes aos terraços a partir da metodologia proposta que se baseia principalmente em análises utilizando técnicas de geoprocessamento, isso se deve pela escala dos dados de entrada (1:50.000) que inviabiliza um mapeamento de detalhe e diferenciação de feições que apresentam pequenas variações na elevação. Optou-se, portanto, em dividir os terraços em terraço alto (mais antigo) e terraço baixo (mais próximo do leito atual do rio), pois acredita-se que o primeiro confunde-se mais com os sopés de encosta e o segundo com o ambiente fluvial das planícies de inundação.

Além destes bloqueios naturais, foram adicionados os bloqueios antrópicos considerados como formas de intervenções humanas que alteram diretamente a morfologia do relevo e colaboram para a desconexão destes subsistemas, sendo estes: as estradas e as áreas urbanas.

Para identificar os bloqueios laterais naturais (*buffers* naturais) foram utilizados técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG, primeiramente foram delimitadas as formas agradacionais com declividades menores ou iguais a 5°, 10° e 15° com objetivo de comparar os resultados a partir da sobreposição de imagens e do MDE afim de escolher o limiar mais adequado. O resultado mais condizente com a realidade, ou seja, que gerou polígonos mais próximo das feições deposicionais consideradas como bloqueios laterais, foi o derivado do limiar de declividade menor ou igual a 10°. Em seguida, esta camada de feições resultante da etapa anterior foi refinada, excluindo as áreas planas de topo de morro e as áreas com pequenas dimensões (< 100m²). Através da análise da topologia das feições, definida através da relação espacial existente entre outras feições mapeadas, por exemplo, rios e divisores de drenagem, as feições geomorfológicas definidas como bloqueios foram classificadas. Neste processo foram utilizados os *softwares* ArcGIS, ArcScene e Google Earth, e, quando possível, a confirmação das feições deposicionais em campo.

As planícies de inundação e terraços baixos do rio Sana foram delimitadas com auxílio da informação sobre o grau de confinamento do vale. Sendo assim, nos vales não confinados e em alguns pequenos alvéolos fluviais foram encontradas planícies de inundação e terraços baixos nas duas margens do canal, nos vales parcialmente confinados, há presença de planície de inundação e terraço baixo em apenas uma das margens, e nos vales confinados há ausência de planícies de inundação e terraço baixo.

Os bloqueios antrópicos, área urbana e estrada, foram definidos, respectivamente, a partir de um mapeamento pré-existente e um mapeamento de campo. As feições que representam as áreas urbanas foram extraídas do mapeamento de Vegetação e Cobertura do Solo da Associação Candido Mendes de Ensino e Pesquisa (ACAMEP, 2011) para o Projeto Macaé Rio Sustentável (2ª edição) a partir do agrupamento das classes ocupação urbana de baixa densidade e ocupação rural. Na feição estrada, foi considerada apenas a Estrada Sana-Frade, mapeada em campo com um GPS Garmim Montana 650, apenas os trechos com pelo menos 100 metros de distância do rio Sana foram considerados como bloqueios laterais. Apesar de a presente pesquisa dar maior enfoque nos bloqueios laterais, observou-se que um grande problema na área de estudo são os trechos de estrada que cortam as confluências dos tributários, interferindo a morfologia da confluência e alterando a transferência de água e sedimento destes. Sendo assim, todas as confluências foram mapeadas como pontos a partir da hidrografia e sobreposta a feição da Estrada Sana Frade, a fim de observar a situação

quanto a morfologia destes ambientes no campo realizado no dia 19 de fevereiro de 2015. No que se refere à morfologia da confluência foram definidas duas classes: confluência natural, livre de intervenções antrópicas diretas e confluência antropizada, com presença de obras de engenharia como pontes e manilhas que estrangulam o tributário dificultando o escoamento da água e sedimentos.

5.5 Mapeamento da área de captação efetiva

A definição da área de captação efetiva só é possível mediante a análise prévia do comportamento da transferência de sedimentos em suspensão considerando os impedimentos e, como estes bloqueios se comportam em relação à magnitude dos eventos de precipitação (FRYIRS *et al.*, 2007).

Seguindo as orientações de Fryirs *et al.* (2007) a primeira etapa para identificar a área de captação efetiva é decompor a bacia em sub-bacias, a partir do canal principal e dos tributários, criando um mosaico de sub-bacias permita analisar de forma individualizada a transmissão de cada área e identificar quais dessas áreas contribuem efetivamente para o canal principal. Este procedimento foi desenvolvido a partir de técnicas de geoprocessamento utilizando as linhas de drenagem e o modelo digital de elevação (MDE).

A rede de drenagem utilizada na presente pesquisa foi originária da base cartográfica IBGE 1:50.000 editada a partir das ortofotos SEA/INEA 1:25.000 através de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto utilizando o ArcGIS 10. O traçado do canal principal do rio Sana foi totalmente remodelado segundo as ortofotos e as confluências dos principais tributários alteradas utilizando as ortofotos e posterior validação em campo a partir da captura destes pontos pelo GPS Garmim Montana 650.

O Modelo Digital de Elevação originalmente desenvolvido como grade triangular (TIN) com uma estrutura tipo vetorial foi convertido em um modelo raster ou matricial, necessário para aplicação de técnicas de geoprocessamento que permitem delimitar de forma automática as sub-bacias. Para isso foi utilizado a ferramenta TIN to Raster da extensão *3D Analyst* do ArcGIS, com tamanho da célula definida como 10 metros. Tendo em vista que o MDE foi desenvolvido a partir de uma base cartográfica 1:50.000, a definição do pixel mínimo seguiu como referência o padrão de exatidão cartográfica de qualidade “A” cujo o menor elemento possível corresponde a metade da equidistância entre as curvas de nível (Decreto 89.817 de 1984).

A delimitação automática das sub-bacias foi realizada no ArcGIS 10 utilizando a extensão ArcHydro Tools 2.0 do Centro de Investigação em Recursos Hídricos da Universidade do Texas. Primeiramente foram eliminadas as pequenas imperfeições do MDE através da ferramenta *Fill*. Em seguida foi necessário a delimitação das linhas de fluxo d'água utilizando os comandos *flow direction*, *flow accumulation*, *stream definition* e *stream segmentation*. Na etapa de utilização da ferramenta *stream definition* foram testados três limiares de área de drenagem (2km², 1km² e 0,5km²) que reflete na definição da linha de fluxo. Um limiar menor irá resultar em uma rede de drenagem mais densa e, geralmente, um maior número de sub-bacias (Fall, 2006). Optou-se por utilizar a feição resultante do limiar de 0,5km² devido ao melhor detalhamento das sub-bacias por ela gerada a partir da aplicação das rotinas *Catchment Grid Delineation* e *Catchment Polygon Processing* do ArcHydro. O mosaico de pequenas sub-bacias resultante foi editado manualmente com objetivo de corrigir eventuais erros e preencher as áreas vazias.

As principais sub-bacias e áreas definidas como entidades separadas para fins comparativos da área de captação efetiva e conectividade foram modeladas a partir do agrupamento deste mosaico de pequenas sub-bacias. Esses agrupamentos originaram cinco áreas, descritas conforme sua localização e características na Bacia do rio Sana, sendo estas: Cabeceira do rio Sana (que compreende no alto curso da bacia do rio Sana até a confluência com a sub-bacia do Córrego da Alegria), Córrego da Alegria (sub-bacia de 4ª ordem, localizada na margem direita do rio Sana), Córrego Peito de Pombo (sub-bacia de 5ª ordem, localizada na margem direita do rio Sana), Córrego do Colégio (sub-bacia de 4ª ordem, também na margem direita do rio Sana) e Vale do Rio Sana (que inclui o rio principal e as sub-bacias de primeira, segunda e terceira ordem). A base de dados utilizada na hierarquização da rede de drenagem foi a do IBGE 1:50.000 com as feições editadas, sem inclusão de novas linhas de drenagem.

5.6 Mapeamento da conectividade

O mapa da conectividade do sistema de drenagem do rio Sana é o principal produto desta pesquisa, este agrega os dados resultantes de todas as etapas anteriormente descritas e permite analisar a resposta da conectividade lateral, mediante três cenários hipotéticos relativos a magnitude dos eventos de precipitação. Para isto, foi necessário identificar a resposta dos bloqueios naturais e antrópicos aos *inputs* de chuvas diárias de baixa, moderada e alta

magnitude. Criando cenários que retratam a área de contribuição efetiva para cada *input* de energia mencionado. O tempo efetivo (Figura 13) definido por Fryirs *et al.* (2007b) como a recorrência dos eventos de acordo com a magnitude necessária para romper os bloqueios, também foi analisado. Esta etapa reflete como as chuvas interagem com as feições geomorfológicas denominadas como bloqueio.

Este mapeamento foi desenvolvido em ambiente SIG, utilizando a camada com a informação espacial dos bloqueios sobreposta ao mosaico de sub-bacias, a fim de identificar a área contribuinte, a montante dos bloqueios que sofre influência destes na transmissão de sedimentos e água para o canal de drenagem mais próximo. Os bloqueios naturais e antrópicos foram classificados segundo a magnitude da chuva necessária para rompê-los, o que gerou três cenários: de baixa, moderada e alta magnitude. Para obtenção da área de captação efetiva considerando os três limiares de chuva foi necessário aplicar novamente as rotinas de modelagem hidrológica do ArcHydro, descritas no tópico anterior, eliminando as áreas com bloqueio do MDE.

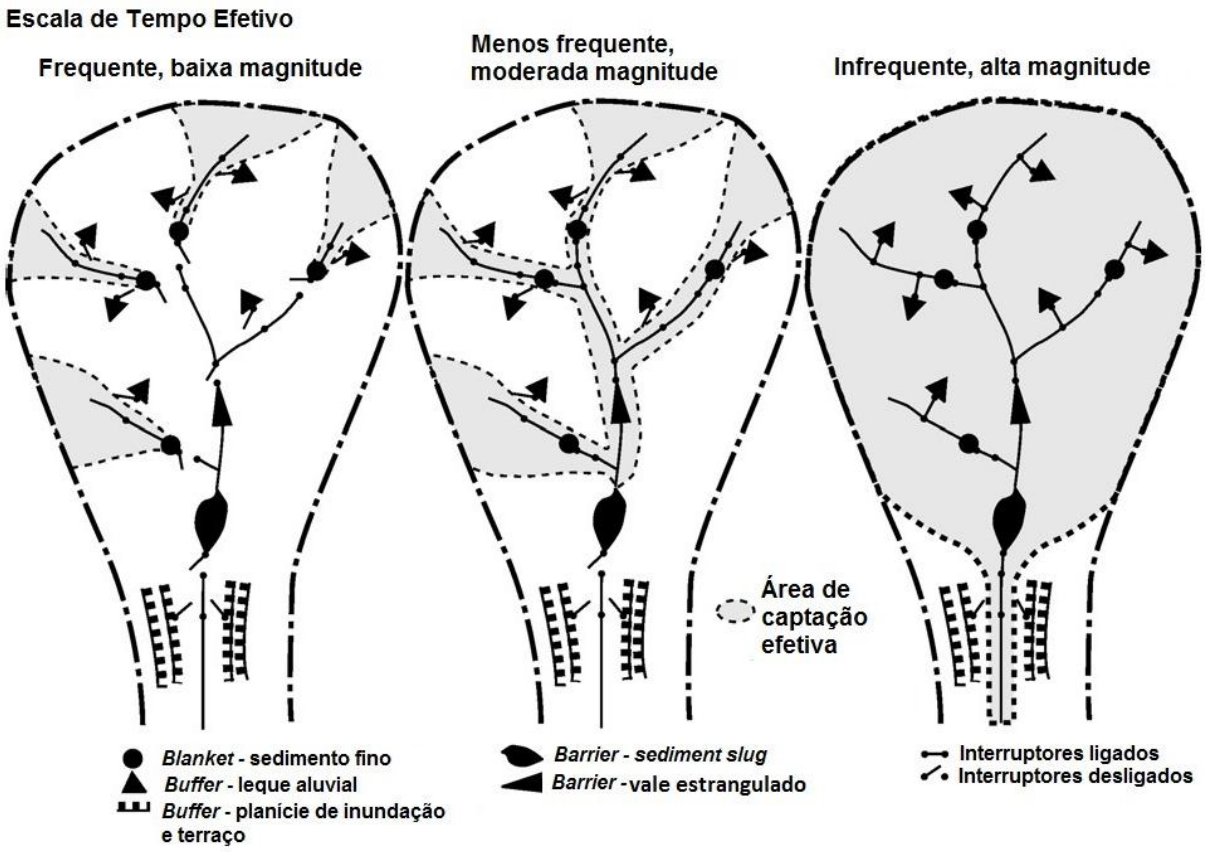

Figura 13: Conectividade da bacia de drenagem. A partir da relação entre área de contribuição efetiva e escala de tempo efetivo (FRYIRS, *et al.* 2007b, p.55, tradução nossa).

O grau de conectividade do sistema de drenagem do rio Sana e das suas sub-bacias foi definido a partir da porcentagem da área desconectada sobre determinado *input* de energia, ou seja, área da bacia externa a área de captação efetiva destes sistemas. O cálculo destas áreas foi desenvolvido em ambiente SIG através do *software* ArcGIS Desktop utilizando os polígonos das áreas em planta (2D). Optou-se pela avaliação através da porcentagem ao invés de valores absolutos devido à diferença do tamanho de cada sub-bacia. As classes de (des) conectividade foram definidas de forma arbitrária em: 0 – 30% como altamente conectada, 30 - 50 % como conectada, 50 – 70% como desconectada e 70 – 100% como altamente desconectada, de acordo com a metodologia proposta por Fryirs *et. al.* (2007a).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo que discorre sobre os resultados se inicia com a definição das sub-bacias e áreas da bacia analisadas como entidades individualizadas e uma breve caracterização destas áreas (item 6.1). No item que subsequente (6.2) a distribuição temporal das chuvas de acordo com a magnitude é analisada, em seguida o vale do rio Sana é enquadrado segundo o grau de confinamento (item 6.3) e os bloqueios naturais e antrópicos são identificados e caracterizados (item 6.4). Por fim, para responder ao objetivo geral da presente pesquisa, a transmissão de água e sedimento entre os subsistemas encosta e canal é analisada através dos cenários da área de captação efetiva decorrente dos limiares de input de energia e são estabelecidos padrões de conectividade das sub-bacias e sistema de drenagem do rio Sana como um todo (item 6.5).

6.1 Definição das sub-bacias

Para melhor análise espacial da conectividade e o sistema de drenagem do rio Sana foi dividido em cinco áreas (Figura 14) que foram analisadas como entidades separadas, sendo três destas compreendidas por sub-bacias (Sub-bacia do Córrego da Alegria, Sub-bacia do Córrego do Peito do Pombo e Sub-bacia do Córrego do Colégio) e as outras duas áreas referentes à Cabeceira do rio Sana, que compreende no alto curso da bacia do rio Sana, e a área do Vale do rio Sana, que inclui o rio principal e as sub-bacias de primeira, segunda e terceira ordem.

O mapeamento da declividade e da hipsometria (Figura 15 e 16), subsidiou as etapas subsequentes de classificação do vale do rio Sana segundo o grau de confinamento, identificação dos bloqueios naturais e de modelagens hidrológicas que deram origem aos cenários de área de captação efetiva.

Sendo assim, alguns aspectos do relevo chamam atenção ao observar a Figura 15 e 16. A classe que apresenta maior grau de declividade (45-90°) se encontra principalmente na porção oeste e sudeste do sistema de drenagem do rio Sana, respectivamente na sub-bacia do córrego do Colégio e próximo a cabeceira do córrego Boa Sorte, onde ocorre o compartimento geomorfológico Serra Escarpada e o contato entre as unidades litoestratigráficas Granito Sana e São Fidélis. Também na sub-bacia do córrego do Colégio ocorrem as maiores altitudes que somadas a encostas declivosas acarretam no predomínio de solos litólicos pouco espessos e

presença de afloramentos rochosos, com destaque para o Pico do Peito de Pombo atrativo turístico da região.

Na área do vale do rio Sana encontram-se as classes de menores declividades (0-2° e 2-10°). Estes vales ora são mais abertos, com ocorrência de planícies de inundação, ora são mais estreitos formando gargantas. Esta alternância ofereceu indícios do grau de confinamento dos vales que foram posteriormente confirmados em campo.

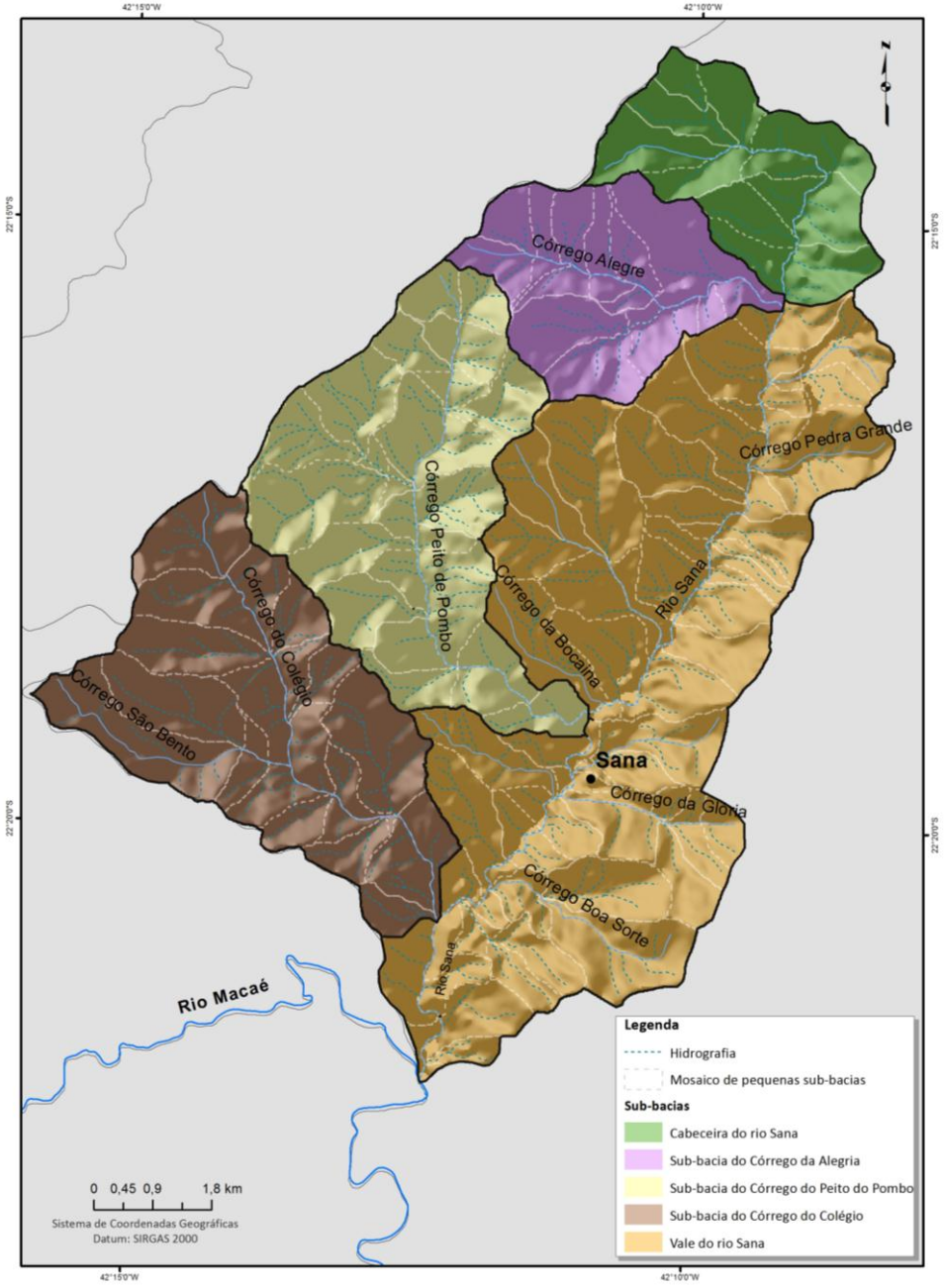

Figura 14: Sub-bacias do sistema de drenagem do rio Sana.

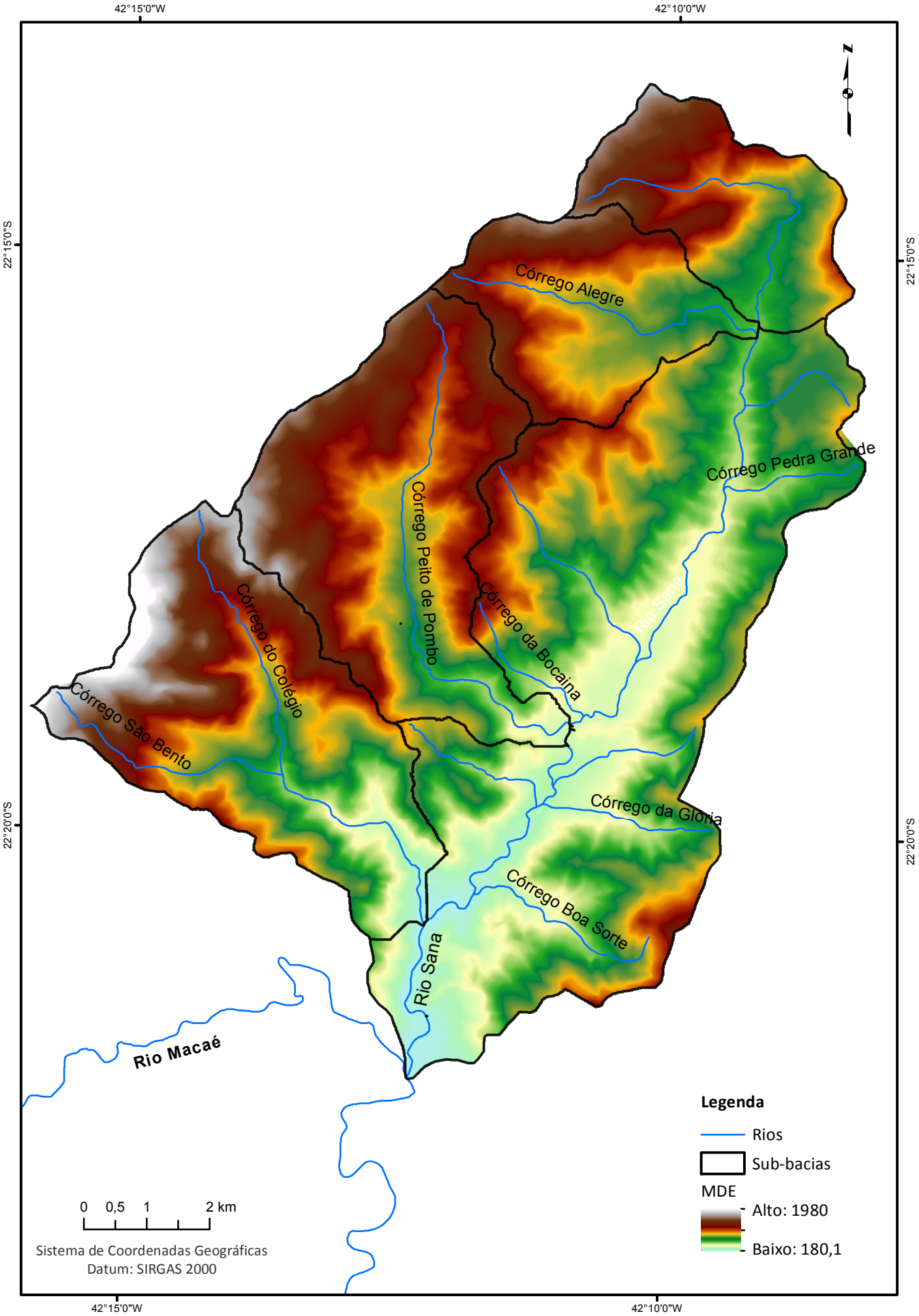

Figura 15: Modelo Digital de Elevação do sistema de drenagem do rio Sana.

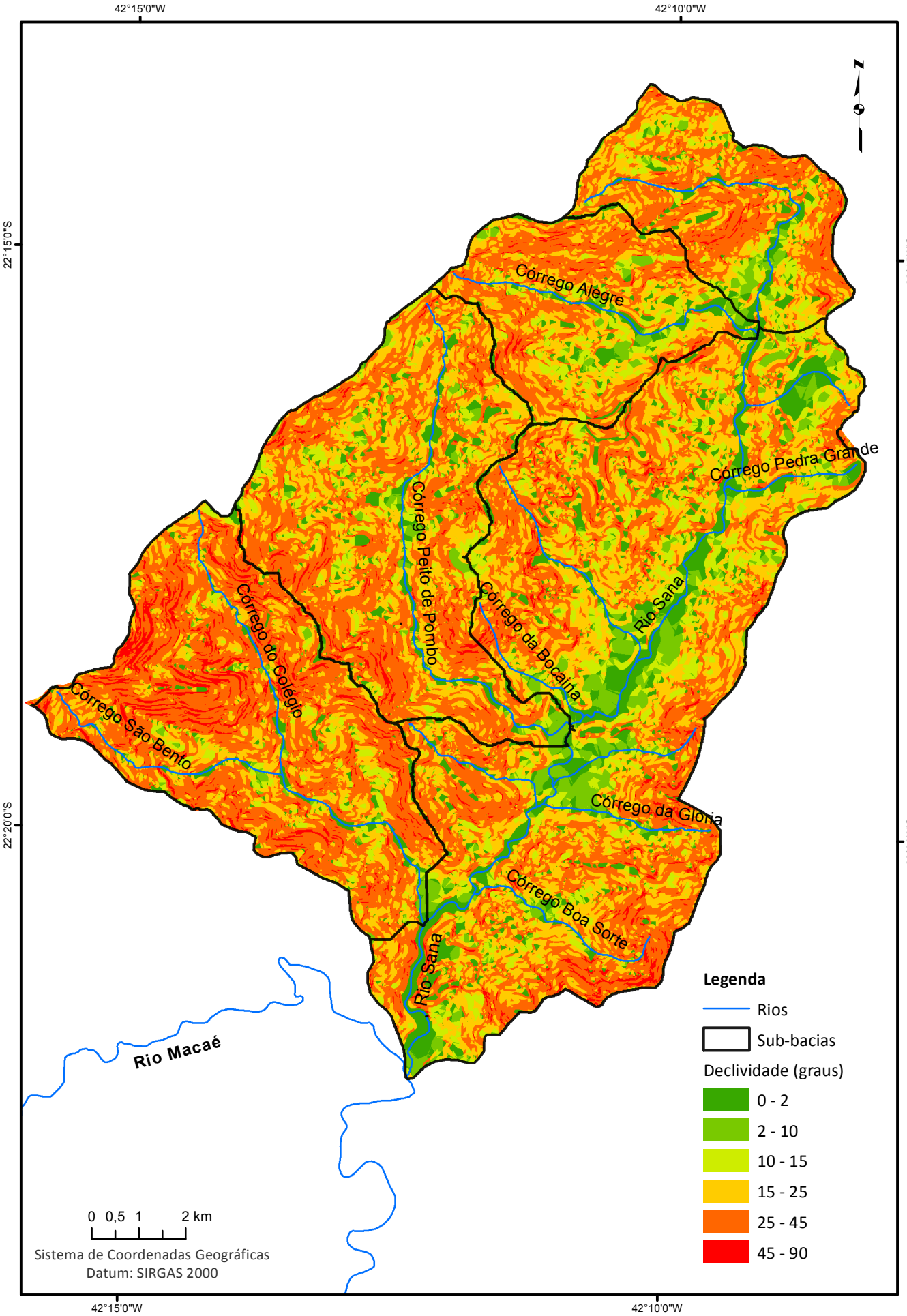

Figura 16: Mapa de declividade do sistema de drenagem do rio Sana.

Uma breve caracterização sobre o uso e cobertura da terra foi feita com base no mapeamento de Cobertura Vegetal e Uso do Solo da ACAMEP (2011) apresentado no capítulo 3, que versa sobre a área de estudo, mas especificamente na página 14. O Quadro 4 apresenta as classes predominantes de uso e cobertura da terra por sub-bacia.

Quadro 4: Uso e cobertura da terra por sub-bacias

Cobertura da terra		**Sub-bacias**				
		Cabeceira do Sana	**Córrego do Colégio**	**Córrego da Alegria**	**Córrego Peito de Pombo**	**Vale do rio Sana**
Afloramento rochoso	m²	146.699	722.283	32.052	758.036	418.026
	%	1,5	3,5	0,3	3,7	0,9
Floresta em estágio inicial de sucessão	m²	2.067.658	5.131.970	3.923.241	7.022.621	10.512.637
	%	21,7	24,9	38,3	34,2	22,2
Floresta em estágio médio/ avançado de sucessão	m²	4.302.150	9.343.818	2.899.855	8.999.146	14.845.727
	%	45,2	45,3	28,3	43,8	31,4
Gramíneas	m²	2.996.437	5.311.881	3.132.445	3.325.435	19.573.699
	%	31,5	25,8	30,6	16,2	41,4
Ocupação rural	m²	0	16.317	0	0	19.390
	%	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Ocupação urbana de baixa densidade	m²	0	63.990	0	9.536	1.564.396
	%	0,0	0,3	0,0	0,0	3,3
Vegetação rupestre	m²	0	36.384	257.155	448.998	368.658
	%	0,0	0,2	2,5	2,2	0,8
Total	m²	9.512.944	20.626.645	10.244.749	20.563.772	47.302.533

Fonte: ACAMEP (2011).

Na Cabeceira do Sana há o predomínio de floresta em estágio médio/avançado de sucessão (45, 2%), no entanto, por se tratar de uma área de cabeceira de drenagem onde nasce o rio Sana, torna-se importante destacar que grande parte desta área é coberta por gramínea (31,5%) decorrente do uso destinado a pastagem de gados (Figura 17).

No Córrego da Alegria a floresta em estágio inicial de sucessão (38,3%) e gramínea (30,6%) são as duas principais classes de cobertura da terra, indicando um processo de regeneração da floresta e presença de áreas de pastagem.

O Córrego Peito de Pombo e o Córrego do Colégio são as sub-bacias que apresentam o melhor estado de preservação, pois apresentam o predomínio de floresta em estágio médio/avançado de sucessão, respectivamente 43,8% e 45,3% da área.

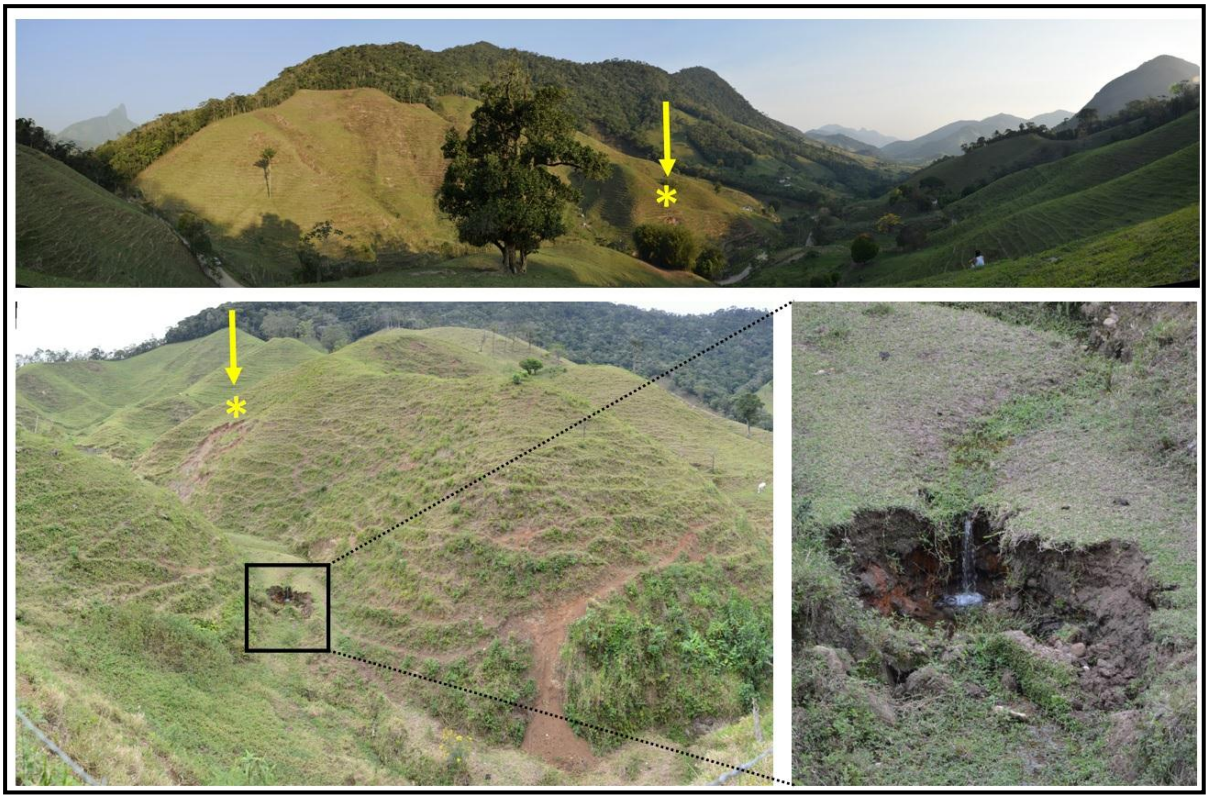

Figura 17: Vista da Cabeceira de drenagem do rio Sana. Nota-se a grande área coberta por gramínea e a presença de feições erosivas.

Já o Vale do rio Sana é compreendido em grande parte por gramíneas (41,4%) associada a pastos em uso e abandonados, esta área destaca-se também por estar nela inserida a maioria da ocupação urbana de baixa densidade devido a característica do relevo mais aplainado.

6.2 Distribuição temporal das chuvas de baixa, moderada e alta magnitude

A análise dos dados pluviométricos permitiu caracterizar a distribuição da chuva ao longo da série histórica de 20 anos (1994 a 2013) e definir classes de chuvas diárias segundo a magnitude, metodologia descrita no capítulo 5 (página 32) e, a partir desta definição, elaborar uma caracterização temporal da distribuição destas classes dentro desta série histórica na bacia do rio Sana. Apesar da manipulação dos dados de quatro estações pluviométricas, optou-se por trabalhar apenas os dados da estação Barra Alegre, pois possui uma maior área

de influência no sistema de drenagem do rio Sana, se comparada às outras estações, como exposto no capítulo que descreve a metodologia.

A precipitação total anual na estação de Barra Alegre varia entre 1.013 mm (1999) e 1.766 mm (2009), tal variação é melhor observada na Figura 18 que reflete o valor ao longo da série histórica. Já a pluviosidade média anual da série histórica consiste em 1.345,57 mm.

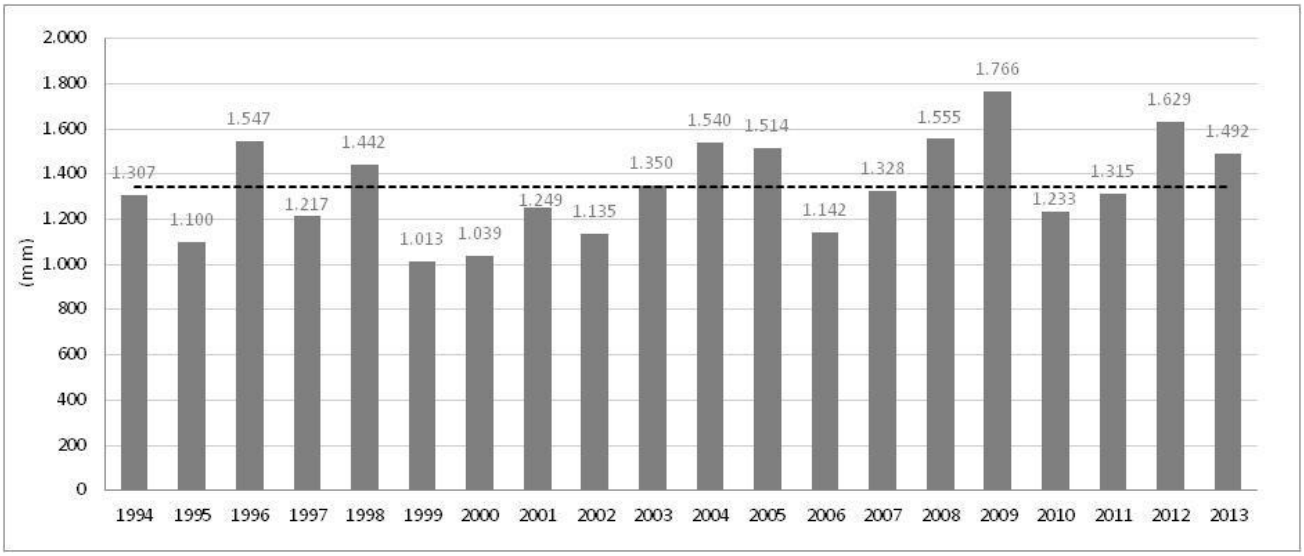

Figura 18: Precipitação total anual na estação pluviométrica Barra Alegre entre os anos 1994 e 2013. A linha tracejada indica a média anual da série histórica.

A Figura 19 expõe o número de dias com chuva e número de dias com chuva efetiva por ano na estação Barra Alegre. Entende-se chuva efetiva na presente pesquisa, como a chuva capaz de gerar escoamento superficial, sendo esta as chuvas diárias maiores ou iguais a 10 mm. Sendo assim, o total de dias com chuva na série histórica foi de 1.600 dias, ou seja, 21,92% dos dias choveram, e de dias com chuva efetiva foi de 891, o que reporta a 12,21% dos dias. O ano de 2004 destaca-se com maior número de dias com chuva, total de 116 dias, já o ano com o maior número de dias com chuva efetiva foi 2009, total de 60 dias no ano choveram acima de 10 mm. Como se pode observar, a variação do número de dias com chuva é muito maior do que o número de dias com chuva efetiva. Em média são aproximadamente 45 dias de chuva efetiva por ano.

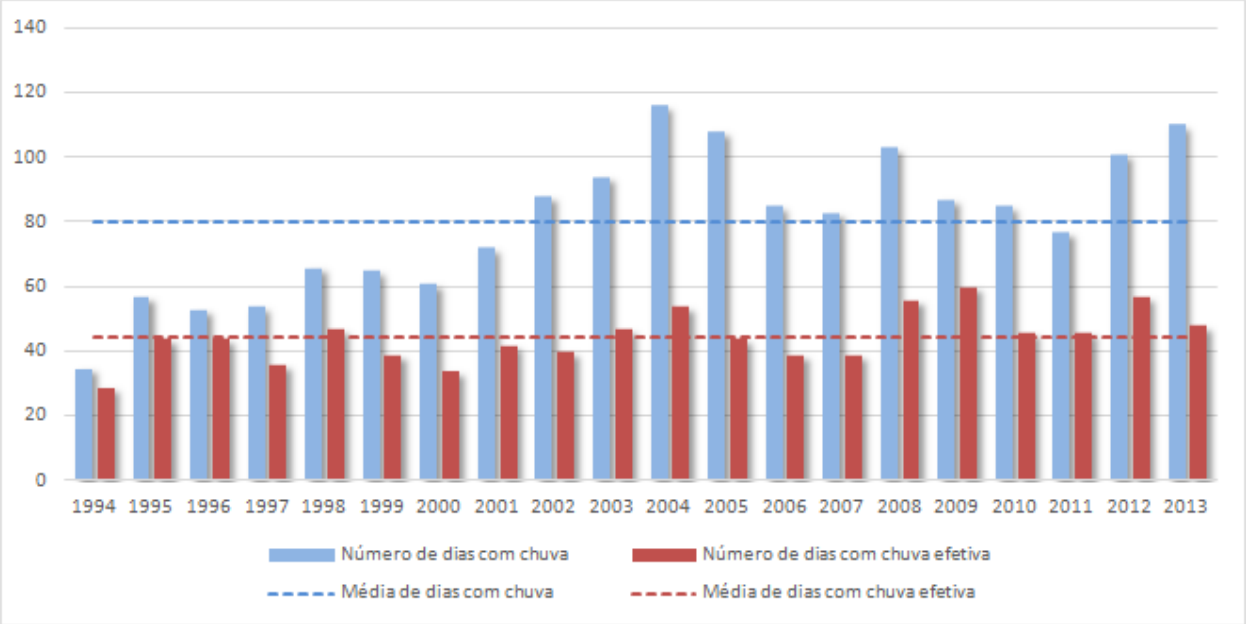

Figura 19: Número e média de dias com chuva e número média de dias com chuva efetiva na estação pluviométrica Barra Alegre entre os anos 1994 e 2013.

Com base nos limiares de magnitude de chuva exposto na Quadro 3 (página 35), pode-se observar no histograma de frequência de chuva efetiva (Figura 20), dividido de acordo com as classes de magnitude de chuva, a alta ocorrência de chuvas de baixa magnitude, 76,77% dos dias com chuva efetiva, ou seja, um total de 684 dias da série histórica. As chuvas de moderada magnitude, com um maior potencial de geração de escoamento superficial e rompimento de bloqueios, se comparada as chuvas de baixa magnitude, são menos frequentes, ocorrendo apenas 203 vezes dos 7.300 dias analisados, isso corresponde a 22,78% dos dias em que houve chuva efetiva. Menos recorrente ainda são as chuvas de alta magnitude, as quais ocorreram apenas quatro vezes e geraram escoamento com capacidade de mobilizar sedimentos estocados em todos os bloqueios, rompendo-os e conectando mais amplamente o ambiente de encosta com a rede de drenagem.

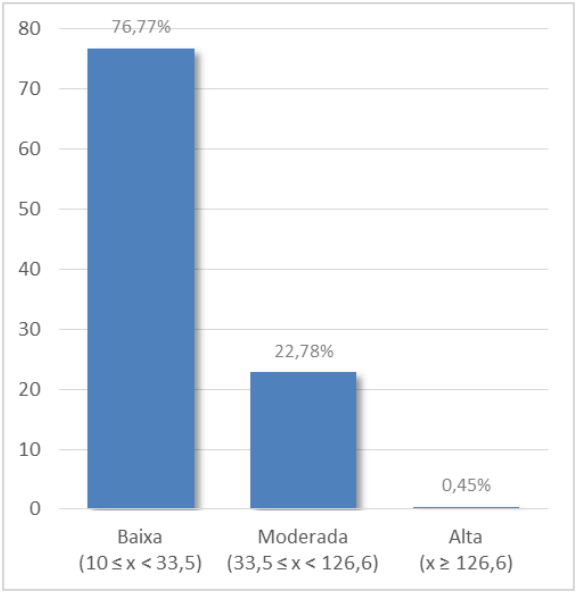

Figura 20: Histograma com a frequência de chuvas efetivas de baixa, moderada e alta magnitude, considerando a série histórica de 1994 a 2013 da estação pluviométrica Barra Alegre.

6.3 Grau de confinamento do vale do rio Sana

O grau de confinamento do vale auxiliou na identificação das planícies de inundação e terraços baixos, uma das feições geomorfológicas definidas na presente pesquisa como bloqueio natural. Sendo assim, os segmentos de vale classificados com confinado não possui planície de inundação e terraços baixos, o parcialmente confinado possui planície de inundação e terraços baixos em apenas uma das margens e o não confinado apresenta planície de inundação contínua e terraços baixos, ou seja, nas duas margens. O trabalho de Lima (2013) foi utilizado para uma aproximação inicial ao tema aplicado a área de estudo questão.

Lima (2013) ao definir os estilos fluviais do rio Macaé e os principais contribuintes aponta a ocorrência, no rio Sana, de quatro estilos fluviais: Cabeceira Íngreme (cabeceira do Sana), Córrego Pedregoso (trecho a montante da confluência com Córrego Alegre), Garganta (pequeno trecho a jusante da confluência com Córrego Alegre e próximo a foz) e Alargamento Ocasionais em Vales Confinados (segmento próximo ao vilarejo do Sana). Dos quatro estilos encontrados, três definem a característica do vale como confinado, apenas o estilo Córrego Pedregoso atribui o vale como parcialmente confinado. O segmento definido como Alargamento Ocasional em Vales Confinados apesar de ser enquadrado como vale confinado, ocorre onde há abertura do vale com presença de alvéolos e planícies de inundação, e uma maior disponibilidade de sedimentos.

O enquadramento do vale do rio Sana em relação ao grau de confinamento gerou resultados distintos aos encontrados por Lima (2013) devido a escala de análise da presente pesquisa que foca exclusivamente ao sistema de drenagem do rio Sana e utilização de ortofotos (1:25.000), imagens do Google Earth de alta resolução e trabalho de campo, possibilitando um melhor detalhamento da área de estudo. Por isso, primeiramente vale ressaltar que se trata de uma bacia de médio/alto curso, com alto controle estrutural, cujas planícies de inundação e terraços baixos não são de grandes dimensões, proporcionais a um sistema com grande potencial erosivo. Além disso, o objetivo da aplicação desta metodologia é identificar, na escala da bacia, os trechos do canal principal do rio Sana com presença ou ausência de planícies de inundação e terraços baixos. Desta forma, foram encontradas três tipologias de vale: não confinados, parcialmente confinados e confinados, cujas características foram adaptadas das definidas por Brierley & Fryirs (2005) para uma sub-bacia de médio/alto curso (Figura 22).

- **Não confinados** (Figura 21) de alto curso com presença de planícies de inundação contínuas de dimensões máxima próximas a 500 m. Caracterizados por segmentos de vales alargados com controle estrutural e litológico, trechos de canais meandrantes e zonas de sedimentação com fluxos mais lentos e formação de barras. No segmento próximo ao vilarejo do Sana ocorre o maior alargamento do vale e as maiores extensões das planícies de inundação e terraços baixos, consequentemente esta região é a mais densamente ocupada.

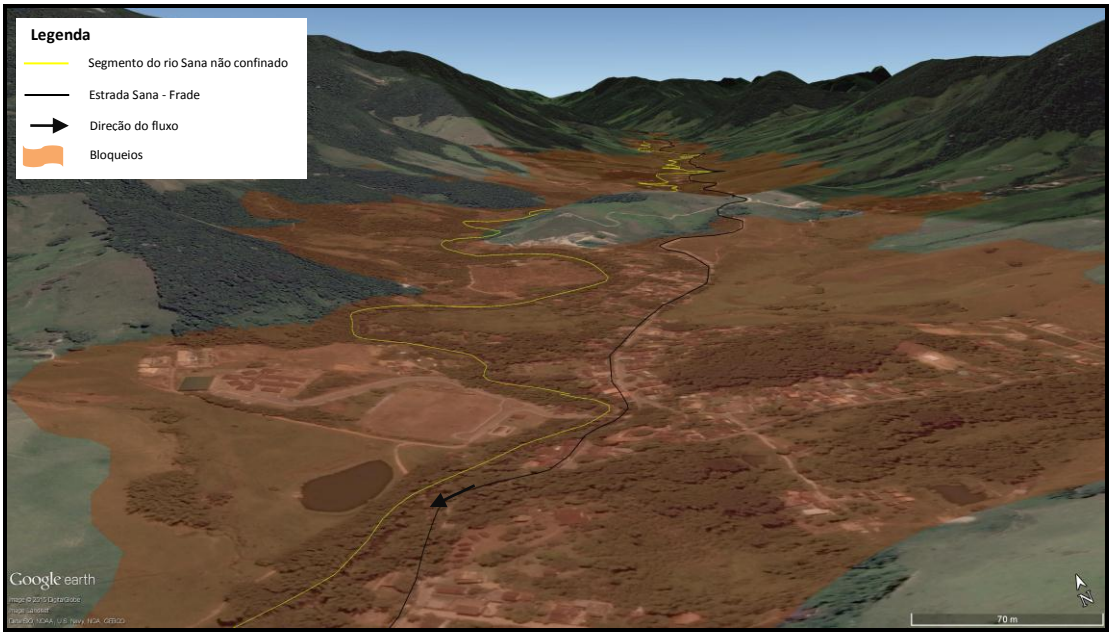

Figura 21: Em amarelo segmento do rio Sana não confinado, próximo ao perfil transversal EF (Figura 22) - Imagem do Google Earth.

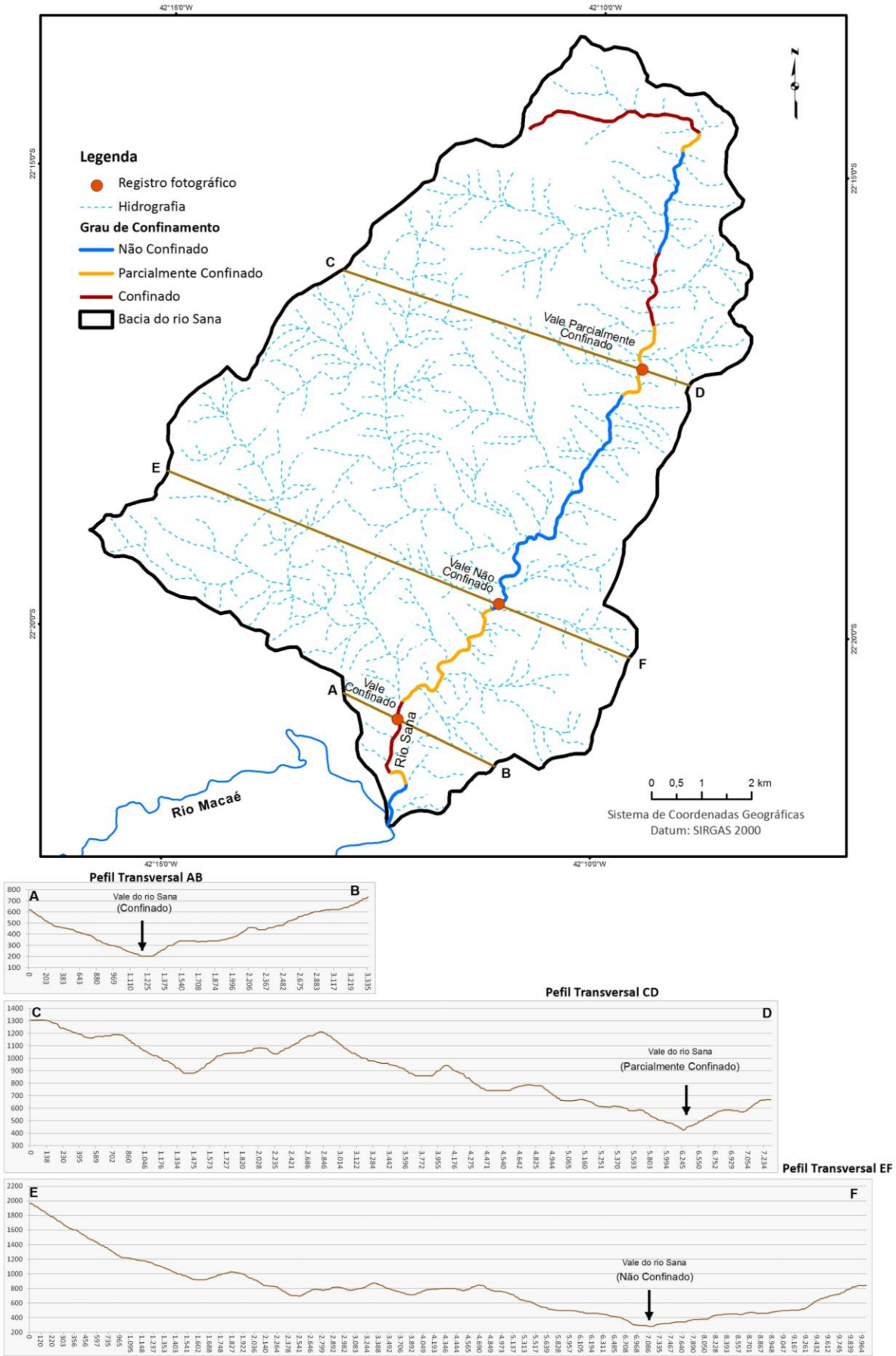

Figura 22: Grau de confinamento do vale do rio Sana e perfis transversais ao vale do rio Sana: AB – vale confinado, CD - vale parcialmente confinado e EF - vale não confinado.

- **Parcialmente confinado** (Figura 23) com presença de planícies de inundação descontínuas e terraços baixos em apenas uma das margens. Predomino de controle estrutural em uma das margens do vale, havendo alta conectividade com a encosta adjacente na margem onde não há planície de inundação. Em alguns casos o confinamento pode estar atrelado à presença de terraços ou rocha, limitando o espaço disponível e conduzindo à formação de pacotes descontínuos na planície de inundação (BRIERLEY & FRYIRS, 2005).

Figura 23: Em vermelho segmento do rio Sana parcialmente confinado e o ponto em azul indica o local onde a fotografia foi registrada, perfil transversal CD (Figura 22): A) Imagem do Google Earth B) Fotografia do autor.

- **Confinado** (Figura 24) com ausência de planície de inundação e terraços baixos. Caracterizado por vales com alto controle estrutural e conectividade com as encostas adjacentes em ambas as margens. De forma geral, o confinamento do leito do rio sugere um forte controle na morfologia do canal e na declividade do perfil longitudinal. São zonas mais erosivas e com potencial de fluxos mais rápidos.

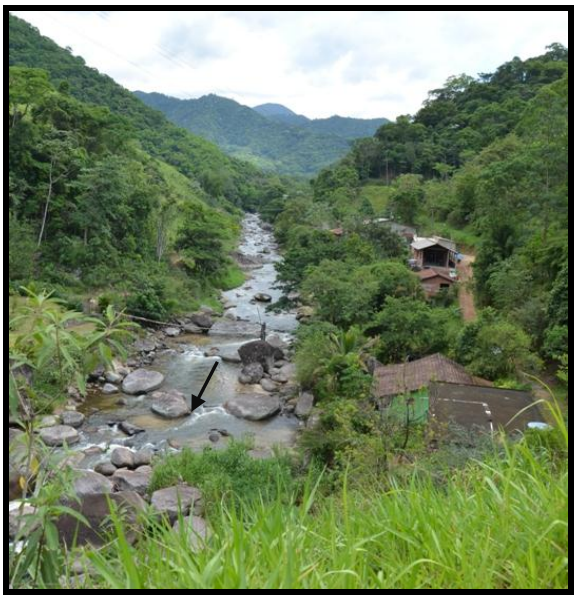

Figura 24: Segmento do rio Sana confinado, próximo ao perfil transversal AB (Figura 22)

A intenção de apresentar os perfis transversais dos pontos representativos das tipologias de confinamento do vale (Figura 22) foi ilustrar melhor a configuração do vale, no entanto, a escala dos dados (1:50.000) não possibilitou a clara visualização da morfologia do mesmo. Por outro lado, o perfil transversal CD retrata a assimetria topográfica do sistema de drenagem do rio Sana, aspecto evidenciado por Assumpção & Marçal (2006) encontrado em boa parte da área de estudo.

A distribuição das tipologias de confinamento no rio Sana pode ser observada no mapa (Figura 22) e no perfil longitudinal (Figura 25). O Quadro 5 revela que boa parte dos 22.643m de extensão do rio Sana encontra-se em vales não confinados (42,02%), com destaque para o trecho próximo ao vilarejo do Sana. No entanto, a maior extensão está sobre forte influência do controle estrutural, enquadrando-se nas classes confinado e parcialmente confinado (57,98%).

Quadro 5: Extensão do rio Sana segundo o grau de confinamento

Grau de Confinamento	Extensão do rio Sana (m)	Extensão do rio Sana (%)
Não Confinado	9.514	42,02
Parcialmente Confinado	5.961	26,32
Confinado	7.168	31,66
Total	22.643	100

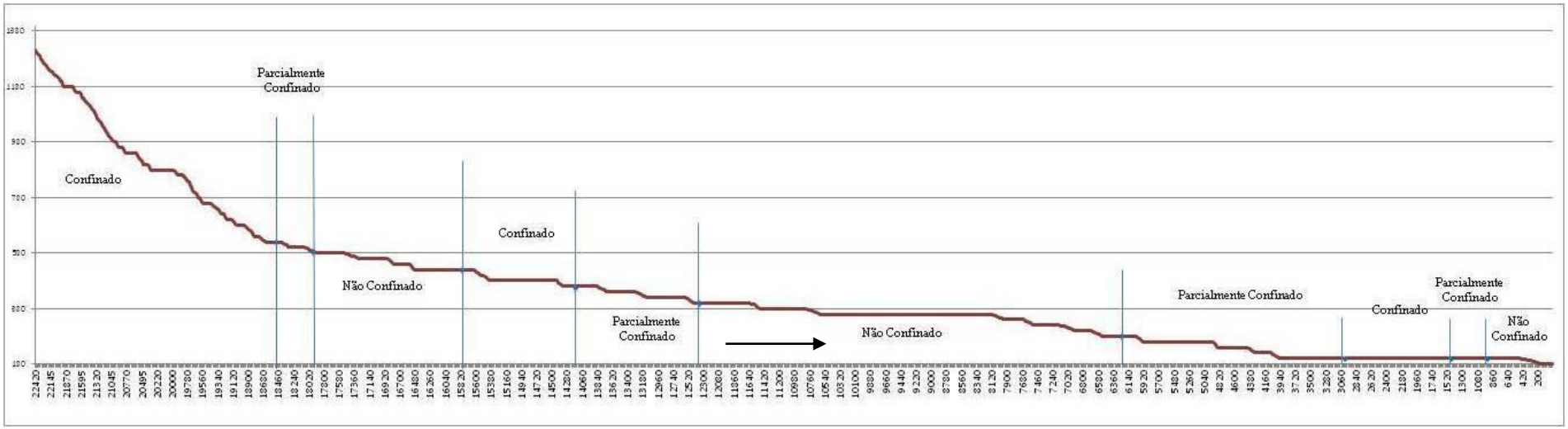

Figura 25: Perfil Longitudinal do rio Sana e a classificação segundo o grau de confinamento.

6.4 Bloqueios naturais e antrópicos

Na presente pesquisa uma importante premissa consiste na identificação espacial dos bloqueios e na compreensão da magnitude de chuva capaz de rompê-los, etapas fundamentais para análise da conectividade de um sistema de drenagem. Os bloqueios encontrados no sistema de drenagem do rio Sana foram divididos em bloqueios naturais e bloqueios antrópicos e a magnitude da chuva capaz de rompê-los é apresentada no Quadro 6. A descrição das classes e sua distribuição no sistema de drenagem do rio Sana estão nos tópicos que se seguem.

Quadro 6: Tipologia dos bloqueios presentes no sistema de drenagem do rio Sana e a magnitude das chuvas capaz de rompe-los.

Bloqueio	Tipo	Baixa Magnitude	Moderada Magnitude	Alta Magnitude	Descrição
Sopé da encosta / Terraço Alto	Natural	**Desconectado**	**Desconectado**	**Conectado**	Feições adjacentes à planície de inundação.
Planície de Inundação / Terraço Baixo	Natural	**Desconectado**	**Desconectado**	**Conectado**	Apenas as planícies de inundação do rio Sana foram consideradas.
Tributário Preenchido	Natural	**Desconectado**	**Conectado**	**Conectado**	Sistema tributário preso atrás de um bloqueio (terraço, planície de inundação ou tributário preenchido) ou algum controle estrutural.
Cabeceiras de drenagem entulhada	Natural	**Desconectado**	**Conectado**	**Conectado**	Feições localizadas em cabeceiras de bacias de zero* e primeira ordem. (*ausência de canais perenes)
Área Urbana	Antrópico	**Desconectado**	**Conectado**	**Conectado**	Caracterizada por ocupação rural, baixa impermeabilização do solo.
Estrada	Antrópico	**Desconectado**	**Conectado**	**Conectado**	Considerada como bloqueio lateral e longitudinal, rompendo a conectividade canal / encosta e tributário / canal principal.

6.4.1 Bloqueios naturais

Os bloqueios naturais são feições geomorfológicas agradacionais com características deposicionais, ou seja, onde há o predomínio do processo de agradação na dinâmica atual, a partir de sedimentos provenientes dos ambientes de encostas e/ou fluvial. As tipologias dos bloqueios naturais empregadas na presente pesquisa, seguiu as definidas por Fryirs (2007a) expostas no Quadro 1 (página 24), sendo estas: planície de inundação e terraço baixo, tributário preenchido, sopé da encosta e terraço alto. Além destas, optou-se por incluir uma nova classe de bloqueio denominado cabeceiras de drenagem entulhada, que remete a feições deposicionais que ocorrem em bacias de zero e primeira ordem. A Figura 26 apresenta a distribuição dos bloqueios naturais no sistema de drenagem do rio Sana.

As planícies de inundação e terraços baixos encontram-se no entorno do canal do rio Sana, principalmente nas proximidades do vilarejo do Sana onde o vale não confinado se abre (Figura 22). São diretamente dependentes do regime hidrológico que, quando alterado, rompe a condição de equilíbrio destas feições devido a mudanças no aporte de sedimento e água. Os terraços baixos são feições topograficamente mais elevadas, no entanto, devido a escala do mapeamento não foi possível diferencia-las e, por isso, optou-se por agrupa-las com as planícies de inundação.

Os bloqueios definidos como sopé da encosta e terraços altos encontram-se nas áreas adjacentes às planícies de inundação, também predominantemente nos alargamentos dos vales não confinados. Tendo em vista a escala do MDE (1:50.000) e que o sistema de drenagem do rio Sana possui características de médio/alto curso, não foram encontradas feições típicas de terraço que pudessem ser identificadas apenas pela forma. Este fato somado a ausência de informações morfoestratigráficas e de datação na área de estudo e, a metodologia proposta não abarcar a obtenção de tal informação, não foi possível distinguir os terraços altos dos sopés de encostas, optou-se, portanto, por agrupar as duas feições em uma única classe.

Os tributários preenchidos correspondem a bloqueios geralmente desencadeados por outros bloqueios a jusante, a exemplo das planícies de inundação ou mesmo de outro tributário preenchido, ou desencadeado por algum controle estrutural, por exemplo, soleiras rochosas que atua como *knickpoint*, exercendo um papel de nível de base local. A forte influência do controle estrutural atuando como *barriers, bloqueios longitudinais*, na formação de tributários preenchidos pode ser destacada a partir da Figura 27 que representa a maior feição referente a esta classe encontrada no sistema de drenagem do rio Sana.

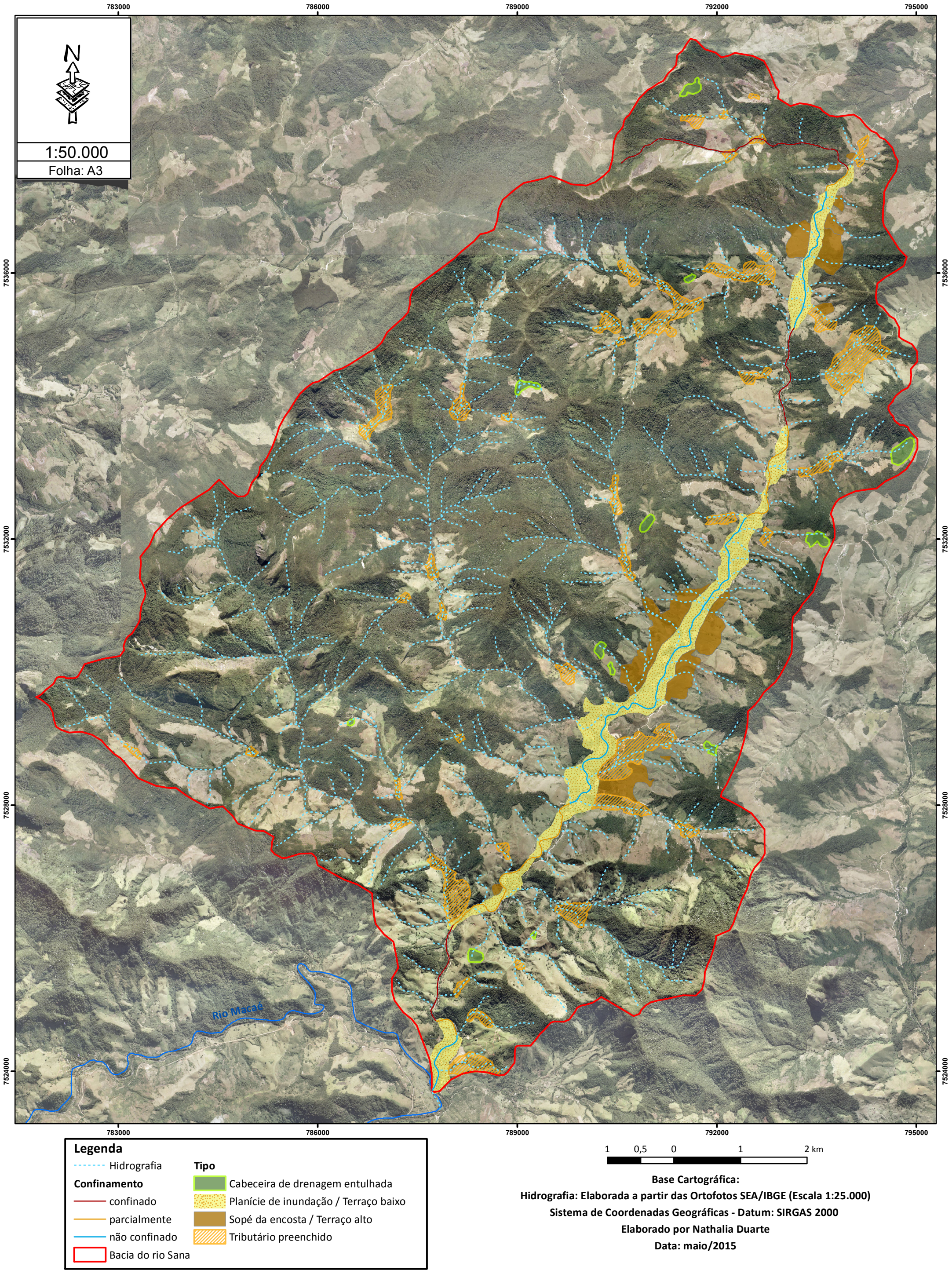

Figura 26: Distribuição dos bloqueios naturais no sistema de drenagem do rio Sana.

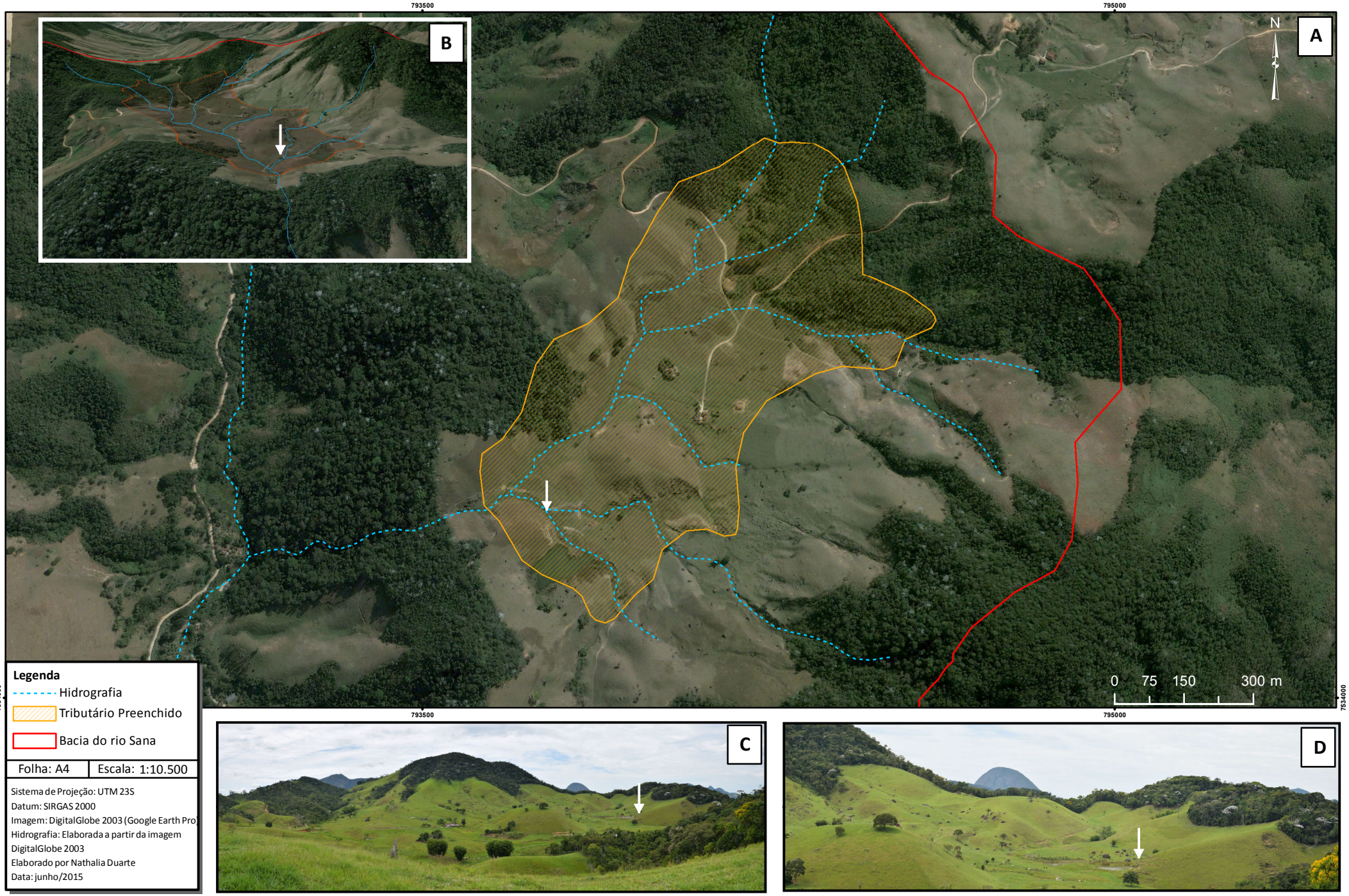

Figura 27: Maior bloqueio natural do tipo tributário preenchido encontrado no sistema de drenagem do rio Sana. Mapa demonstrando a extensão do bloqueio (A), esquema utilizando o recurso 3D do Google Eath (B) e fotografia do autor (C e D).

Os bloqueios naturais ocupam uma extensão de aproximadamente 9,21 km², dentre eles a planície de inundação e terraço baixo cobre a maior área 3,37 km² e em seguida a feição definida como tributário preenchido com um total de 3,59 km². No que se refere à distribuição dos bloqueios naturais nas sub-bacias destaca-se a área do Vale do rio Sana com a maior cobertura de bloqueios (6,5 km²), principalmente as planícies de inundação e terraços baixos. Tal fato já esperado por se tratar da área do vale do rio principal e, portanto, ter sido mais trabalhada pelo rio Sana, gerando, consequentemente, um relevo mais plano. Já a Sub-bacia do Peito de Pombo possui a menor área cobertura por bloqueios naturais apenas 579 m², com sete feições do tipo tributário preenchido, uma feição do tipo cabeceira de drenagem entulhada e um pequeno trecho da planície de inundação do rio Sana onde há a confluência do Córrego do Peito de Pombo com o rio principal.

6.4.2 Bloqueios antrópicos

Os bloqueios antrópicos definidos nesta pesquisa são as áreas urbanas e segmentos de estradas que rompem a conectividade encosta e canal (bloqueio lateral) e/ou tributário e fluxo principal (bloqueio longitudinal). A Figura 28 expõe a distribuição destes bloqueios no sistema de drenagem do rio Sana.

As áreas urbanas presentes no sistema de drenagem do rio Sana possuem características de área rural, pouco adensadas, constituída em grande parte por casas com quintal, mas mesmo assim entende-se que este tipo de intervenção humana modifica a morfologia natural do relevo, altera a drenagem e impermeabiliza o solo. As obras para construção de edificações e ruas de acesso demandam adequações no terreno, como aplainamento, cortes e aterros. Tais intervenções alteram a morfologia das encostas, deixando-as mais planas, e, por vezes, modificam os córregos, substituindo-os por canais de drenagem impermeabilizados, manilhas, ou ainda estrangulando os cursos naturais. A impermeabilização do solo ocorre devido a construção de edificações, cimentação dos quintais e jardins e pavimentação e/ou compactação das ruas. Vale salientar que a grade maioria das ruas do Sana não possui pavimento, e quando pavimentadas são utilizados paralelepípedos. As características das áreas urbanas citada acima justificam a inclusão desta classe de bloqueio, pois tais fatores interferem na dinâmica de transferência de água e sedimentos das encostas para os canais no caso de chuvas de baixa magnitude. No entanto, no caso de chuvas de moderada e alta magnitude estas áreas impermeabilizadas potencializam o escoamento superficial.

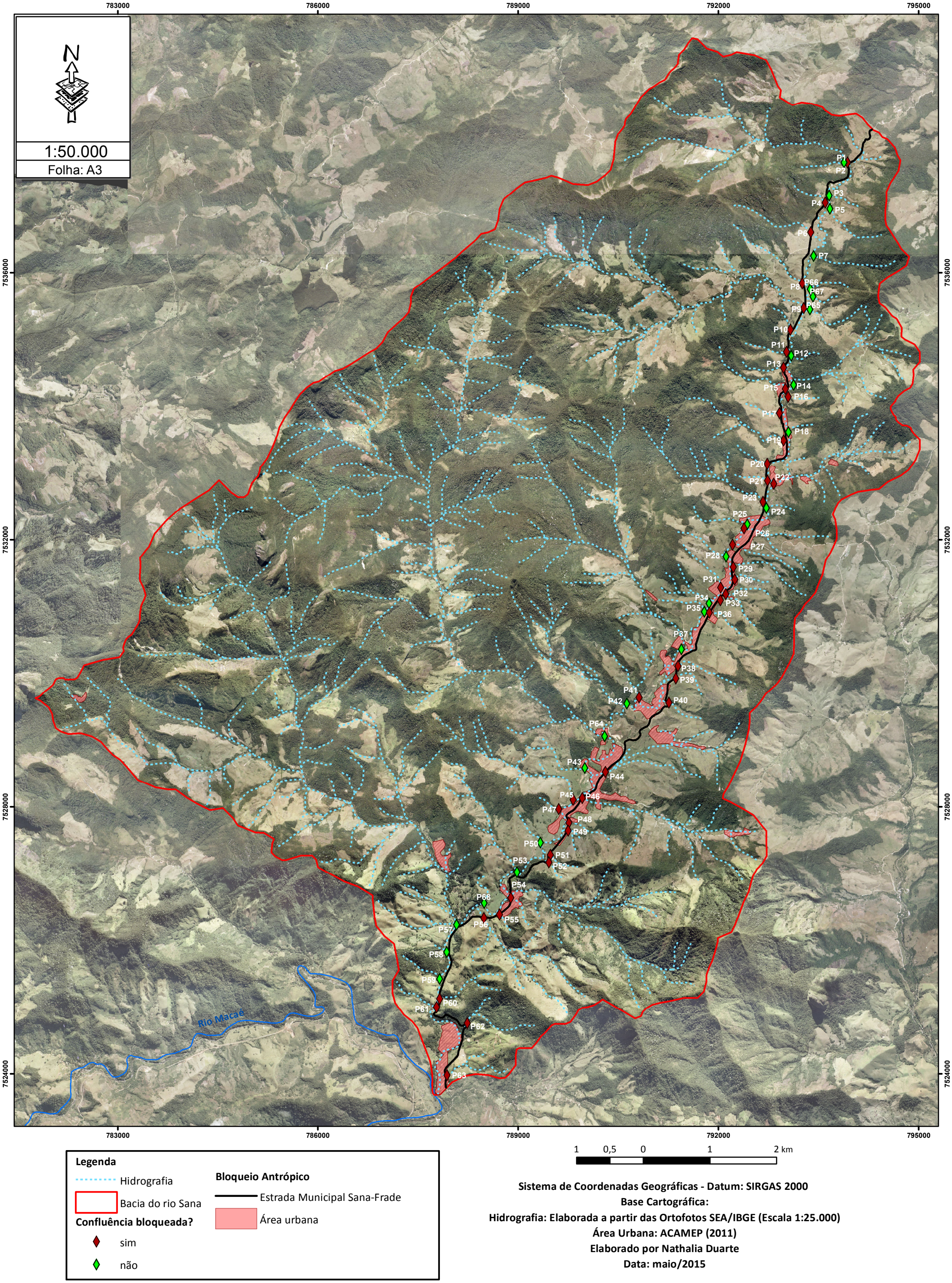

Figura 28: Distribuição dos bloqueios antrópicos no sistema de drenagem do rio Sana.

No que se refere aos seguimentos de estrada, foi considerada apenas a Estrada Sana-Frade devido a sua proximidade da margem do rio Sana durante boa parte do seu percurso e sua importância para o escoamento de mercadoria e pessoas para região. Os principais problemas da proximidade desta estrada com rio Sana no que se refere à dinâmica de transferência de sedimentos e água e, que desta forma, enquadra esta feição como bloqueio antrópico, constituem-se na alteração da morfologia da encosta (bloqueio lateral) e das confluências dos tributários com rio Sana (bloqueio longitudinal).

A alteração na morfologia da encosta decorrente da presença de estradas se dá principalmente pelos cortes das encostas (Figura 29), que ocorre quando a estrada localiza-se ao longo dos contornos das vertentes, situação presente em boa parte do seu percurso. Tal configuração faz com que as estradas atuem como barreiras ao escoamento de água e sedimento no caso de chuvas de baixa magnitude, devido sua morfologia plana. Por outro lado, no caso de chuvas de magnitude moderada e alta as estradas apresentam-se como elementos que impulsiona o escoamento preferencial, devido sua superfície impermeabilizada, solo muito compactado pelo processo de construção da mesma e pelo deslocamento de veículos, e sua drenagem que geralmente converge diretamente para a margem do rio Sana. Outro problema na construção de estradas próximas ao rio consiste no aumento da instabilidade das encostas e o consequente aumento do aporte de sedimento destes ambientes para o canal. Um dos fatores para o aumento da instabilidade da encosta apontado por Megahan (1977) refere-se ao aumento da inclinação das encostas e interceptação do fluxo de subsuperfície que diminui a resistência ao cisalhamento e gera concentração da água. Outro fator está relacionado ao mau planejamento do sistema de drenagem da estrada Sana-Frade que geralmente não contemplam medidas que evitem os processos de erosão, por exemplo, a coleta lateral da água escoada nesta estrada não é eficiente, ausência de valetas ou canaletas revestidas, o que se encontra mais presente são valetas laterais e pequenas fugas de água sem manutenção e revestimento, conduzidas diretamente para encosta adjacente, localizada entre a estrada e o rio, cujo escoamento de água em alta velocidade possui grande potencial erosivo, acarretando, entre outros processos, erosão em cachoeira (Figura 30).

As modificações no leito das confluências entre os tributários e o rio Sana pela presença de estradas, muitas vezes alteram o fluxo de água e sedimento devido a substituição do ambiente natural por obras de engenharia como a canalização de alguns trechos de rios e a instalação de manilhas (Figura 31 e 32) ou pontes (Figura 30), tal modificação cria um

ambiente de sedimentação a montante da intervenção. Apesar da presente pesquisa ter um foco maior nos bloqueios laterais, a situação das confluências dos tributários do Sana com o fluxo principal apresentou-se alarmante, o que levou a inclusão deste tipo de bloqueio longitudinal na análise da conectividade do sistema de drenagem do rio Sana.

Figura 29: Corte da encosta para construção de estrada.

Figura 30: Alteração na margem do Rio Sana devido a construção de ponte (Ponto P2 da Figura 28). A seta e o asterisco apontam para uma feição erosiva provocada pela drenagem da estrada.

Figura 31: Tributário alterado, canalização e desvio da água para chuveiro (Ponto P19 da Figura 27).

Figura 32: Tributários alterados, instalação de manilhas para escoamento da água em direção ao rio Sana (Pontos P36 e P26 da Figura 28).

O rio Sana possui sessenta e oito tributários segundo a base cartográfica do IBGE 1:50.000, dentre estes, vinte e cinco (36,76%) deságuam no rio Sana livre de impedimentos, seguindo seu fluxo e leito natural, e os outros quarenta e três (63,23%) apresentam sua confluência obstruída por algum tipo de bloqueio antrópico. A Figura 33 expõe as intervenções antrópicas responsáveis pelos bloqueios registradas na área de estudo. A estrada

Sana-Frade bloqueou trinta e sete tributários, aproximadamente 54% das confluências. As outras modificações nas confluências foram decorrentes de manejo agrícola (1), construção de casas (5) e estrada privada (2), somadas estas alterações interferem o fluxo natural de 12% dos tributários que deságuam no rio Sana.

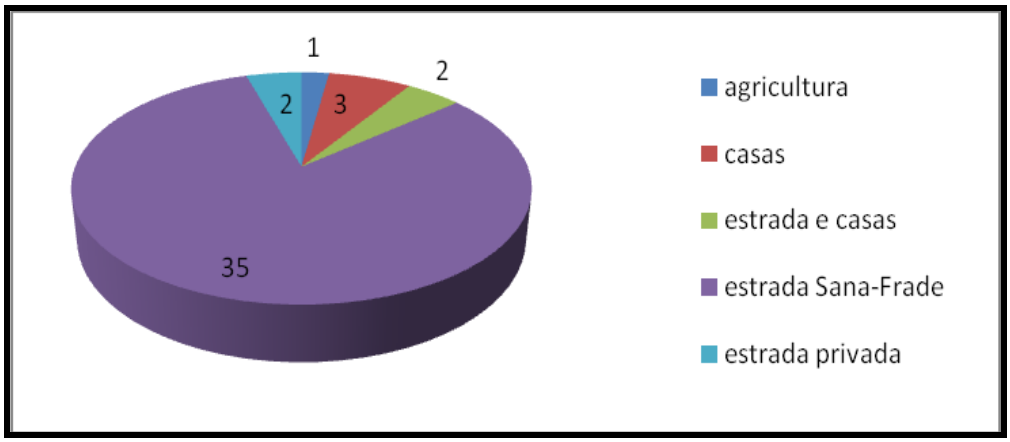

Figura 33: Intervenções antrópicas responsáveis pelos bloqueios nas confluências dos tributários com rio Sana.

As confluências das principais sub-bacias, Córrego da Alegria (P9), Córrego do Peito de Pombo (P64) e Córrego do Colégio (P57), selecionadas para serem analisadas como entidades separadas, apresentam-se respectivamente bloqueada por instalação de uma ponte da estrada Sana-Frade (Figura 34), e as outras duas livres de bloqueios (Figura 35 e 36). No Córrego do Peito de Pombo a mencionada estrada passa longe da confluência, há apenas uma ponte de pedestres para acesso às Cachoeiras do Escorrega, Pai, Mãe, dentre outras, principais atrativos turísticos da região, que cruzam o trecho próximo à confluência. O Córrego do Colégio deságua pela margem direita do rio Sana e a estrada Sana-Frade está localizada na margem esquerda, não estabelecendo assim, nenhuma influência na morfologia natural desta confluência.

Figura 34: Confluência do Córrego Alegre com Rio Sana, bloqueio por ponte da estrada Sana-Frade (Ponto P9 da Figura 28).

Figura 35: Confluência Córrego Peito de Pombo com Rio Sana, confluência livre de impedimentos (Ponto P64 da Figura 28).

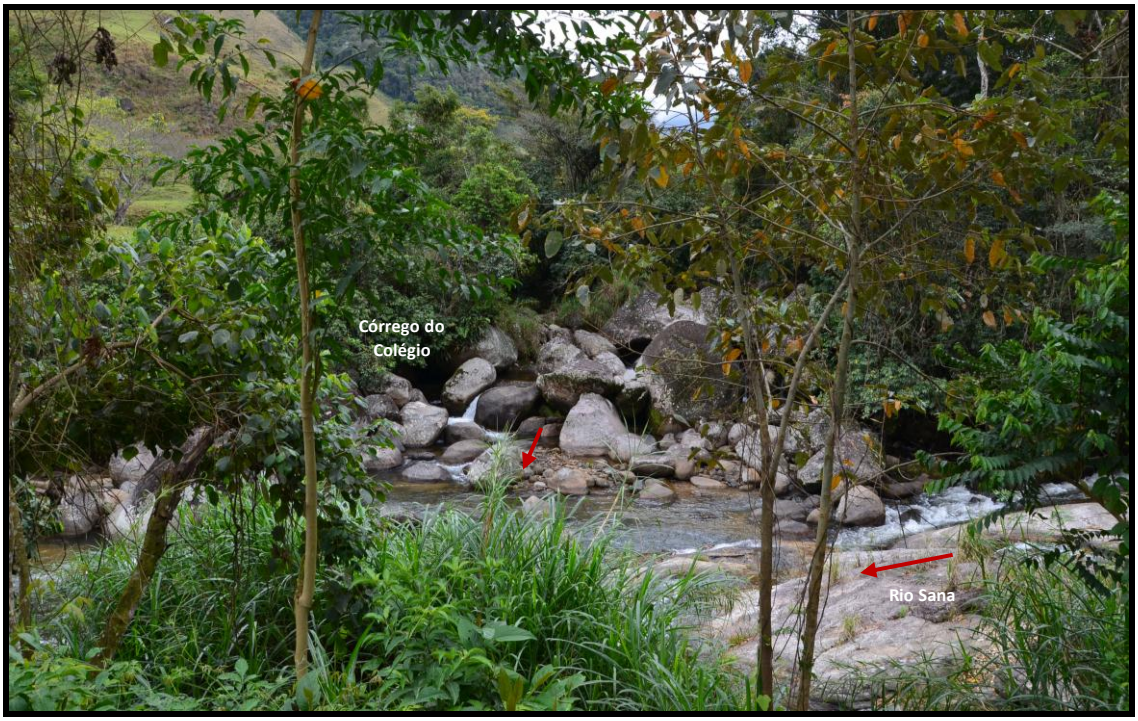

Figura 36: Confluência Córrego do Colégio com Rio Sana, confluência livre de impedimentos (Ponto P57 - Figura 28).

6.5 Área de captação efetiva e conectividade do sistema de drenagem do rio Sana

A área de captação efetiva foi definida a partir da modelagem hidrológica baseada na interação dos aspectos relativos à declividade das encostas, às formas de bloqueios e ao mosaico de sub-bacias em que foi decomposto o sistema de drenagem do rio Sana, que somado às diferentes magnitudes de chuva, originou três cenários que refletem a área de contribuição efetiva das encostas para os canais de drenagem no caso de chuvas de baixa, moderada e alta magnitude (Figura 37). A partir da definição destes cenários pode-se definir o grau de conectividade das sub-bacias separadamente e do sistema de drenagem do Sana como um todo.

A declividade foi utilizada como dado de entrada para a modelagem do fluxo d`água e delimitar as pequenas sub-bacias e os bloqueios naturais, os limiares utilizados foram descritos no Capítulo 5 que discorre sobre a metodologia. O resultado obtido na definição das pequenas sub-bacias de forma automática foi uma camada com aproximadamente 100 feições que, depois de editada manualmente, a fim de corrigir os vazios e eventuais erros, originou um mosaico de 154 pequenas sub-bacias.

A caracterização de bloqueios naturais e antrópicos identificados no sistema de drenagem do rio Sana foi descrito no tópico anterior e magnitude de chuva (baixa ≥ 10mm, moderada ≥ 33,5mm e alta ≥ 126,6mm) capaz de rompê-los foi exposto no Quadro 6 (página 55). Tendo em vista que a presente pesquisa enfoca os bloqueios laterais, na primeira análise apenas estes bloqueios foram considerados para definição da área de captação efetiva e conectividade, em seguida os bloqueios longitudinais relativos às confluências dos tributários e canal principal foram adicionados e examinados de forma conjunta.

Como mencionado anteriormente o grau de conectividade das sub-bacias e do sistema de drenagem do rio Sana está diretamente relacionado com a extensão da área de captação efetiva e, portanto, com a porção da área da bacia que contribui diretamente no aporte de água e sedimentos para a rede de drenagem. As classes de (des) conectividade foram estabelecidas utilizando valores em percentual das áreas não contribuintes, ou seja, desconectadas conforme Fryirs *et. al.* (2007a). Sendo assim, áreas com percentual de desconexão de 0 – 30% foram enquadradas como altamente conectadas, 30 - 50 % como conectadas, 50 – 70% como desconectadas e 70 – 100% como altamente desconectadas.

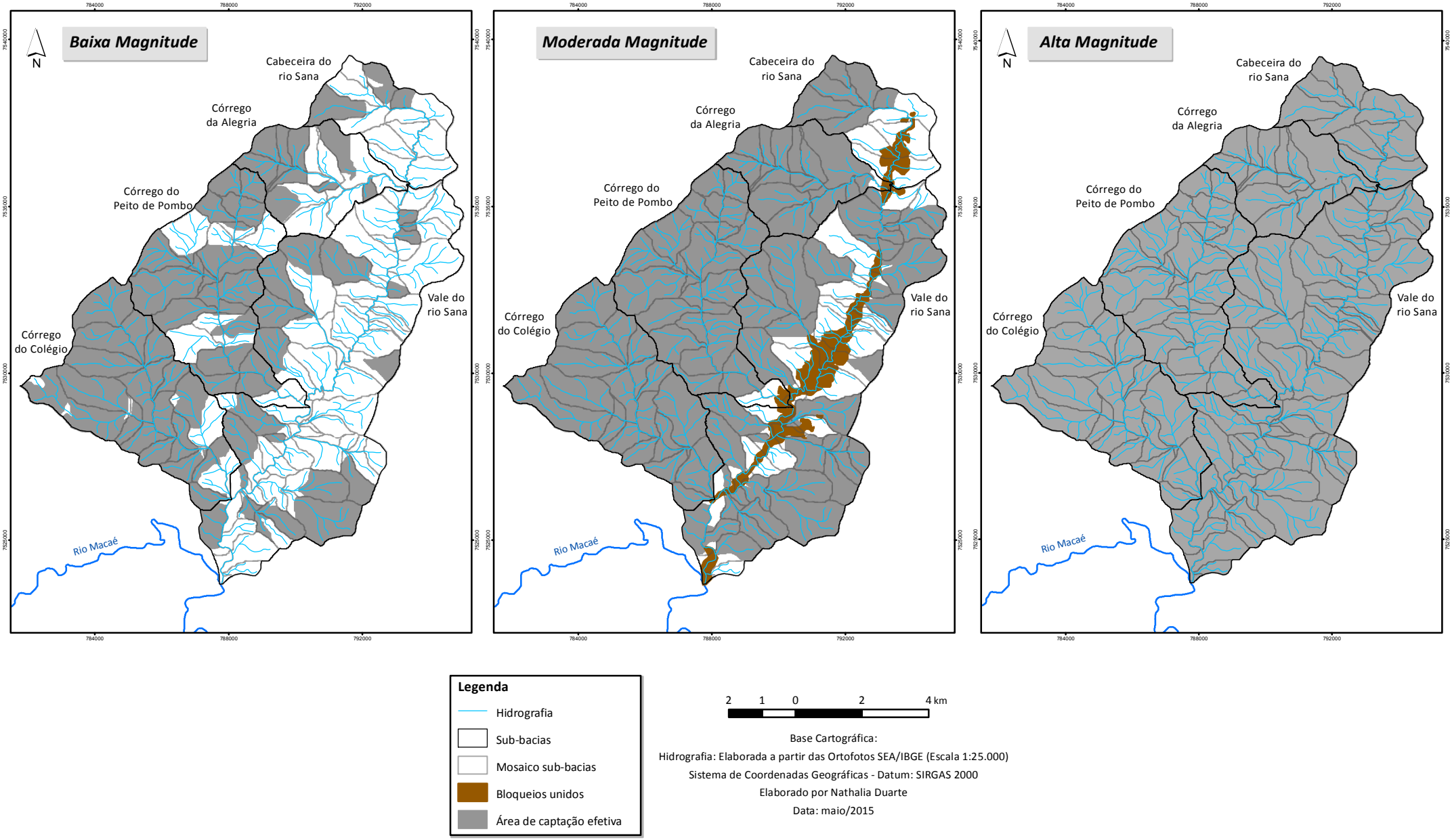

Figura 37: Área de captação efetiva no caso de chuvas de baixa, moderada e alta magnitude considerando os bloqueios laterais

No caso de chuvas de baixa magnitude todos os bloqueios laterais estão ativos, impedindo o escoamento superficial e restringido a área de contribuição a montante destas feições. Desta forma, água e sedimento transportado até estes bloqueios, respectivamente, infiltram e depositam sobre estas feições. O Quadro 7 apresenta a área de captação efetiva e o grau de conectividade da área de estudo. Dessa forma, a área de captação efetiva do sistema de drenagem do rio Sana mediante a este *input* de energia foi de aproximadamente 55,55 km², ou seja, 51,18% do sistema de drenagem, o que enquadra o sistema de drenagem como conectado.

Quadro 7: Área de Captação efetiva e grau de conectividade das principais sub-bacias do rio Sana - Chuvas de Baixa Magnitude considerando apenas os bloqueios laterais.

Sub-bacias	Área total da sub-bacia (m²)	Área de captação efetiva (m²)	Sub-bacia conectada (%)	Sub-bacia desconectada (%)	Grau de conectividade
Cabeceira do rio Sana	9.541.655	2.255.737	23,64	76,36	Altamente desconectada
Córrego da Alegria	10.384.657	4.898.823	47,17	52,83	Desconectada
Córrego do Peito de Pombo	20.603.653	14.571.842	70,72	29,28	Altamente conectada
Córrego do Colégio	20.714.490	18.283.644	88,26	11,74	Altamente conectada
Vale do rio Sana	47.295.615	15.536.450	32,85	67,15	Desconectada
Total Bacia do rio Sana	108.540.070	55.546.496	51,18	48,82	Conectada

As sub-bacias apresentaram respostas bastante diversas, com destaque para a Cabeceira do rio Sana classificada como altamente desconectada, com 76,36% de sua área não contribuindo diretamente para a rede de drenagem, isso se deve pela grande quantidade de bloqueios se comparada a sua pequena extensão (cabeceira de drenagem entulhada (1 feição), tributário preenchido (7 feições), sopé da encosta ou terraço alto (5 feições) e um trecho da planície de inundação e terraço baixo do rio Sana). De forma oposta as sub-bacias do Córrego do Colégio e do Córrego do Peito de Pombo apresentaram-se com grau de conectividade alto, com ocorrência de poucos bloqueios e a maioria de pequenas dimensões. O relevo escarpado com elevadas declividades presente nestas sub-bacias justifica a ocorrência de um número reduzido de bloqueios.

No caso chuvas de moderada magnitude (Quadro 8), com uma maior energia para gerar escoamento superficial e capacidade de romper os bloqueios do tipo: cabeceira de drenagem entulhada, tributário preenchido, área urbana e estradas, o sistema de drenagem do rio Sana apresentou-se altamente conectado, com aproximadamente 80% contribuindo diretamente para sistema de canais. Em relação as sub-bacias, todas, com exceção a Cabeceira do rio Sana, demonstraram-se com elevado grau de conexão. As porções desconectadas destas sub-bacias correspondem as áreas próximas a confluência com rio Sana, local onde deságuam, que possuem características mais planas devido a proximidade da planície do rio Sana e do nível de base local. A Cabeceira do rio Sana, mesmo com chuvas com maior potencial de energia, possui mais de 50% da sua área desconectada, devido a ocorrência de grandes feições deposicionais do tipo planície de inundação, terraço baixo, sopé de encosta e terraço alto.

Quadro 8: Área de Captação efetiva e grau de conectividade das principais sub-bacias do rio Sana - Chuvas de Moderada Magnitude considerando apenas os bloqueios laterais.

Sub-bacias	Área total da sub-bacia (m²)	Área de captação efetiva (m²)	Sub-bacia conectada (%)	Sub-bacia desconectada (%)	Grau de conectividade
Cabeceira do rio Sana	9.541.655	4.398.828	46,10	53,90	Desconectada
Córrego da Alegria	10.384.657	10.142.495	97,67	2,33	Altamente conectada
Córrego do Peito de Pombo	20.603.653	19.737.002	95,79	4,21	Altamente conectada
Córrego do Colégio	20.714.490	20.706.890	99,96	0,04	Altamente conectada
Vale do rio Sana	47.295.615	31.658.622	66,94	33,06	Conectada
Total Bacia do rio Sana	108.540.070	86.643.838	79,83	20,17	Altamente conectada

A Figura 38 expõe o resultado da área de captação efetiva com a inclusão dos bloqueios longitudinais, ou seja, locais onde a morfologia da confluência do tributário com o rio Sana está modificada, com intervenções de obras de engenharia. Apenas as confluências alteradas por instalação de manilhas foram consideradas como bloqueios longitudinais, pois considera-se que as pontes, mesmo quando os pilares se localizam no leito do rio, são estruturas que não impedem completamente o fluxo de água e sedimento, apesar modificar a forma natural e

consequentemente os processos, a medida que o canal tende a ajustar-se a estas novas condições. Já a instalação de manilhas quando não acompanhadas por uma manutenção adequada, pode impedir completamente o fluxo de água e sedimento, atuando como uma barragem e represando o córrego. Isto porque há uma tendência de acumulação dos sedimentos a montante destas áreas, intensificada quando ocorrem chuvas com alto potencial de transporte de sedimentos e, acarretando, por vezes, no entupimento das manilhas.

No que se refere à magnitude da chuva necessária para romper os bloqueios longitudinais do tipo manilhas, considera-se que apenas os eventos de alta magnitude têm a capacidade de romper esse tipo de bloqueio e conectar os tributários aos canais principais, no que diz respeito ao fluxo de água e sedimento. Acredita-se que este tipo de bloqueio interfere mais intensamente o fluxo de sedimentos, principalmente os mais grosseiros, do que o fluxo de água. No entanto, torna-se necessário uma pesquisa mais aprofundada da dinâmica hidrossedimentológica destes ambientes alterados para embasar tal afirmação. Desta forma, o cenário referente a alta magnitude não foi representado na Figura 38, pois no caso de chuvas de alta magnitude a área de captação efetiva manteve-se idêntica à da Figura 37, com todo o sistema de drenagem conectado.

A área de captação efetiva e a conectividade das sub-bacias e do sistema de drenagem do rio Sana quando adicionados os bloqueios longitudinais referentes as manilhas instaladas nas confluências dos tributários com o rio Sana aos bloqueios descrito acima apresentaram resultados diferentes apenas no Vale do rio Sana e no sistema de drenagem como todo. Isto porque apenas a estrada Sana-Frade foi considerada na análise. Esses valores estão expostos no Quadro 9 e 10. Observa-se que a inclusão destes bloqueios na análise aumentou a área desconectada do Vale do rio Sana, 70,82% em chuvas de baixa magnitude enquadrando a sub-bacia como altamente desconectada. O mesmo aconteceu no sistema de drenagem do rio Sana, a área desconectada foi de 50,42% apresentando-se quanto ao grau de conectividade como desconectada. Apesar da área desconectada do Vale do rio Sana e do sistema de drenagem do rio Sana ter aumentado também no caso de chuvas de moderada magnitude o padrão de conectividade não foi alterado, continuando, respectivamente, enquadrada como conectada e altamente conectada.

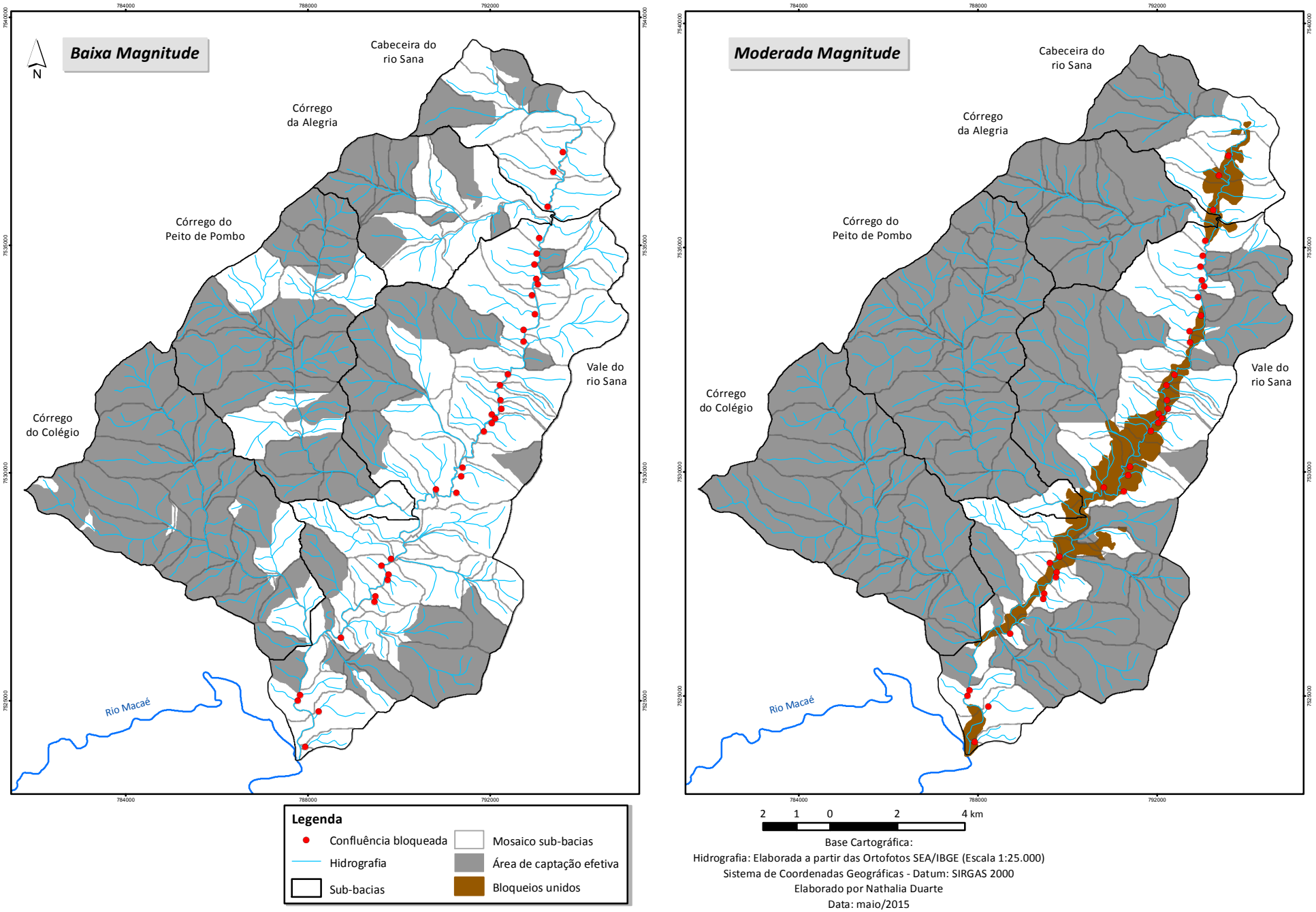

Figura 38: Área de captação efetiva no caso de chuvas de baixa, moderada e alta magnitude considerando os bloqueios laterais e longitudinais.

Quadro 9: Área de Captação efetiva e grau de conectividade das principais sub-bacias do rio Sana - Chuvas de Baixa Magnitude considerando bloqueios laterais e longitudinais

Sub-bacias	Área total da sub-bacia (m²)	Área de captação efetiva (m²)	Sub-bacia conectada (%)	Sub-bacia desconectada (%)	Grau de conectividade
Cabeceira do rio Sana	9.541.655	2.255.737	23,64	76,36	Altamente desconectada
Córrego da Alegria	10.384.657	4.898.823	47,17	52,83	Desconectada
Córrego do Peito de Pombo	20.603.653	14.571.842	70,72	29,28	Altamente conectada
Córrego do Colégio	20.714.490	18.283.644	88,26	11,74	Altamente conectada
Vale do rio Sana	47.295.615	13.801.365	29,18	70,82	Altamente desconectada
Total Bacia do rio Sana	108.540.070	53.811.410	49,58	50,42	Desconectada

Quadro 10: Área de Captação efetiva e grau de conectividade das principais sub-bacias do rio Sana - Chuvas de Moderada Magnitude considerando bloqueios laterais e longitudinais

Sub-bacias	Área total da sub-bacia (m²)	Área de captação efetiva (m²)	Sub-bacia conectada (%)	Sub-bacia desconectada (%)	Grau de conectividade
Cabeceira do rio Sana	9.541.655	4.398.828	46,10	53,90	Desconectada
Córrego da Alegria	10.384.657	10.142.495	97,67	2,33	Altamente conectada
Córrego do Peito de Pombo	20.603.653	19.737.002	95,79	4,21	Altamente conectada
Córrego do Colégio	20.714.490	20.706.890	99,96	0,04	Altamente conectada
Vale do rio Sana	47.295.615	25.845.978	54,65	45,35	Conectada
Total Bacia do rio Sana	108.540.070	80.831.194	74,47	25,53	Altamente conectada

Diante do exposto, pode-se dizer que os baixos padrões de conectividade encontrados na área da Cabeceira do rio Sana e Vale do rio Sana, mediante a análise dos bloqueios naturais está relacionado, em grande parte, aos bloqueios mais resistentes (planície de inundação /

terraços baixos e sopé de encosta / terraços altos). Ou seja, os bloqueios são mais difíceis de serem transpostos, rompidos apenas em eventos de alta magnitude.

Considerando apenas os aspectos geomorfológicos naturais, as encostas destas áreas contribuiriam em menor grau com aporte de sedimentos em suspensão para os cursos d´água, devido à ocorrência destes bloqueios mais resistentes. No entanto, a realidade observada em campo não sugere tal conclusão, porque estas áreas são as que veem sofrendo maior intervenção humana, através da ocupação das encostas e margens dos rios ou substituição da vegetação florestal por gramíneas para pastagem. Desta forma, torna-se necessário maior detalhamento sobre a dinâmica de escoamento de água e sedimentos a partir do mapeamento dos tipos de cobertura da terra e a influência de cada classe no processo de escoamento.

Em contraponto, as áreas das sub-bacias definidas com grau de conectividade encosta/canal mais elevado, no caso os Córregos do Peito do Pombo e do Colégio, estão relacionadas às altas declividades e ocorrência de poucos bloqueios a maioria de pequenas dimensões e, com isso, mais facilmente rompidas. Apesar da ocorrência das maiores áreas de contribuição (maior porte de água para a rede de drenagem) observa-se mediante a inclusão dos aspectos da cobertura da terra presente, que no que se refere ao aporte de sedimentos das encostas para os canais os índices não são tão elevados, onde os solos destas áreas não são muito profundos, com altas declividades, ocorrência de afloramentos rochosos e o predomínio de vegetação florestal contribuem para estabilização das encostas e retenção de sedimentos.

Desta forma, a inclusão dos bloqueios antrópicos na metodologia proposta por Fryirs *et al.* (2007a) demonstrou-se adequada na análise da dinâmica atual de transferência água e sedimentos dos ambientes de encostas para os canais fluviais, pois refletem como as interferências antrópicas que incidem diretamente na morfologia da paisagem agem sob os processos geomorfológicos desencadeados pelas respostas hidrológicas nos subsistemas encosta e canal, em busca com equilíbrio dinâmico, a estas perturbações.

Neste sentido, a pesquisa contribui para compreensão da inter-relação dos ambientes de encosta e fluvial no âmbito da bacia e da dinâmica atual de transferência de sedimentos e água entre estes ambientes. Pode ainda contribuir na elaboração de diagnóstico ambiental e planejamento e gestão da unidade de conservação APA do Sana, que tem como um dos objetivos preservar o solo, as nascentes, os corpos hídricos, as matas ciliares e as faixas marginais de proteção das águas superficiais. Desta forma, as áreas adjacentes ao rio Sana, Vale do rio Sana, demonstraram-se bastante sensíveis a perturbações devido à grande

intervenção humana, como retirada da vegetação, construção de edificações e estradas nas margens do rio.

Tendo em vista o valor ecológico da área em questão e a expansão do perímetro urbano e, considerando as áreas urbanas como elementos que potencializam a transmissão de sedimentos e água das encostas no caso de eventos de chuva moderada e alta magnitude tornam-se relevante ao revisar o Plano de Manejo e Zoneamento da APA do Sana, elaborado em 2001, estabelecer parâmetros urbanísticos, principalmente no que diz respeito à Taxa de Permeabilização das Zonas de Ocupação Controlada, a fim de aumentar a infiltração da água no solo e, consequentemente diminuir o escoamento superficial da área.

Além disso, a estrada de terra Sana-Frade considerada, ora como bloqueio, ora como elemento impulsionador do escoamento de água e sedimentos, dependendo da magnitude da chuva, ganhou destaque na pesquisa que enfoca a dinâmica atual de transferência de sedimentos e água das encostas aos canais, devido sua influência no aporte de sedimento para o canal do rio Sana. Desta forma, aconselha-se que a execução de futuras obras de melhorias da estrada Sana-Frade seja precedida de um planejamento que contemple o dimensionamento e adequação do sistema de drenagem da estrada e medidas de estabilização de taludes, a fim de minimizar os processos erosivos.

Considerando os resultados alcançados, pode-se dizer que a utilização das noções de conectividade entre ambientes, encosta/canal, na escala de análise de bacia hidrográfica demonstrou-se adequada, pois contempla as interações homem/paisagem e paisagem/paisagem.

Os movimentos de massa são processos importantes na análise da influência dos bloqueios na conectividade de sistemas de drenagem, principalmente quando o material decorrente deste processo é depositado no ambiente fluvial e proximidades, ou seja, no caso de ocorrerem em encostas íngremes localizadas em umas das margens do canal. Ao contrário, são depositados no próprio ambiente de encosta por longos períodos e retrabalhados apenas através de processos erosivos. Por isso, a inclusão deste processo geomorfológico nesta análise demandaria a inclusão de outros parâmetros importantes para a leitura deste, como chuva antecedente, umidade antecedente do solo e determinar os limites críticos de chuva e topográfico para iniciação dos mesmos.

Cabe destacar que a construção de estrada próxima ao rio colabora para ocorrência de movimentos gravitacionais e na reportagem de Carolina Burgos para o G1 no dia 13 de

novembro de 2012, cuja manchete informa: "*Com chuvas, Macaé, no Norte do Rio, também está em estado de alerta*" aponta para a ocorrência de deslizamentos na estrada Sana Frade. Tal informação confrontada com o dado de chuva de 113,4 mm da estação Barra Alegre para esse dia demonstra que chuvas acima de 100 mm já possuem potencial para desencadear movimento de massa.

7. CONCLUSÃO

A abordagem da conectividade entre os subsistemas encosta/canal dentro da metodologia proposta de mapeamento dos bloqueios laterais permitiu a compreensão da transferência de sedimentos e água entre estes subsistemas. Ou seja, através da definição da área de captação efetiva do sistema de drenagem do rio Sana diante de alguns limiares de chuva definidos, foi possível elucidar sobre a conectividade do sistema de drenagem do rio Sana como um todo e das principais sub-bacias particularmente.

Diferente da abordagem do balanço sedimentar, que tradicionalmente é utilizada para quantificar o aporte sedimentar no exutório de um determinado sistema de drenagem, a metodologia da conectividade incorpora o aspecto espacial e temporal à análise, possibilitando um maior detalhamento de acordo com a escala dos dados trabalhados e ratifica o potencial da utilização do Sistema de Informação Geográfica na análise ambiental.

No entanto, é notória no Brasil a ausência de base de dados cartográficos oficiais com escala detalhada. O mesmo ocorre com os dados pluviométricos, cuja cobertura esparsa e carência de dados contínuos, longas séries históricas, por vezes, comprometem uma análise mais detalhada dos processos geomorfológicos na escala de bacia através do SIG. Além disso, torna-se relevante um estudo detalhado dos limiares de chuva estipulados na pesquisa, através de estudos empíricos e modelagem, correlacionando-os com as tipologias de cobertura da terra.

A aplicação da metodologia da conectividade apresentou-se adequada para a análise da dinâmica atual de transferência de água e sedimento das encostas para o canal, destacando-se, sobretudo, a descrição dos bloqueios antrópicos e sua relação com a evolução atual da paisagem. No entanto, para compreensão dos ciclos pretéritos de dissecação e agradação do relevo que determinou a morfologia atual dos ambientes de encosta e fluvial seria necessária uma pesquisa com foco nos perfis estratigráficos de algumas áreas representativas. O que permitiria compreender sobre os processos responsáveis pela formação das tipologias de bloqueio naturais mais relevantes na área de estudo.

No que diz respeito à avaliação da conectividade na relação água e sedimento no sistema de drenagem do rio Sana, o mesmo apresenta um descompasso porque há muita captação e demanda de água pelos vários setores da população local e alterações antrópicas importantes como a alteração da morfologia das confluências dos tributários com o canal principal (bloqueio longitudinal).

Ou seja, é possível que esteja ocorrendo no sistema de drenagem uma redução do volume de água que pode comprometer futuramente a crescente demanda da população local. Mas, para se ter certeza em relação a isso, será necessário investigações que levem a compreensão mais detalhada de parâmetros relevantes na análise geomorfológica e hidrogeomorfológica dentro da área de captação da bacia. Serão importantes investimentos relacionados a monitoramentos, com séries históricas a partir da instalação de estações meteorológicas e fluviais distribuídas na bacia.

Por outro lado, o rio Sana é impactado pela construção de estradas nas proximidades de suas margens pela expansão urbana (construção de casas) e pela supressão da vegetação florestal e mata ciliar contribuindo assim para o acréscimo de sedimentos e assoreamento do rio.

Esses problemas levantam novos questionamentos para a pesquisa e ao mesmo tempo desafios para a gestão sustentável, tanto da bacia hidrográfica quanto da Área de Proteção Ambiental.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACAMEP. Associação Candido Mendes de Ensino e Pesquisa. **Diagnóstico socioambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé**. Projeto Macaé Rio Sustentável. Rio de Janeiro, 2011, p. 328.

ALMEIDA, J. & SILVA, L. C. **Geologia e recursos minerais da folha Macaé SF.24-Y-A-I,** estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000 / Júlio Almeida [et al.]; organizador Luiz Carlos da Silva. – Belo Horizonte: CPRM, 2012, 106 p.

ASSUMPÇÃO, A. P. & MARÇAL, M. S. **Anomalias de Drenagem na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Sana (RJ).** In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology. Goiânia, 2006, v.2. p.1-10.

ASSUMPÇÃO, A. P. & MARÇAL, M. S. **Retificação dos Canais Fluviais e Mudanças Geomorfológicas na Planície do Rio Macaé (RJ).** Revista de Geografia, Recife, 2012 v. 29, 19-36 p.

BARROS, A. C. M. 2014. 138f. **Avaliação da desconexão encosta-canal na Bacia do Riacho Grande/PB**. Recife, Dissertação (Mestrado em Geografia) - Depto. de Ciências Geográficas / Centro de Filosofia e Ciências Humanas, UFPE, Pernambuco, 2014.

BERTONI, J. C. & TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2009, p. 915-943.

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R. D. **Ambiente Fluvial: Ambientes de Sedimentação, sua interpretação e importância**. Editora da Universidade Federal do Pará. Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979, 183p.

BORDAS, M. P. & SEMMELMANN, F. R. Elementos **de engenharia de sedimentos**. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2009, p. 915-943.

BRACKEN, L.J. & CROKE, J. **The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems**. Hydrological Processes, 2007, v. 21, n. 13, p. 1749-1763.

BRASIL. Decreto No. 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 junho 1984.

BRASIL. Lei nº 9.433. de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Brasília.

BRIERLEY, G. & FRYIRS, K. A. **The River Styles® framework: The short course conceptual book**. Macquarie Research Limited. 2003, 151p.

BRIERLEY, G. J. & FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Blackwell Publications, Oxford, 2005, 398p.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. A.; JAIN, V**. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications.** Area, 2006, v. 38 (2), p. 65-174.

BRIERLEY G; REID H; FRYIRS K; TRAHAN N. (2010) **What are we monitoring and why? Using geomorphic principles to frame eco-hydrological assessments of river condition**. Science of the Total Environment v.408 p.2025–2033.

BRUNSDEN, D. & THORNES, J. B. **Landscape Sensitivity and Change.** Transactions of the Institute of British Geographers, New Series, 1979, v. 4, n. 4, p. 463-484.

BRUNSDEN, D. **A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology**, Catena, 2001, v. 42, n. 2-4, p. 99-123,

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: CPRM., 2008, 599p.

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. **Os Solos do Estado do Rio de Janeiro**. In: CPRM Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ, 1 CD-ROM, 2001.

CASTRO, U.N.; NEVES, S.R.A; SILVA, L.F.T.C.; MENDES, S.P.; GUERRA, A.J.T. **Mapeamento de feições erosivas e cicatrizes de escorregamento por unidades de relevo na sub-bacia do rio Sana (Macaé – RJ)**. Revista SINAGEO, 2010, vol. 3.

COELHO NETTO, A. L**. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p. 93-148.

Resolução do CONAMA 010/1993

CPRM Serviço Geológico do Brasil. **Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental.** Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ. 1 CD-ROM, 2001.

CHORLEY, R. J. **Geomorphology and General System Theory.** In: Theoretical Papers in the Hydrologic and Geomorphic Sciences. United States, 1962, 10 p.

CHORLEY, R. J. **Water, earth and man: a synthesis of hydrology, geomorphology and socio-economic geography**. London: Methuen, 1969, 588p.

CHORLEY, R. J. & KENNEDY, B. A. **Physical Geography: A Systems Aproach**. London: Prentice Hall, 1971, 370p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, Ed da Universidade de São Paulo, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CROKE, J.; FRYIRS, K.; THOMPSON, C. **Channel–floodplain connectivity during an extreme flood event: implications for sediment erosion, deposition, and delivery**. Earth Surface Processes and Landforms, 2013, v.38, p.1444–1456.

DANTAS, M. E**. Mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM. 63 f, 2 mapas. Executado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2001.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema **Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FALL, **Watershed and Stream Network Delineation GIS in Water Resources**. Center for Research in Water Resources University of Texas at Austin David Tarboton, Utah State University. 2006, Disponível em: <http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro07/Introduction/Exercises/Ex4.htm>. Acesso em 22 de dez. 2014.

FERNANDES, M.C; AVELAR, A.S; MENEZES, P.M.L; COELHO NETTO, A.L. **Comparação do uso de superfície real e planimétrica para análises do índice de eficiência de drenagem: um estudo de caso no maciço da Tijuca – RJ**. Revista Brasileira de Geomorfologia, 2012, v.13, n.1, p.29-37.

FERNANDES, M. M. 2009. 115f. **Valoração dos serviços ambientais da floresta de Mata Atlântica associados à qualidade e quantidade da água na APA do Sana** Tese (Doutorado em Ciências) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia / Ciência do Solo, Instituto de Agronomia, UFRRJ, Rio de Janeiro, 2009.

FERRARI, A. L., MELO, E.F.; VAZ, M.A.A.; DALCOMO, M.T.; BRENNER, T.L.; SILVA, V.P.; NASSAR, W.M.. **Projeto Carta Geológica do Rio de Janeiro- Bloco Campos**. In: Relatórios técnicos, volume 1-DRM-Geomitec; Geologia e Mineração. Trabalhos técnicos Ltda, 1981, 172 p.

FRYIRS, K. A., BRIERLEY, G.J, PRESTON, N.J., SPENCER, J**. Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment**. New South Wales, Australia. Geomorphology, 2007a, v.84. p. 297-316.

FRYIRS, K. A., BRIERLEY, G.J, PRESTON, N.J., KASAI, M. **Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades**. Catena, 2007b. v.70. p. 49–67.

FRYIRS, K. **(Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at sediment delivery problem**. Earth Surface Processes and Landforms, 2013, v.38, p. 30-46.

GERALDES, M. C. [et al] **Geologia e recursos minerais da folha Casimiro de Abreu** SF.23-Z-B-I, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000. GERALDES, M. C.. [et al.]; organizador SILVA, L. C. –Belo Horizonte: CPRM, 2012.

GUERRA, A. J. T. **Processos erosivos nas encostas.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 2. ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1995, p. 148 - 210.

GUERRA, A. J. T. **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999, p. 17 – 56.

HARVEY, A. M. **Effective timescales of coupling within fluvial systems**. Geomorphology, 2002, v. 44, p. 175–201.

HASSUI, Y. **Neotectônica e Aspectos Fundamentais da Tectônica Ressurgente no Brasil**. SBG/MG. Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro, Belo Horizonte, 1990, p. 1-31.

HOOKE, J. M. **Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology**. Geomorphology, 2003, v.56. p. 79–94.

HORTON, R. E**. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geol. Soc. America Bull, 1945, v.56, p. 275-370.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia.** In: Manuais Técnicos em Geociências número 4. Rio de Janeiro, 2007.

LANNA, A. E. L**. A inserção da Gestão das Águas na Gestão Ambiental.** In: Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente, 2000, v. único, p. 75-108.

LIMA, W.P. (1975) Estudos de alguns aspectos quantitativos e qualitativos do balanço em plantações de eucaliptos e pinus. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 111p.

LIMA, R. N. S. 2010. 127 f. **Conectividade dos Ambientes Fluviais: Implicações para Avaliação da Sensibilidade do Sistema de Drenagem da Bacia do Rio Macaé (RJ).** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. Geografia, IGEO , UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

LIMA, R. N. S. & MARÇAL M. S**. Avaliação da condição geomorfológica da Bacia do rio Macaé – RJ a partir da metodologia de classificação dos Estilos Fluviais**. Revista Brasileira de Geomorfologia, 2013, v. 14, n°2, p. 171-179.

MEGAHAN, W. F. **Reducing erosional impacts of roads**. In: Guidelines for watershed management, KUNKLE & THAMES (eds.). FAO Conservation Guide 1, Rome, 1977, p. 237-261.

MARÇAL, M. S. & LUZ, L. M. **Planejamento e gestão da Bacia do Rio Macaé – Litoral Norte Fluminense, com base em estudos integrados de Geomorfologia e uso do solo**. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Recife, PE, CD-ROM, 2003.

MARÇAL, M. S. **Análise das mudanças morfológicas em seções transversais ao rio Macaé/RJ.** Revista Brasileira de Geomorfologia, 2013, v.14, n°1, p.59-68.

MATTOS, S. H. V. L. & PEREZ FILHO, A. **Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema.** Revista Brasileira de Geomorfologia, 2004, v. 5 n.1, p. 11-18.

MONTEIRO, M. I. **Esane amplia abastecimento de água no Sana**. Prefeitura Municipal de Macaé, Macaé, 6 de fev. 2015. Disponível em <http://macae.rj.gov.br/noticias> Acesso em: 11 de maio 2015.

NASCIMENTO, F. J. B. 2011, 63f. **Estudos de séries históricas hidrológicas – uma abordagem geomorfológica na bacia do rio Macaé – RJ**. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Depto. Geografia, IGEO, UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

OOSTWOUD WIJDENES, D. J. & BRYAN, R. B**. Gully development on the Njemps Flats, Baringo, Kenya**. In: BORK, h. –R.; DE PLOEY, J.; SCHIK, A. P. (Eds.) Erosion, transport and deposition processes: theories and models. Catena Supplement, 1991, v. 19, p. 71-90.

PECHENICK AM, RIZZO DM, MORRISSEY LA, GARVEY KM, UNDERWOOD KL, WEMPLE BC. **A multi-scale statistical approach to assess the effects of connectivity of**

road and stream networks on geomorphic channel condition. Earth Surface Processes and Landforms, 2014, v.39, p.1538–1549.

PEREIRA, M. D.; SIEGLE E.; MIRANDA, L. B.; SCHETTINI, C. A. F. **Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA)**. Revista Brasileira de Geofísica, 2010, v. 28, p. 427-444.

PIEGAY, H. & SCHUMM, S. A. **System Approaches in Fluvial Geomorphology**. In: KONDOLF, G.M. & PIEGÁY, H. Tools in Fluvial Geomorphology, 2003, p. 105-134.

PINHEIRO, M. R. C. 2008, 152f. **Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos aplicada a bacia hidrográfica do rio Macaé.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos, Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental. Campos, Rio de Janeiro, 2008.

VIVA RIO. **Plano de Manejo da APA do Sana**. Rio de Janeiro, 2003, 123 p.

RAMOS, G. D. M; MACHADO JUNIOR, H. F; SILVA, V. L; CASTELAN, F. G; GUERRA, A. F; FERNANDES, M. M; GASPAR, A. **Qualidade microbiológica da água consumida pela população do distrito do Sana, Macaé, Rio de Janeiro**. Revista do Instituto Adolfo Lutz, 2008, 67(2):100-105.

SANTOS, W. L. & AUGUSTIN, C. H. R. R. **Análise da perda de água e sedimento em vertentes sob diferentes coberturas vegetais no sudoeste amazônico – Acre – Brasil**. Anais do 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia. Rio de Janeiro, 2012.

SCHUMM, S. A. **The disparity between present rates of denudation and orogeny**. U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 1963, 454-H, 13 p.

SIEFERT, C. A. C. & SANTOS I**. Mecanismos de geração de escoamento e áreas hidrologicamente sensíveis: uma abordagem hidrogeomorfológica para delimitação de áreas de preservação permanente**. RA'E GA (UFPR), 2012, v.24, p. 227-257.

SILVA, L. F. T. C.; CASTRO, U. N.; GUERRA, A. J. T.; LIMA, F. S.; MENDES, S. P.; BEZERRA, J. F. R. **Degradação Ambiental em Áreas Destinadas à Pecuária na Sub-bacia Hidrográfica do rio Sana, Macaé, RJ**. Revista de Geografia (Recife), 2012, v. 29, p. 18-44.

SILVA, T. M. 2002. 265 f. **A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro.** Tese (Doutorado em Geografia) - Depto. Geografia, IGEO, UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, L.C. & CUNHA, H.C.S. **Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Rio de Janeiro**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília. CD-ROM, 2001.

SILVA, L. F. T. C; CASTRO, U.N; GUERRA, A. J. T; LIMA, F.S; MENDES, S.P; BEZERRA, J. F. R **Degradação ambiental em áreas destinadas à pecuária na Sub-bacia hidrográfica do rio Sana, Macaé – RJ**. Revista de Geografia (UFPE), 2012, v.29, no. 1, p. 45 – 59.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo **Hidrológico e Bacia Hidrográfica**. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2009, 943 p.

SOUZA J. O. P. 2011. 166f. **Sistema fluvial e açudagem no semi-árido, relação entre a conectividade da paisagem e dinâmica da precipitação, na Bacia de Drenagem do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Depto. de Ciências Geográficas, CFCH, UFPE, Recife, 2011.

_____. 2014. 189f. **Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido – Bacia do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco**. Tese (Doutorado em Geografia) - Depto. de Ciências Geográficas/CFCH-UFPE). Recife, 2014.

SOUZA J. O. P. & CORREA A. C. B. **Conectividade e área de captação efetiva de um sistema fluvial semiárido: bacia do riacho Mulungu, Belém de São Francisco-PE**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, 2012, ano 24 n.2, p. 319-332.

SOUZA P. A. 2013. 111f. **Dinâmica hidrossedimentológica e padrões de conectividade no rio Macaé (RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Depto. Geografia, IGEO, UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

STRAHLER, A. N. E**quilibrium theory of erosional slopes, approached by frequency distribution analysis.** Am. Jour. Sci., 1950, v. 248, p. 673-696, 800-814.

VALERIANO, C. M.; et al. Mapa Geológico, escala 1:100.000. Organizador Luiz Carlos da Silva. – Belo Horizonte: CPRM. Trabalho desenvolvido em Sistema de Informação Geográfica – SIG utilizando o GEOBANK – Banco de Dados Geoespacial da CPRM na Internet, 2012.

VASCONCELOS, M. F. **O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil?** Revista Brasileira de Botânica, 2011, v.34, n.2, p.241-246.

VILLAS BOAS, G. H. & MARÇAL, M. S. **Avaliação da sensitividade do sistema fluvial no alto-médio vale do rio Macaé (RJ).** Revista Brasileira de Geomorfologia, 2013, v.14, n°1 p. 93-102.

VON BERTALANFFY, L. **The theory of open systems in physics and biology: Science**, 1950, v. Ill, p. 23-29.

WALLING D. E. & HE Q. **Use of fallout 137Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains**. Catena, 1997, v.29, p. 263–282.

WALLING D. E. & OWENS P. N. **The role of overbank floodplain sedimentation in catchment contaminant budgets**. Hydrobiologia, 2003, v.494, p. 83–91.

ZAÚ, A. S; COELHO NETTO, A. L; OLIVEIRA, R. R. **Cobertura florestal: degradação, resultantes ecológicas e efeito de borda no Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro/RJ**. In: ENCONTRO IALE-BR, Rio de Janeiro/ Vale do Paraíba do Sul/São Paulo, 2007.