



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**O ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO À
ANÁLISE ESPACIAL DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A
OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA**

PEDRO HENRIQUE MUNIZ LIMA

Dissertação de Mestrado

Rio de Janeiro

Março de 2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**O ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO À
ANÁLISE ESPACIAL DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A
OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA**

PEDRO HENRIQUE MUNIZ LIMA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOGRAFIA, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO –
UFRJ, COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM GEOGRAFIA NA ÁREA
DE CONCENTRAÇÃO DE PLANEJAMENTO E
GESTÃO AMBIENTAL.

ORIENTADOR

PROF. DR. Manoel do Couto Fernandes

Prof. Dr^a Ana Luiza Coelho Netto

Rio de Janeiro

2015

**O ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO À
ANÁLISE ESPACIAL DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A
OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA**

PEDRO HENRIQUE MUNIZ LIMA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOGRAFIA, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
– UFRJ, COMO REQUISITO PARCIAL À
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
GEOGRAFIA NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE
PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL.

Aprovada em _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr _____ – Orientador
MANOEL DO COUTO FERNANDES
Depto. Geografia/ UFRJ

Prof^a Dr^a _____ – Co-Orientadora
ANA LUIZA COELHO NETTO
Depto. Geografia/ UFRJ

Prof Dr _____
PAULO JORGE VAITSMAN LEAL
Depto. de Educação - IEAR/ UFF

Dr _____
BRUNO HENRIQUES COUTINHO
Conservation International

FICHA CATALOGRÁFICA

Lima, Pedro Henrique Muniz

O ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO Á ANÁLISE ESPACIAL DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA / Pedro Henrique Muniz Lima– 2015 127 p. (IGEO/ UFRJ, M.Sc., GEOGRAFIA, 2015)

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

Orientador: Manoel do Couto Fernandes; Ana Luiza Coelho Netto

1. Geografia. 2. Planejamento e Gestão Ambiental – Dissertação de Mestrado. Fernandes, Manoel do Couto (Orient.). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. O ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO Á ANÁLISE ESPACIAL DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que tiveram uma grande importância na construção e acompanhamento desta jornada.

A princípio gostaria de agradecer a minha família, especialmente às mulheres da minha vida, minha mãe e minha irmã. Bernadete Muniz Lima, meu pilar principal de sustentação, a quem de incontáveis formas, direta e indiretamente, fez tudo se tornar possível.

Aos companheiros de trabalho, Bruno Henrique Coutinho, pela colaboração inicial e essencial para o uso das bases de dados trabalhadas nesta dissertação e Leonardo Barbosa, pelas contribuições de campo e também tirando dúvidas relacionadas ao processamento dos dados no *ArcGis10.1*[®]. De fato para que este trabalho chegasse onde chegou, devo isso também a eles e tenho certeza que eles ainda tem muito a colaborar.

Obrigado aos meus orientadores (professor Manoel e professora Ana Luiza) que além da orientação, sempre estiveram presentes com palavras de incentivo nos momentos difíceis.

Um obrigado, especial à toda equipe do Geoheco, além da Dani e do Jorge, vulgo “Maguinho” pelos momentos divertidos e de companheirismo em meio ao dia a dia.

Finalmente, às agências financiadoras, que tornaram esta pesquisa viável: CAPES, FAPERJ E CNPq.

Obrigado a todos!!!!

RESUMO

Lima, Pedro Henrique Muniz. O ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO À ANÁLISE ESPACIAL DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA, 2015, 127 f Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2015.

Parâmetros morfométricos, ganharam notoriedade principalmente a partir da criação da densidade de drenagem (Horton 1932 e 1945) e a partir deste sempre foram aplicados por geomorfólogos na busca da compreensão das funcionalidades da paisagem, através da quantificação das mesmas através de parâmetros e índices. A partir da densidade de drenagem, muitos outros parâmetros foram criados. Dentre eles, O IED foi criado por Coelho Netto e colaboradores, que ao buscar compreender a dinâmica hidrológica e erosiva dos domínios de colinas da bacia do rio Bananal (RJ/SP), revelaram a importância da densidade de eixos de concavidades, que associados ao gradiente topográfico (Meis *et.al.* 1982) exerciam um controle sobre a eficiência dos fluxos d'água ao longo dos eixos das concavidades de modo a ativar a erosão regressiva do canal. Posteriormente esse índice foi aplicado à diversos trabalhos em regiões montanhosas, mostrando uma notável relação com a ocorrência de movimentos de massa, como em Coelho Netto *et al.* (2007). Porém todos os trabalhos feitos posteriormente, diferenciavam em relação à questões metodológicas. O presente trabalho pretende resgatar algumas das bases cartográficas desses antigos trabalhos, e juntando à região da bacia do Córrego Dantas, Nova Friburgo (RJ) para elaborar um estudo sistemático de aplicação do índice em áreas montanhosas, além de relacionar as categorias do índice à diferentes tipologias de movimentos de massa. Além disso, as diferenças encontradas e abordadas por Fernandes (2004); motivaram à uma investigação dos parâmetros e características geomorfológicas sobre duas metodologias cartográficas de cálculo de feições distintas, a superfície planimétrica e modelada. Além de estabelecer valores padrões do índice em áreas montanhosas, este estudo mostra a relação da ocorrência de Debrisflows ou deslizamentos translacionais rasos com diferentes categorias qualitativas do índice.

Palavras Chave: Parâmetros morfométricos; Índice de Eficiência de drenagem; Movimentos de massa; Deslizamentos; Geomorfologia; Superfície Modelada; Superfície Planimétrica.

ABSTRACT

Lima, Pedro Henrique Muniz. THE DRAINAGE EFFICIENCY INDEX (DEI) AS SUBSIDY OF SPATIAL OCCURRENCE ANALYSIS OF MASS MOVEMENT SUSCEPTIBLE AREAS, 2015. xx, 127 f (Master's Thesis In Geography) – Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), Geoscience Institute, Post-Graduation Programme in Geography, Rio de Janeiro, 2015.

Morphometric parameters, acquired notoriety since the drainage density proposition (Horton 1932, 1945) and after that it was applied by geomorphologists on the perspective to understand of landscape functionalities, quantifying their characteristics through parameters and indexes. After the drainage density, many other parameters have been proposed. Among them, the DEI, that was created by Coelho Netto and contributors, who seek to understand the hydrological and erosive dynamics on Bananal river basin (RJ / SP). This investigation revealed the importance of hollow density, conjugated topographic gradient (Meis *et al.* 1982) who prosecute controls on the water flow efficiency along the hollows in order to activate the regressive erosion of the main channel. Later this index was applied to several works in mountainous regions, showing a substantial relation with the occurrence of mass movements such as in Coelho Netto *et al.* (2007). But all subsequently works made, different methodological approaches. This paper aims to recover some of cartographic databases of these old works, and adding the Córrego Dantas Basin, situated in Nova Friburgo municipality (RJ) to develop a systematic study of application of this index in mountainous areas, and relate this to different types of mass movements. In addition, the differences founded and shown by Fernandes (2004); leads to an investigation of this geomorphological parameters and basin characteristics through two cartographic methods of features calculation, the Planimetric Surface and Modeled Surface. Finally this work try to establish patterns of index values applied to mountainous basins, and shows the relationship between the occurrence of Debrisflows or shallow translational slides with different qualitative categories of the index.

Keywords: Morphometric Parameters, Drainage Efficiency Index; Mass movements, Landslides; Geomorphology; Modeled Surface; Planimetric Surface.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO GERAL.....	9
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1. Características morfológicas e a influência na hidrologia de bacias hidrográficas.....	10
3.2. Parâmetros morfológicos afins a resposta hidrológica em bacias hidrográficas.....	12
3.2.1. Densidade de Drenagem.....	12
3.2.2. Gradiente Topográfico.....	16
3.2.3. Índice de Eficiência de Drenagem.....	16
3.3. Tipologias de movimentos de massa.....	20
3.4. Métodos estatísticos:.....	24
3.4.1. Exclusão de valores anômalos: O gráfico Boxplot e a definição de outliers.....	27
3.5. Análises cartográficas levando em consideração a superfície do relevo.....	29
4. ÁREAS DE ESTUDO.....	32
4.1. Bacia do Córrego Dantas - Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.....	34
4.1.1. Características Geomorfológicas e Geológicas.....	35
4.2. Bacias do Quitite e Papagaio.....	41
4.3. Área de contribuição que drena para a Região Central de Angra dos Reis.....	45
4.4. Área de contribuição que drena para a Usina Nuclear de Angra dos Reis.....	48
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
5.1. Interpretação estereoscópica das redes hidrográficas.....	52
5.2. Delimitação das Bacias.....	53
5.3. Definição dos eixos de concavidades – hollows.....	53
5.4. Criação do TIN.....	54
5.5. Identificação das bacias e suas respectivas feições por códigos semelhantes.....	55
5.6. Cálculo dos parâmetros – ArcGis 10.1®.....	55
5.7. Cálculo dos Índices.....	56
5.8. Exclusão dos valores anômalos - Outliers (Gráfico de Boxplot).....	56
5.9. Classificação estatística das classes de IED – O método de classificação do Natural Breaks	57
5.10. Estabelecimento dos valores padrões de IED para as diferentes ordens de bacias	58
5.11. Relação das classes de IED com as feições erosivas.....	60

5.12.	Elaboração dos mapas finais	60
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
6.1.	Correção, ajuste e validação das redes de drenagem.....	63
6.2.	Análises Cartográficas: Adoção da Superfície Modelada ou Planimétrica.....	69
6.2.1.	Bacias de 1º ordem	70
6.2.2.	Bacias de 2º ordem	71
6.3.	Análises Geomorfológicas: Resultados do IED nas diferentes ordens de bacia.....	73
6.3.1.	O IED em bacias de 1º ordem.....	75
6.3.2.	O IED em bacias de 2º ordem.....	86
6.4.	Relação entre o Índice de Eficiência de Drenagem e a ocorrência de feições erosivas 96	
6.4.1.	As bacias de 1º ordem e a relação com os movimentos de massa.....	96
6.4.2.	As bacias de 2º ordem e a relação com os movimentos de massa.....	98
7.	CONCLUSÕES	101
8.	DESDOBRAMENTOS	104
8.1.	Relação estatística entre os componentes do IED	104
8.2.	Monitoramento hidrológico das bacias-laboratório	104
8.3.	Reclassificação dos inventários de cicatrizes frente as diferentes tipologias de movimentos de massa	105
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
10.	APÊNDICES.....	118

Índice de Figuras

Figura 1: Tabela representando os principais parâmetros morfométricos aplicados à bacias de drenagem. Fonte: Adaptado de Gregory and Walling; 1973, pp.39. Optou-se por manter as nomenclaturas originais, pois os termos usados para as traduções podem variar de um autor para outro.	13
Figura 2: Gráfico representativo da relação entre a vazão dos canais e seus respectivos comprimentos. Adaptado de Gregory and Walling (1968). Ft: Pés, unidade de comprimento.	15
Figura 3: Representação das feições básicas de uma bacia de drenagem (de 2º ordem) para o cálculo do IED. A linha azul representa a rede hidrográfica da bacia, a linha vermelha, os eixos de concavidades e a linha amarela, Comprimento do eixo principal da bacia. Fonte: Modificado de Coelho Netto et.al. 2007.	17
Figura 4: Classificação dos movimentos de massa. Fonte: KOBAYAMA, M. et al. (2006).	21
Figura 5: Ilustração representativa de um deslizamento translacional. Fonte: http://avaliacaoriscosbc.blogspot.com.br/2013/03/tipos-de-eskorregamentos.html	23
Figura 6: Ilustração de um movimento de massa classificado como debrisflows. Fonte: http://www.wsgs.wyo.gov/ . Acesso em Janeiro de 2015.	24
Figura 7: Métodos estatísticos disponíveis para classificar um conjunto de dados no ArcGis10.1®.	25
Figura 8: O gráfico Boxplot. Adaptado de: Moroco (2003)	29
Figura 9: Representação do relevo real, obtido a partir de dados na escala 1:5000, e a hidrografia, representada sobre um plano. Bacia do Córrego Dantas – RJ.	30
Figura 10: Diferenciação de observações em superfície modelada e planimétrica no calculo de densidade de drenagem na bacia do Alto Rio da Cachoeira (RJ) Fonte: Fernandes (2004).	30
Figura 11: Representação do relevo real, obtido a partir de dados na escala 1:5000, e a hidrografia, representada sobre um plano. Bacia do Córrego Dantas – RJ.	31
Figura 12: Localização das quatro áreas de estudo.	32
Figura 13: Precipitação média mensal e máxima e mínima de chuvas acumuladas mensais da estação Galdinópolis para o período de 1943 a 2007. A estação localiza-se no alto curso do rio Macaé, no município de Nova Friburgo. Fonte: GEOHECO/ SEA; 2009	34
Figura 14: Mapa litológico abrangendo parte da área de estudo. Fonte: GEOHECO/ SEA; 2009.	36
Figura 15: Número de pessoas residentes e densidade demográficas de alguns dos municípios da Região Serrana do Rio de Janeiro, segundo dados do Censo IBGE 2010. Fonte: Modificado de Coutinho (2014 – inédito).	37
Figura 16: Cicatrizes mapeadas através da imagem Geoeye. Fonte: Coelho Netto et. al (2011).	38
Figura 17: Através da interpretação dos dados de 47 pluviômetros instalados nas cidades de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, evidenciou-se a existência de um núcleo de chuva sobre a Cidade de Nova Friburgo. Fonte: Coelho Netto et al. (2011).	39
Figura 18: Histogramas de intensidade de precipitação e acumulada nas 04 estações automáticas situadas na cidade de Nova Friburgo, no evento de janeiro de 2011. Fonte: Coelho Netto et al. (2011).	39
Figura 19: Mapa de localização da bacia do Córrego Dantas.	40
Figura 20: Bacias do Quitite e Papagaio. Em vermelho, estão representadas as cicatrizes erosivas do evento de 1996.	42
Figura 21: Movimentos de massa ocorridos no Maciço da Tijuca, frente ao evento pluviométrico de 1996.	44
Figura 22: Área de contribuição da região central do município de Angra dos Reis.	45
Figura 23: Localização da Área central do município de Angra dos Reis, Rj. Fonte: Adaptado de Geoheco/INEA 2012.	47
Figura 24: Localização da CNNA, no distrito de Cunhambebe, município de Angra dos Reis.	49
Figura 25: Esquema representativo dos procedimentos metodológicos seguidos por este trabalho.	51

Figura 26: Ilustração dos procedimentos metodológicos para a obtenção da rede de canais. _____	53
Figura 27: Ilustração da definição dos eixos de concavidades para bacias de primeira ordem (verde) e segunda ordem (amarelo). _____	54
Figura 28: Procedimento utilizado para a Criação do TIN (Triangulated Irregular Network) no Arcgis. _	54
Figura 29: Identificação das bacias e seus atributos pelos mesmos códigos verificadores. _____	55
Figura 30: Elaboração de polígonos fictícios para o cálculo estatístico do IED a partir dos cálculos feitos em excel. _____	58
Figura 31: Ilustração referente à classificação quantitativa dos valores de IED. A classes representam valores de Baixo, Médio, Alto e Muito Alto IED (de cima para baixo). _____	59
Figura 32: Mapa representando as diferenças entre as redes hidrográficas da área de contribuição que drena para o município de Angra dos Reis. _____	66
Figura 33: Mapa representando as diferenças entre as redes hidrográficas da bacia do Córrego Dantas. A correção da rede hidrográfica foi feita através de estereoscopia e de investigações de campo. _____	67
Figura 34: Mapa representando as diferenças entre as redes hidrográficas das bacias do Quitite e Papagaio. _____	68
Figura 35: Amplitudes das classes de IED aplicadas à bacias de primeira ordem, sobre a Superfície Planimétrica ou Modelada. Há também a representação da Média (Círculo preto) e dos valores anômalos (asteriscos). _____	75
Figura 36: Gráfico representativo da distribuição das 325 bacias em cada uma das classes de IED para bacias de primeira ordem. O eixo inferior do gráfico representa o número de bacias. _____	76
Figura 37: Gráfico representativo da distribuição da quantidade de bacias em cada uma das classes de IED para bacias de primeira ordem e em cada uma das áreas de estudo. _____	77
Figura 38: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Área de contribuição da Região Central do município de Angra dos Reis. _____	78
Figura 39: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Área de contribuição da Região Central do município de Angra dos Reis. _____	79
Figura 40: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Área de contribuição da Usina Nuclear (CNAAA). _____	80
Figura 41: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Área de contribuição da Usina Nuclear (CNAAA). _____	81
Figura 42: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Bacia do Córrego Dantas. As bacias de primeira ordem não delimitadas são as consideradas como valores anômalos. _____	82
Figura 43: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Bacia do Córrego Dantas. As bacias de primeira ordem não delimitadas são as consideradas como valores anômalos. _____	83
Figura 44: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Bacias do Quitite e Papagaio. As bacias de primeira ordem não delimitadas são as consideradas como valores anômalos. _____	84
Figura 45: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Bacias do Quitite e Papagaio. As bacias de primeira ordem não delimitadas são as consideradas como valores anômalos. _____	85
Figura 46: Amplitudes das classes de IED aplicadas à bacias de segunda ordem, sobre a Superfície Planimétrica ou Modelada. Há também a representação da Média (Círculo preto) e dos valores anômalos (asteriscos). _____	87

Figura 47: Gráfico representativo da distribuição das 83 bacias de segunda ordem em cada uma das classes de IED. O eixo inferior do gráfico representa o número de bacias. _____	87
Figura 48: Gráfico representativo da quantidade de bacias em cada uma das classes de IED para bacias de segunda ordem e em cada uma das áreas de estudo. _____	88
Figura 49: Representação comparação das amplitudes de classes de IED do presente estudo, Geoheco/SEA 2011, e Coelho Netto et al. (2007). Os asteriscos vermelhos indicam que os valores mínimos e máximos não foram informados. _____	89
Figura 50: Mapa identificando as bacias de segunda ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Área de contribuição da região Central do município de Angra dos Reis. _____	90
Figura 51: Mapa identificando as bacias de segunda ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Área de contribuição da região Central do município de Angra dos Reis. _____	91
Figura 52: Mapa identificando as bacias de segunda ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Bacia do Córrego Dantas. ___	92
Figura 53: Mapa identificando as bacias de segunda ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Bacia do Córrego Dantas. ____	93
Figura 54: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Bacias do Quitite e Papagaio. _____	94
Figura 55: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Bacias do Quitite e Papagaio. _____	95
Figura 56: Representação da terceira etapa do trabalho, que seria a escolha das bacias a serem monitoradas. _____	105

Índice de Tabelas

Tabela 1: Tabela representativa das principais diferenças metodológicas encontradas nos principais trabalhos que usavam o índice em regiões montanhosas. C: Canais; h: hollows; NI: Não informado.	6
Tabela 2: Classificação das principais tipologias de movimentos de massa e suas características. Adaptado de Augusto Filho, 1992.	21
Tabela 3: Base de dados usada para a análise da Bacia do Córrego Dantas. (*) Foi realizada uma reinterpretação dos dados hidrográficos através da estereoscopia e checagem de campo. NI: Origem não informada. Inventário de cicatrizes gerado através de interpretação visual de imagem de satélite de alta resolução.	50
Tabela 4: Base de dados usada para a análise das bacias do Quitite e Papagaio. (*) Foi realizada uma reinterpretação dos dados hidrográficos através da estereoscopia. Inventário de cicatrizes adquirido na base digital de dados do Laboratório Geoheco/UFRJ.	50
Tabela 5: Base de dados usada para a análise da região central do município de Angra dos Reis. (*) Foi realizada uma reinterpretação dos dados hidrográficos através da estereoscopia e checagem de campo.	50
Tabela 6: Base de dados usada para a análise da Bacia do Córrego Dantas. (*) Foi realizada uma reinterpretação dos dados hidrográficos através da checagem de campo.	51
Tabela 7: Detalhamento dos métodos e ferramentas de ajuste e correção das redes hidrográficas para cada uma das áreas de estudo.	63
Tabela 8: Valores relativos aos comprimentos totais das drenagens em cada uma das áreas de estudo, antes e depois do ajuste de campo e/ou da estereoscopia. Como a hidrografia da área de estudo "CNAAA" foi estabelecida unicamente através de investigações de campo, a mesma permaneceu inalterada. SP: Superfície Planimétrica; SM: Superfície Modelada.	64
Tabela 9: Diferenças encontradas para os cálculos entre Superfície Planimétrica (SP) e Superfície Modelada (SM) aplicadas à bacias de 1º ordem. DDh: Densidade hidrográfica, levando em consideração os eixos de concavidades.	70
Tabela 10: Diferenças encontradas para os cálculos entre Superfície Planimétrica (SP) e Superfície Modelada (SM) aplicadas à bacias de 2º ordem. DDh: Densidade hidrográfica, levando em consideração os eixos de concavidades. Os valores relativos à área de estudo "CNAAA" não constam na tabela porque não foram trabalhados para bacias de 2º ordem.	71
Tabela 11: Caracterização dos valores de IED aplicados à bacias de primeira ordem para as quatro áreas de estudo. A área chamada "Unificada" representa a união de todas as outras quatro áreas de estudo.	73
Tabela 12: Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de IED, por cada área de estudo para cálculos em Superfície Planimétrica em bacias de primeira ordem.	76
Tabela 13: Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de IED, por cada área de estudo para cálculos em Superfície Modelada em bacias de primeira ordem.	77
Tabela 14: Caracterização dos valores de IED aplicados à bacias de segunda ordem para as quatro áreas de estudo. A área chamada "Unificada" representa a união de todas as outras quatro áreas de estudo.	86
Tabela 15: Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de IED, por cada área de estudo para cálculos em Superfície Planimétrica em bacias de segunda ordem.	88
Tabela 16: Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de IED, por cada área de estudo para cálculos em Superfície Modelada em bacias de segunda ordem.	88
Tabela 17: Densidades de movimentos de massa na bacia do Córrego Dantas, em relação a Superfície Planimétrica (acima) e Modelada (abaixo). Bacias de primeira ordem.	97
Tabela 18: Densidades de movimentos de massa nas bacias do Quitite e Papagaio, em relação a Superfície Planimétrica (acima) e Modelada (abaixo). Bacias de primeira ordem.	98
Tabela 19: Densidades de movimentos de massa nas bacias no Maciço da Tijuca (Quitite e Papagaio), em relação a Superfície Planimétrica (acima) e Modelada (abaixo). Bacias de segunda ordem.	99

Tabela 20: Densidades de movimentos de massa na bacia do Córrego Dantas, em relação a Superfície Planimétrica (acima) e Modelada (abaixo). Bacias de segunda ordem.....**99**

1. INTRODUÇÃO

A dinâmica das bacias hidrográficas assim como as formas do relevo, resultantes da ação da água nas paisagens sempre chamou a atenção dos cientistas. Desde os primórdios da história das geociências, são comuns menções sobre o trabalho modelador dos rios. Os estudos mencionando o trabalho feito pelos corpos hídricos datam até mesmo do século XV, quando Da Vinci escreveu: “cada vale foi escavado pelo seu rio, e a relação entre os vales é a mesma que entre os rios” (Baulig; 1950 *apud* Christofolletti A.; 1969) e como descrito no século XIX, pelas ideias de James Hutton, expostas posteriormente por Playfair: “cada rio consiste em um tronco principal, alimentado por um certo número de tributários, sendo que cada um deles corre em um vale proporcional ao seu tamanho, e o conjunto forma um sistema de vales comunicantes, com declividades tão perfeitamente ajustadas que nenhum deles se une ao vale principal em um nível demasiado superior ou inferior; circunstância que seria infinitamente improvável se cada vale não fosse obra do rio que o ocupa” (Playfair; 1802 *apud* Christofolletti; 1969).

Assim, ao longo dos anos, à medida que a geografia física cresceu, sob a forma do que posteriormente veio a se chamar de geomorfologia, diversas e importantes contribuições surgiram sobre o curso dos rios, a proposição das bacias de drenagem, chegando até às mensurações e posteriormente relacionando-as com a evolução das paisagens. A fim de subsidiar a compreensão do que se via no ambiente, e começar a relacionar as formas aos processos, principalmente no século XX, com o aporte da matemática, estatística e das crescentes contribuições tecnológicas, além do uso de técnicas de mensuração dos aspectos naturais, a ciência geomorfológica passou de uma perspectiva voltada para a descrição e elaboração de teorias, como as de Gilbert (1877), Davis (1899) e Penck (1924), para uma visão onde essas teorias e observações pudessem ser confirmadas ou refutadas através da criação de modelos, que tinham grande base matemática e, ou aparato tecnológico.

Mais especificamente a partir dos anos 50, com o findar da Segunda Guerra Mundial, e principalmente creditada às heranças tecnológicas e científicas deixadas pelo pós-guerra, houve grande viabilização da aplicação da morfometria relacionada às

ciências geomorfológicas. Nesse contexto, começou uma grande busca dentro das Ciências da terra, mais especificamente entre os geólogos e geomorfólogos, a fim de buscar um devido suporte à compreensão das formas e feições vistas no ambiente a partir da quantificação dos parâmetros intrínsecos da natureza, mais especificamente da morfologia terrestre. Segundo Gregory *and* Walling (1973, pp. 37); para a compreensão das relações entre sistemas morfológicos e o processo de resposta desse sistema é necessária, a expressão das características das bacias de drenagem em termos quantitativos.

A morfometria, quando aplicada ao ramo das geociências, refere-se a ciência que analisa a superfície terrestre em forma quantitativa (Pike *et al.* 2009). O termo usado por este autor "*Geomorphometry*" é um campo interdisciplinar que une bases matemáticas, com as ciências da terra, e aparatos tecnológicos para auxiliar a compreensão de fenômenos e relações inerentes às ciências da terra como a geografia e mais especificamente a geomorfologia. A busca da melhor compreensão desses fenômenos normalmente surge das relações propostas por diversos autores que procuraram encontrar a relação entre variáveis do ambiente, e muitas vezes dando subsídios à criação de modelos.

Classificado como um dos expoentes e primeiros pesquisadores a abordar a interpretação quantitativa das bacias hidrográficas, o engenheiro hidráulico Robert E. Horton (1932; 1945) iniciou a quantificação morfométrica aplicada à geomorfologia, através da sua tentativa em compreender e estabelecer as leis do desenvolvimento dos rios e suas bacias de drenagem. Esse estudo marcou o início de uma nova era onde, não só foram quantificadas características importantes relacionadas às bacias de drenagem (que passou a ser considerada como unidade geomorfológica fundamental), mas também abordagens morfométricas aplicadas à vertentes e interflúvios (Christofolletti A.; 1969).

Haggett & Chorley, 1969 *apud* Gregory K.J.; 1992; reconhecem o papel importante desempenhado por Horton na seguinte passagem:

Se os livros pudessem remontar por meio de nebulosas ramificações taxonômicas para distantes antepassados intelectuais, então estes livros

poderia proclamar ser seu antecessor o notável artigo de Robert Horton sobre o desenvolvimento erosivo dos rios. Este artigo de 1945, de um engenheiro civil americano, construiu a base não somente para muitos trabalhos analíticos em Geomorfologia Fluvial, mas forneceu suportes mais gerais para uma abordagem processual da morfologia quantitativa. Suas descobertas foram-nos ensinadas por Vaughn Lewis, em Cambridge, e por Arthur Strahler, em Colúmbia; para nós ele representou o início de duas trilhas de trabalho: uma, saindo da geomorfologia para a análise localizacional; e a outra para o estudo das bacias de drenagem como a unidade geomorfológica fundamental.

No tocante às pesquisas morfométricas relacionadas às bacias de drenagem, salienta-se trabalhos como: Strahler (1952, 1954, 1957 e 1958); Smith (1950 e 1958); Miller (1953); Schumm (1956); Leopold & Miller (1956); Maxwell (1956); Leopold & Marchand (1968); dentre outros.

Strahler, no seu artigo denominado “*Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*” publicado na *American Geophysical Unit* em 1957, resumizou até aquele ano, os avanços obtidos nas análises quantitativas relacionados às bacias de drenagem. Este mesmo autor corrobora que nos anos prévios ao seu trabalho, a geomorfologia passou de uma visão mais descritiva das formas do relevo terrestre para uma ótica mais quantitativa, que pudesse auxiliar e acrescentar o entendimento do relevo e a sua forma de evolução.

Este mesmo autor sugere diversos parâmetros relacionados às propriedades geométricas das bacias de drenagem, sendo alguns deles amplamente aceitos tanto naquela época, quanto atualmente como: a hierarquização de bacias hidrográficas (Strahler; 1954); o comprimento dos canais de determinada ordem (Schumm, 1956); o coeficiente de bifurcação (*Bifurcation Ratio* – Horton 1945, p.291), área das bacias de drenagem; Densidade de drenagem e o índice de textura (Horton; 1945); Constante de manutenção do canal (Schumm; 1956) e o Perímetro das bacias.

“Os exemplos de parâmetros quantitativos apresentados acima tem a intenção de mostrar o quão complexo uma paisagem pode ser... Essas medidas ou índices tem a intenção de mostrar o seu potencial elucidativo

das propriedades hidrológicas de uma bacia de drenagem, além das suas taxas de erosão e produção de sedimentos.” Strahler; 1957, pp. 920.

Christofoletti A. (1969); também sumariza os principais parâmetros geomorfológicos aplicáveis às bacias de drenagem. Dentre esses parâmetros, temos: 1) O índice de forma (K), proposto por Gandolfi (1968); 2) Índice de circularidade da bacia (C), proposto por Schumm (1956); 3) Relação de alongação (Re); Schumm (1956); 4) Densidade Hidrográfica (Dh), proposto por Horton (1945); 5) Densidade de drenagem (Dd); Horton (1945); 6) Textura da topografia (Tt); Smith (1950); 7) Relação entre as áreas das bacias (Ra), Schumm (1956); 8) Coeficiente de manutenção (Cm), Schumm (1956) e 9) Relação de relevo (Rr), Schumm (1956).

Dentro desse contexto, Dietrich *et al.* (1986); Montgomery e Dietrich, 1989; Dietrich & Dunne, 1993; com o intuito de investigar quais eram os controles morfológicos reguladores da formação de canais de primeira ordem, conduziram estudos em área temperada úmida na costa oeste norte-americana, encontraram como critério para a formação dos canais, uma dependência inversa entre a área que converge para as cabeças dos canais (então chamadas de “*source-area*”) e o gradiente topográfico do vale.

Motivados por esses estudos Coelho Netto A. L.; buscou testar esse modelo no domínio de colinas da bacia do rio Bananal (RJ/SP), dada a sua semelhança com algumas das cabeceiras californianas. Assim como cita esta autora, surpreendentemente os 51 casos levantados, segundo os mesmos critérios aplicados na costa oeste norte-americana, não mostraram dependência entre a localização das cabeças de canais e o tamanho da área ou com o gradiente topográfico da cabeceira de drenagem. Ao contrário, algumas se desenvolvem muito próximas ao divisor de águas, levando a questionar o conceito de *zona* não-erosiva a partir de uma distância crítica dos divisores de águas, como proposto pelos autores supracitados.

Este estudo, corroborado principalmente pelas observações feitas por Anderson & Burt (1978), que mostravam os eixos de concavidades (hollows) como área concentradora de umidade através dos fluxos superficiais e sub superficiais, acabou por revelar a importância que parâmetros como a densidade de eixos de concavidades, associados ao gradiente topográfico da área de contribuição (como

proposto por Meis *et.al.* 1982) exerciam um controle sobre a eficiência dos fluxos d'água ao longo dos eixos das concavidades de modo a ativar a erosão regressiva do canal tal como foi observado no Anfiteatro Bela Vista.

Estes dados, observações e discussões subsidiaram a elaboração do Índice de Eficiência de Drenagem (IED), pois este índice ao associar parâmetros como a densidade de eixos de concavidades e o gradiente topográfico, revelava o comportamento hidrológico e erosivo de cabeceiras de drenagens. A aplicação do referido índice, destina-se a bacias de primeira ou segunda ordem, pois ambas ainda refletem os comportamentos dinâmicos e hidrológicos representativos dos domínios de encosta.

A partir desta proposição, e da promissora correspondência do índice com as respostas hidrológicas e erosivas do canal, o índice foi aplicado em diversos outros estudos posteriores. Porém ao aplica-lo em domínios montanhosos, mais especificamente no Maciço da Tijuca, localizado no Município do Rio de Janeiro, através do trabalho publicado na revista *Geomorphology* no ano de 2007 (Coelho Netto *et.al.*; 2007), foi constatado uma evidente relação do índice com a ocorrência de movimentos de massa, servindo até mesmo como um dos componentes para a elaboração de uma carta de suscetibilidade para a região. Esta mesma evidência é especificada na passagem onde os autores mostram a evidente relação de bacias com índices elevados com a ocorrência de movimentos de massa, mais especificamente nas bacias do Quitite e Papagaio, que possuíam inúmeros e extensos deslizamentos, predominando os movimentos translacionais e os fluxos detríticos oriundos de um evento pluviométrico extremo ocorrido no ano de 1996 (Coelho Netto, 1996).

Embora o índice venha sendo aplicado, em muitos outros trabalhos, com a perspectiva de resposta hidrológica e mecanicista, cada um dos estudos, foi conduzido de forma singular, o que dificultou possíveis comparações entre os resultados obtidos em cada estudo. Essas diferenças são em relação às escalas de aplicação, inexistência de adequação com a realidade das redes de canais, que é um dos parâmetros essenciais da composição do índice, além de diferenciarem em relação à metodologia de cálculo. Para fins de simplificação, alguns estudos usaram como dados de entrada

apenas o comprimento de canais, não dando devida atenção ou valor aos eixos de concavidades, que são áreas preferências para a ocorrência de fluxo saturado, principalmente durante às chuvas, quando geralmente ocorrem os movimentos de massa.

Além disso, o inicial levantamento bibliográfico de todos os principais trabalhos que usaram o índice mostrou grandes diferenças metodológicas entre eles, como visto na tabela 01 dificultando, portanto, a comparação entre áreas de estudo e os seus respectivos valores e categorias de IED. Essas diferenças metodológicas podem ser exemplificadas pelas unidades de métricas básicas levadas em consideração para os componentes do cálculo; nas ordens de bacias trabalhadas; no número de classes geradas; além do método estatístico utilizado para a geração de classes de valores de IED encontrados. É importante ressaltar que mesmo que todos esses trabalhos tivessem usados a mesma metodologia, a adoção de métodos estatísticos distintos, também causaria divergências em relação a categorização dos valores encontrados, não tornando possível comparações entre áreas distintas.

Tabela 1: Tabela representativa das principais diferenças metodológicas encontradas nos principais trabalhos que usavam o índice em regiões montanhosas. **C:** Canais; **h:** hollows; **NI:** Não informado.

Fonte	Ordem Bacia	Metodologia	Nº bacias	Número de Classes	Unidade do IED	Número de classes	Método Estatístico
ELETROBRAS/COPPETEC. (2012)	1º	C	14	2	m/ha	2	Natural Breaks
Araújo 2010	1º	C	139	5	Km/km ²	5	NI
GEOHECO/SEA. (2010).	2º	C	36	4	m/m ²	4	Natural Breaks
Coelho Netto <i>et. al.</i> 2007	2º	C + h	NI	3	Km/km ²	3	NI
Araújo 2010	2º	C	41	4	Km/km ²	4	NI
Araújo 2010	3º	C	9	3	Km/km ²	3	NI

Entretanto, é importante frisar que, parâmetros como a Densidade de Drenagem, Densidade Hidrográfica e o IED, variam em função não apenas da escala, mas também com a metodologia e o grau de acurácia em que cada uma das bases cartográficas foi construída. O traçado da rede de canais sempre foi em qualquer escala, algo muitas vezes aleatório, portanto, dependendo da técnica ou do indivíduo responsável pela confecção da rede de canais, isso se tornou muito variável, mesmo quando trabalhados em escalas semelhantes.

Embora o índice (IED) tenha sido bastante aplicado e gerado uma tendência de interpretação em associação com a ocorrência de movimentos de massa de diferentes

mecanismos, até hoje, não foi desenvolvido um estudo sistemático para abordar essa possível e suposta relação. Nesse contexto, portanto, optou-se por desenvolver um estudo sistematizando melhor todas as informações e dados, analisando-os através de escalas que permitisse a comparação entre diversas áreas e criando uma rede de canais e eixos de concavidades originadas de maneira adequada e o mais próximo possível das condições de campo, como será melhor explicitado adiante. Por esse motivo, este trabalho, justifica-se na intenção de uniformizar metodologicamente alguns desses trabalhos pretéritos, através do resgate de toda a base de dados disponível, uniformização metodológica, e posterior recálculo do índice a fim tornar possível a comparação de áreas espacialmente distintas, porém de características geomorfológicas semelhantes e por fim, gerar valores de referência do índice para regiões montanhosas, com a intenção de nortear possíveis futuros trabalhos interessados neste índice.

Inicialmente, optou-se por escolher áreas de estudo que possuíssem base topográfica numa escala de detalhe que permitisse a aplicação do índice. Acredita-se que a aplicação correta do mesmo deve ser em escalas cartográficas de detalhe, ou seja, maior do que 1:10000. Além da base cartográfica, buscaram-se áreas que possibilitassem uma reconstrução mais aproximada da realidade da rede hidrográfica, que foi em todos os casos extraída da interpretação estereoscópica de fotografias e/ou checada através de reconhecimento de campo, com o auxílio de um GPS e carta topográfica em escala apropriada. Além da rede hidrográfica mais aproximada da realidade, como uma dos objetivos desse trabalho é relacionar as categorias de IED com a incidência de movimentos de massa, buscou-se também áreas que além das exigências anteriores, existisse um inventário de cicatrizes que permitisse esta possível correlação.

Além da investigação estritamente morfométrica e geomorfológica baseada no Índice de Eficiência de Drenagem, este trabalho também busca aplica-lo sobre diferentes percepções e formas de cálculos cartográficos. Descrito inicialmente por Fernandes (2004), os dados cartográficos podem ser visualizados e calculados através de duas principais e distintas metodologias. A aplicação dos cálculos sobre a denominada Superfície Planimétrica é a mais comum e usual, porém apresenta

significativa diferença em relação à quando aplicada sobre a forma de Superfície Real, ou Modelada, que apesar de mais trabalhosa e menos difundida, leva em conta a real superfície do terreno, com as suas imperfeições e formas naturais.

Este trabalho integra um conjunto de projetos que vem sendo desenvolvidos na região serrana, incluindo: “Vulnerabilidade do Meio Ambiente e Deslizamentos Catastróficos no Domínio Montanhoso do Estado do Rio de Janeiro: condicionantes e mecanismos associados ao evento extremo de chuvas de janeiro de 2011”; (Edital FAPERJ 19/2011 - Pensa Rio), sob a coordenação geral de A. L. Coelho Netto (IGEO-UFRJ), e também ao Projeto vinculado ao – INCT – REAGEO/ Instituto de Reabilitação do Sistema Encosta-Planície, sob coordenação geral de W. A. Lacerda (COPPE-UFRJ), Edital MCT/CNPq/ CAPES /FAPERJ/ Nº 015/2008.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o significado hidrológico e erosivo do índice de Eficiência de Drenagem em bacias que drenam áreas de domínios montanhosos, tomando por base sua relação com a ocorrência de movimentos de massa pretéritos. Este estudo é visto como etapa fundamental à escolha de bacias amostrais para futuras investigações de campo e experimentais visando o estabelecimento de valores padrões de IED segundo as ocorrências de diferentes mecanismos de movimentos de massa. Busca-se desta forma, o aprimoramento da análise de parâmetros geomorfológicos funcionais relevantes à análise de suscetibilidade e riscos decorrentes de movimentos de massa característicos de regiões montanhosas. Acredita-se que exista uma relação entre as categorias de IED e certas tipologias de movimentos de massa, onde movimentos do tipo *debrisflows*, são característicos de bacias com elevados valores de IED, e movimentos translacionais rasos são característicos de bacias com valores reduzidos de IED.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar, através de um conjunto de técnicas de mapeamento geomorfológico um método que melhore a reconstituição da rede de canais, frente às escalas de análise (1:5000 e 1:10000) adotadas nas diferentes áreas de interesse;
- Apresentar uma discussão sobre as principais diferenças da aplicação da superfície modelada ou planimétrica nos cálculos dos parâmetros morfométricos das bacias de drenagem e índices a elas vinculadas;
- Avaliar a relação entre o IED de bacias de primeira e segunda ordem frente a ocorrência de movimentos de massa característicos das regiões montanhosas (rasos e planares e/ou fluxos detríticos).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Características morfológicas e a influência na hidrologia de bacias hidrográficas

Durante muitos anos, uma das grandes discussões dos geomorfólogos, estava relacionada às características responsáveis pela formação dos canais de drenagem em bacias de primeira ordem. A denominada “*channel head*” foi amplo alvo de investigação de inúmeros geomorfólogos. Nos ambientes úmidos, os canais tem início nos eixos de concavidades não canalizados (*hollows*), como visto por Hack & Goodlett (1960), Montgomery *and* Dietrich (1988), dentre outros. Nesse sentido, esses autores fazem a diferenciação dos eixos de concavidades, pela presença ou não de fluxo canalizado, chamando atenção pelo fato da presença d’água ou não, principalmente em ambientes de grande variação climática, ser sazonal.

Inicialmente proposto por Hack, J. T. & Goodlett J. C (1960) os eixos de concavidades (*Topographic hollows*) foram definidos como: a parte mais úmida do sistema de encostas, e podendo apresentar fluxo canalizado, principalmente durante os meses mais chuvosos, sendo especificamente a área de transição entre a encosta lateral e o canal. Posteriormente, como mostrado no trabalho de Anderson & Burt (1978), que buscava compreender a relação da topografia nas repostas hidrológicas, através do monitoramento com tensiômetros de uma encosta experimental, as características topográficas das encostas tem um papel fundamental na concentração e convergência de fluxo para os eixos de concavidades. Tsukamoto *et al.* (1973), trabalhando no Japão, introduziu o termo “*zero-order basin*” (bacia de zero ordem) para se referir às bacias não canalizadas, as quais incluíam também, os “*noses*” e as “*side slopes*” que drenam em direção aos hollows.

Posteriormente, Coelho Netto *et al.* (1988; 1990), Dunne (1970); Tsukamoto *et al.* (1982), dentre outros, também provaram que os eixos de concavidades, são zonas de convergência de água e sedimentos. Enquanto outros autores mostraram que a grande concentração de umidade nos eixos, é fruto da contribuição lateral de fluxos

sub-superficiais Dunne (1970); Anderson & Burt (1978), Tsukamoto *et al.* (1982); Dietrich *et al.* (1986); Wilson & Dietrich (1987) e Coelho Netto (1988) *apud* Coelho Netto *et al.* (1990).

Embora Dunne e Black (1970), tenham observado a importância dos *hollows* na geração da cunha saturada, eles não registraram a variação espacial da umidade no solo, o que foi visto por Anderson & Burt (1978), que ao mapear a expansão/contração da cunha de saturação, mostraram nitidamente a influência topográfica na convergência de fluxos em direção a base dos *hollows*. Estes mesmo autores mostraram que não havia diferenciação na "taxa de convergência" dos fluxos em relação à sazonalidade, concluindo que a topografia controlava as redes de fluxo, em detrimento à poro-pressão (Fernandes; 1990).

Observações conduzidas por Coelho Netto (1988) e Anderson & Burt (1978), (*apud* Coelho Netto *et al.* 1990); que mostrava que a zona saturada presentes nas áreas côncavas (*hollows*), se expande ao longo das concavidades, encosta acima durante a estação chuvosa, mostrando o papel da morfologia das bacias no controle e concentração do fluxo hidrológico.

Muitos estudos como Fritz (1981); Burgman *et.al.* (1987); DeWale *et.al.* (1997); McDonnell *et.al.* (1979); Soulsby *et.al.* (2000 *apud* Mcguire *et al.* 2005); mostraram que havia uma positiva relação entre as áreas das bacias de drenagem e o tempo de residência da água na bacia. Porém, Mcguire *et al.* (2005); no trabalho "*The role of topography on catchment-scale water residence time*" através do uso de traçadores para identificar os reais agentes responsáveis pelo tempo de residência da água na escala das bacias hidrográficas, mostrou que a havia uma maior relação entre as características topográficas e geomorfológicas internas e específicas das bacias, em detrimento à relação com as áreas, assim como proposto por Mcguire *et al.*, 2002; McGlyn *et.al.*, (2003); Rodgers *et.al.* (2005) *apud* Mcguire *et al.* (2005).

Mais especificamente, Mcguire *et al.* (2005); mostra positiva e relevante relação entre o tempo de residência e resposta hidrológica através da relação entre o comprimento da drenagem (L) "flow path length" e o gradiente da própria drenagem (G) "*path gradient*"; exposta como "*L/G*". Este mesmo estudo mostra que esta mesma

relação L/G , é significativamente superior, no que diz respeito ao tempo de resposta hidrológica do canal, do que o comprimento da drenagem (L) ou o gradiente (G), se comparados separadamente.

Simultaneamente, Coelho Netto e colaboradores, a fim de reaplicar no domínio de colinas da bacia do rio Bananal (RJ/SP), o modelo proposto por Montgomery e Dietrich, 1989 que mostrava a relação entre as áreas de drenagens “*source areas*” e o gradiente topográfico dos vales nas respostas hidrológicas dos canais, encontrou na verdade uma forte relação advinda entre a densidade de concavidade multiplicada pelo gradiente da área de contribuição como um importante fator controlador da eficiência dos fluxos d'água subsuperficiais ao longo dos eixos das concavidades. Esta relação proposta por Coelho Netto, controles da erosão demonstravam a importância da densidade de drenagem, associadas ao gradiente topográfico como controle das taxas de evolução regressiva dos canais de erosão por mecanismos subterrâneos (*seepage erosion*).

3.2. Parâmetros morfológicos afins a resposta hidrológica em bacias hidrográficas

3.2.1. Densidade de Drenagem

Características e parâmetros relativos às bacias como área, relevo, declividade e a densidade de drenagem estão tanto individualmente quanto coletivamente relacionados aos processos que ocorrem nas bacias de drenagem. Com o crescimento e a aceitação que a morfologia da paisagem, era basicamente produto do trabalho hidrológico sobre superfície terrestre, inúmeros parâmetros foram criados para auxiliar a compreensão das respostas hidrológicas e sedimentares e frente às características mensuráveis das bacias. Por exemplo, parâmetros como o tamanho das bacias, o comprimento dos canais, a sua forma e relevo tem influencia sobre a resposta hidrológica, afetando por sua vez, a taxa e disponibilidade de produção de água e sedimentos nos canais (Gregory *and* Walling; 1973).

Gregory *and* Walling (1973), através da figura 01, fazem uma descrição dos principais parâmetros topográficos das bacias de drenagem, até aquela época. Estes mesmos autores, destacam que, na medida do possível, é importante que esses índices sejam passíveis de aplicação por outros pesquisadores a fim de possibilitar

comparações entre diferentes áreas ou cenários. Assim como todos os autores que trabalham nesta temática dão grande importância e destaque à Densidade de drenagem (Dd), proposta por Horton (1932; 1945).

Horton (1932)	Strahler (1964)
Form Factor	Linear aspects of channel system
Compactness	Areal aspects of drainage basins
Mean Elevation	Relief (gradient) aspects of drainage basin and channel networks
General Slope	
Mean Slope	
	Gray (1965)
Drainage Density	Drainage area, size and shape
Stream number	Density and distribution of water courses
Average fall and slope of streams	Overland slope or general land slope
Direction and length of overland flow	Size, length, slope and condition of stream channel
	Depressional storage and pondage due to surface channel obstruction forming natural detentions
Langbein (1947)	
Area	Wolman (1967) (River and valley)
Stream density	Catchment area
Area-distance distribution	Size of channel
Length of basin	Shape of channel
Land slope	Fall
Channel slope	Rugosity of channel
Area-altitude distribution	Pattern
Area of water surfaces	Valley form and dimensions - Pattern in plan, shape in cross-section
Johnstone and Cross (1949)	Chorley (1967)
Area	Linear aspects of the basin (topological and geometrical)
Overland slope	Areal aspects of basin
Channel slope	Relief aspects of basin
Size of channel	
Condition of channel	
Stream pattern	
Stream density	

Figura 1: Tabela representando os principais parâmetros morfométricos aplicados à bacias de drenagem. Fonte: Adaptado de Gregory and Walling; 1973, pp.39. Optou-se por manter as nomenclaturas originais, pois os termos usados para as traduções podem variar de um autor para outro.

A Densidade de drenagem é uma medida do grau de dissecação fluvial, influenciada por vários fatores, como a resistência à erosão de rochas, a capacidade de infiltração do solo e as condições climáticas em geral (Verstappen; 1983). Ao estudar os padrões e densidades de drenagens de certos canais, Gray (1965) observou que: "O padrão e a disposição do fluxo naturais do sistema de canais determinam o quão eficiente em relação à drenagem das suas águas, é o sistema. Com os outros fatores constantes, o tempo necessário para que a água flua até certa distância, é diretamente proporcional ao comprimento dos seus canais". Wooding (1966) define a densidade de drenagem como o melhor índice disponível para descrever a dinâmica de uma rede hidrográfica.

Apesar de muitos índices e parâmetros terem sido propostos ao longo dos anos, a importância da densidade de drenagem decorre do fato de que tanto as respostas hidrológicas, quanto a sedimentar, estão muito condicionadas pela relação

entre os cursos de água e a unidade de área do terreno, que é a natureza do índice proposto por Horton (Gregory *and* Walling; 1973; pp. 271-272). Porém é importante salientar que a densidade de drenagem, é um parâmetro temporalmente dinâmico, principalmente em áreas de grande variação climática sazonal, além de também estar condicionada à outros fatores como as entradas de chuvas (*input*) e às características climáticas, geológicas, de uso e cobertura e pedológicas de cada uma das bacias.

Além de estar relacionada à parâmetros como o relevo, tipos de rochas, forma da bacia, cobertura e permeabilidade do solo (Gregory *and* Walling; 1968); a densidade de drenagem está estritamente relacionada com a entrada e saída do sistema de bacia de drenagem. Chorley e Morgan (1962) concluíram que o escoamento máximo, que pode refletir elevada intensidade pluviométrica, é uma função da densidade de drenagem. Melton (1957) demonstrou que para determinadas bacias hidrográficas, existem relações entre a densidade de drenagem e o *input* (Índice de Precipitação – Efetiva), além do *output* (frequência e intensidade de escoamento). Muitos padrões de produção de água e sedimentos em bacias hidrográficas têm sido relacionados à densidade de drenagem. Como em Benson; (1960 *apud* Gregory *and* Walling; 1968); picos de descargas têm sido relacionados à densidade de drenagem em diversos estudos. Este trabalho mostrou que as inundações estão relacionadas à alguns fatores, um dos quais, a densidade de drenagem.

Características de hidrógrafas foram analisadas por Hickok, Keppel, e Rafferty (1959) *apud* Gregory *and* Walling (1968); que demonstraram que o tempo de atraso e as características da resposta hidrológica da bacia podem ser expressos em função da relação da sua área, declividade média e a densidade e drenagem. Variações na produção de sedimentos também foram relacionadas aos valores de densidade de drenagem, quando Hadley e Schumm (1961) demonstraram que a carga de sedimentos aumentou à medida que a densidade de drenagem também era elevada.

A relação do comprimento dos canais e conseqüentemente a densidade de drenagem em relação à descarga hidrológica foi mostrada por Gregory *and* Walling (1968), que ao instrumentarem duas pequenas bacias em Devon, Inglaterra para monitorar a resposta sazonal da densidade de drenagem, constataram a relação

positiva entre o comprimento dos canais e resposta da bacia (Figura 02). Kirkby e Chorley (1967); *apud* Gregory and Walling (1968); também confirmaram, que este parâmetro afeta a magnitude da vazão das bacias de drenagem.

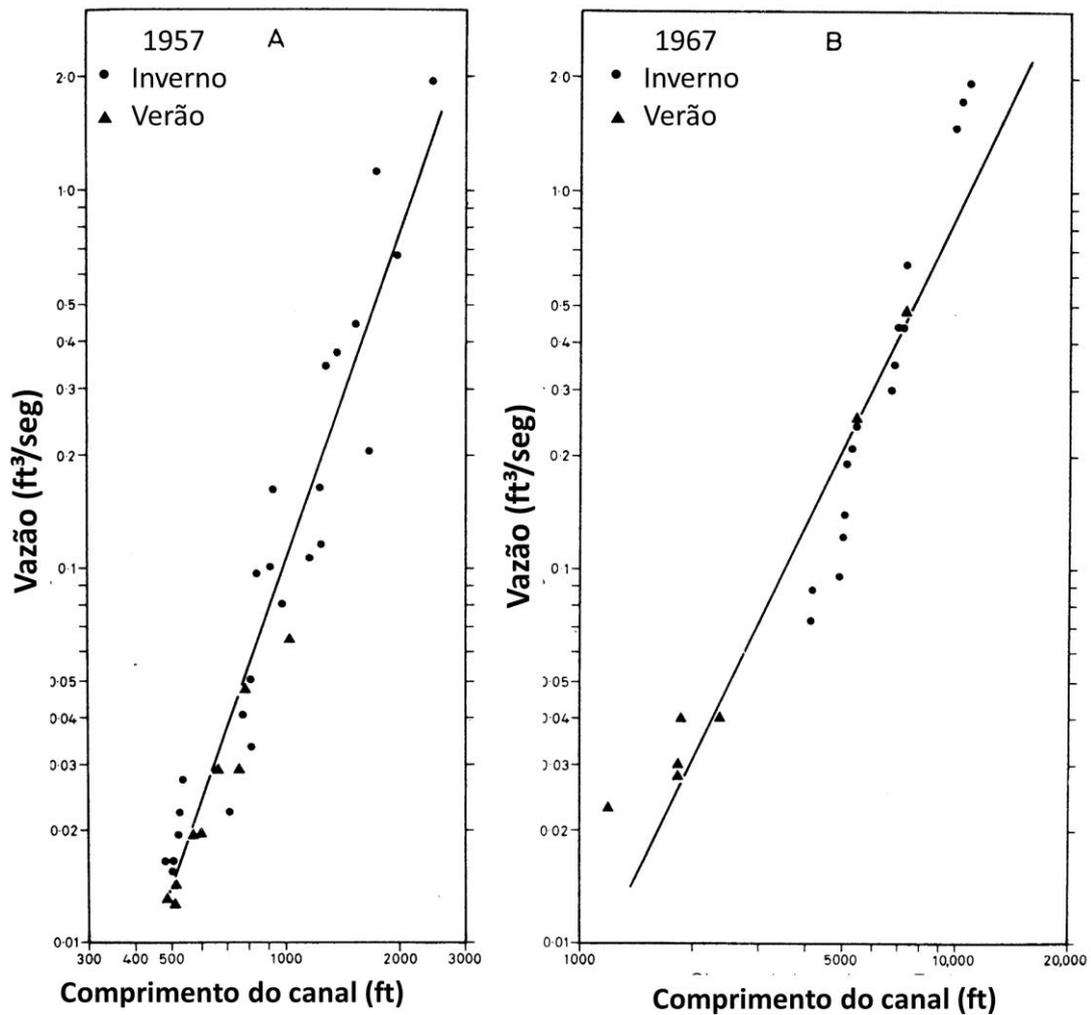


Figura 2: Gráfico representativo da relação entre a vazão dos canais e seus respectivos comprimentos. Adaptado de Gregory and Walling (1968). Ft: Pés, unidade de comprimento.

A relação entre as variáveis morfológicas e a densidade de drenagem foi extensivamente analisada por diversos pesquisadores. Vários estudos indicam a forte influência climática sobre a densidade de drenagem. Gregory e Gardiner (1975) mostraram que a densidade de drenagem amplamente aumenta com o índice de intensidade de precipitação, definida como a relação entre o máximo precipitado em 24h e a precipitação média anual. Outros autores como Montgomery e Dietrich (1989) também encontraram uma correlação positiva entre densidade de drenagem e

parâmetros relacionados à precipitação. Parâmetros como a declividade e o relevo são os principais fatores morfológicos controladores densidade de drenagem.

Na prática, a densidade de drenagem é dada pela seguinte fórmula: $Dd = \sum Cc / Ab$; onde:

- **Dd** = Densidade de drenagem (m/m²);
- $\sum Cc$ = Somatório dos comprimentos de todos os canais da bacia (m);
- **Ab** = Área da bacia (m²).

3.2.2. Gradiente Topográfico

O gradiente topográfico foi definido para cada uma das bacias através da relação da compartimentação topográfica, seguindo o método sugerido por Meis *et al.* (1982). É definido por um valor adimensional. A equação que dá origem ao valor de gradiente topográfico para cada uma das bacias é definida por: $G = \Delta Z / C$; onde:

- **G** = Gradiente Topográfico (Meis *et al.* 1982)
- ΔZ = Desnívelamento da bacia (m)
- **C** = Comprimento do eixo principal da bacia (m)

3.2.3. Índice de Eficiência de Drenagem

O índice tem as suas raízes ligadas às observações feitas por Coelho Netto A. L. e colaboradores, estudando o a dinâmica erosiva no domínio de colinas da bacia do rio Bananal (RJ/SP), mais especificamente na localidade denominada Bela Vista. Influenciados por parâmetros como a densidade de drenagem (Horton 1932 e 1945), além dos trabalhos de Anderson & Burt (1978), e Coelho Netto (1988) que mostravam o papel dos eixos de concavidades (*topographic hollows*) na concentração e direcionamento do fluxo e da umidade, além do Gradiente topográfico (Meis *et al.* 1982) (Figura 3). O Índice de Eficiência de drenagem, surgiu, pois mostrava que a densidade de concavidades multiplicada pelo gradiente da área de contribuição exerce um controle sobre a eficiência dos fluxos d'água subsuperficiais ao longo dos eixos das concavidades, o que levava ao aumento da poro-pressão a jusante e na face de exfiltração junto às bordas dos canais, de modo a ativar a erosão regressiva do canal (Coelho Netto; 1994).

Este índice se mostra como potencial revelador da dinâmica hidrológica das bacias de drenagem, sendo um indicador da permanência da água no sistema hidrográfico. O IED é definido por um valor adimensional, proporcional a capacidade do relevo em drenar as entradas de água na bacia; quanto maior for o gradiente topográfico e a densidade de drenagem, maior será o IED. Os valores do índice permitem que, dentro do universo amostral considerando, sejam realizadas análises comparativas entre as bacias estudadas indicando aquelas onde há maior ou menor permanência de água no sistema e a partir disso àquelas com potencial de fluxos erosivos de maiores e menores intensidades.

Ao trabalhar integradamente com parâmetros morfológicos reveladores do potencial erosivo e hidrodinâmico das bacias, como o gradiente e a densidade de drenagem de bacias de mesma ordem hierárquica, este índice proporciona uma leitura tridimensional da dinâmica hidrológica e erosiva da paisagem (Fernandes, 1998).

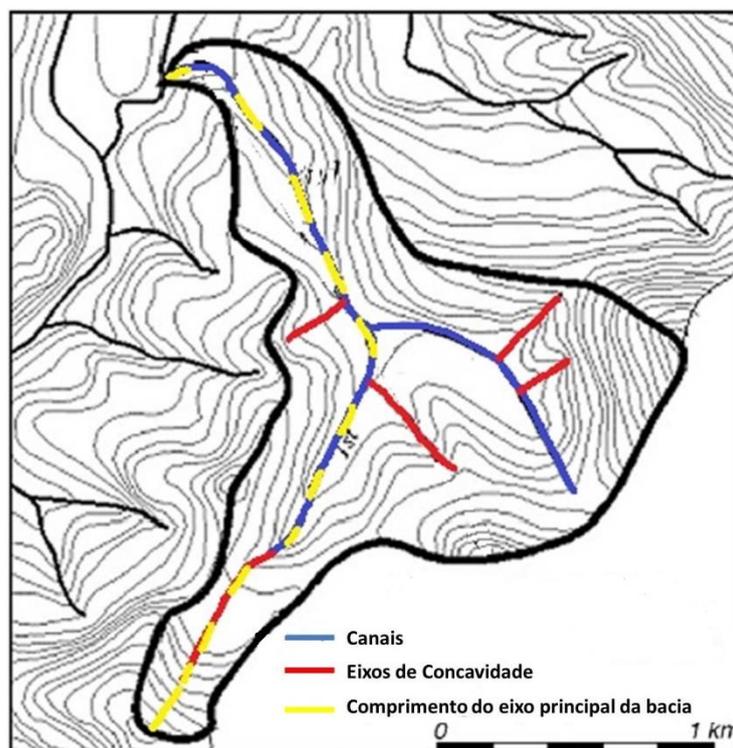


Figura 3: Representação das feições básicas de uma bacia de drenagem (de 2ª ordem) para o cálculo do IED. A linha azul representa a rede hidrográfica da bacia, a linha vermelha, os eixos de concavidades e a linha amarela, Comprimento do eixo principal da bacia. Fonte: Modificado de Coelho Netto *et.al.* 2007.

A equação abaixo ilustra os parâmetros básicos para o cálculo do índice:

$$IED = DDh \times G = \frac{\sum Cc + \sum Ch}{Ab} \times \frac{\Delta Z}{C}$$

- **IED** = Índice de eficiência de Drenagem
- **DDh** = Densidade hidrográfica (m/m²)
- **G** = Gradiente Topográfico
- **∑Cc** = Comprimento Total de Canais (m)
- **∑Ch** = Comprimento Total dos eixos de concavidades (m)
- **Ab** = Área da bacia (m²)
- **ΔZ** = Desnívelamento da bacia (m)
- **C** = Comprimento do eixo principal da bacia (m)

Porém, como exposto anteriormente, o índice depende da escala e da qualidade da restituição ou construção da rede drenagem. É importante frisar também, que a aplicação do índice é aconselhada para bacias de drenagem de primeira ou segunda ordem, que são níveis hierárquicos do sistema de drenagem dominados pelo comportamento dinâmico dos processos de encostas.

Já outro componente do índice, o gradiente topográfico foi definido para cada bacia através da relação da compartimentação topográfica, seguindo o método sugerido por Meis *et al.* (1982), e a mensuração da extensão do eixo maior da bacia ($Gt = \frac{\Delta Z}{L}$); onde **Δz** é definido como o desnívelamento topográfico da bacia e **L** é a extensão do eixo maior da bacia.

A criação deste índice pode ser subsidiada pelo que foi colocado por Chorley; 1972. Este autor fala que os geomorfólogos são propensos a desenvolver índices ou coeficientes para mensurar alguns de seus conceitos mais complicados. Quando dois parâmetros parecem estar relacionados a um conceito particular, eles são multiplicados. Segundo este mesmo autor, a construção desses índices são a forma mais primitiva de estatística descritiva: elas envolvem *a priori*, suposições simples das relações entre as variáveis.

A associação deste índice com a ocorrência de movimentos de massa pode estar ligada à conhecida relação entre esses processos erosivos com a dinâmica evolutiva das redes de drenagem, em suas respectivas bacias, visto que os

deslizamentos são importantes fatores de expansão da rede de drenagem, através do mecanismo de erosão regressiva ou remontante (*headward erosion*) e incisão do canal, gerando instabilização, e conseqüentemente o movimento de massa. Em outras palavras, o acréscimo da eficiência de drenagem, proporciona condições favoráveis à incisão do canal e o crescimento remontante ao longo das cabeceiras de drenagem, de modo a desencadear deslizamentos por mecanismos de *feedback* positivo, tal como indicado por e Coelho Neto (2003).

Tsukamoto *et al.* (1982; 1987); estudando a geração de debri-flows no Japão, mostrou que mais de 80% dos casos situavam-se em encostas côncavas e não canalizadas, denominadas “zero-order basin”.

Dentro deste ponto de vista, como este índice se mostrou um potencial revelador da dinâmica hidro-erosiva das bacias de drenagem, acredita-se como hipótese, que o índice (categorizado em classes), possa estar relacionado com a predisposição à ocorrência de diferentes tipos de movimentos de massa na bacia. Nesse sentido, supõe-se que bacias com IED elevado tendem a uma maior facilidade para o escoamento (superficial e sub-superficial raso) e canalizado, reduzindo a estocagem. Esses fatores tendem a uma melhor e mais eficaz drenagem superficial e subsuperficial da água e sedimentos, proporcionando à bacia, uma resposta hidroerosiva relacionada à movimentos do tipo *debriflows*, ou fluxos detríticos nos fundos de vale (*debriflows*). Em compensação, bacias com valores de IED inferiores, tendem a ter uma resposta hidrológica mais lenta, ou seja tem um superior tempo de residência e retenção da água no seu interior, por isso podem estar mais predispostas à ocorrência de movimentos do tipo translacional raso. Toda essa suposição é amparada pelo descrito por Dietrich *et.al.* (1986) e Montgomery *and* Dietrich (1989) que falam que os deslizamentos são importantes mecanismos de iniciação e evolução dos sistemas de drenagem, através do mecanismo de erosão regressiva ou remontante (*headward erosion*) e incisão do canal de drenagem, que gera instabilização e conseqüentemente o movimento de massa.

3.3. Tipologias de movimentos de massa

Movimentos de massa são fenômenos naturais da dinâmica da evolução terrestre, principalmente em regiões montanhosas, que podem ser potencializados de acordo com a combinação de elementos ou de alguns fatores solitários. Estes movimentos caracterizam-se pela dissipação de significativa quantidade de energia e pelo deslocamento de grandes quantidades de materiais. Diversos fatores naturais também podem potencializar a ocorrência deste tipo de evento. A geologia, o relevo, a vegetação e o clima são os principais fatores, além da interferência antrópica ou fenômenos naturais, como a movimentação das placas tectônicas gerando terremotos, tsunamis e vulcanismo, de origem interna da terra, e outros de origem externa, a dinâmica atmosférica podendo também causar inundações, secas, entre outros (Guimarães *et al.*, 2008). A combinação destes fatores com intensas intervenções antrópicas termina desencadeando desequilíbrios ambientais, induzindo assim os deslizamentos, que podem vir a causar prejuízos ou danos pessoais ou materiais.

Escorregamento (ou deslizamento) é o movimento coletivo de massa e/ou material sólido encosta abaixo, como solos, rochas e vegetação, sob a influência direta da gravidade (SELBY, 1993). Dentre os diversos tipos de movimentos de massa, eles podem ser classificados principalmente quanto à cinemática do movimento (velocidade e direção), o tipo de material (solo, rocha, detritos, etc.), a geometria (tamanho e forma das massas) e o conteúdo de água (Amaral, 1996). A classificação mais aceita atualmente, que é a de Varnes (1978), que utiliza como critério principal na sua classificação o tipo de movimento e, em segundo lugar, o tipo de material. Propõe cinco principais tipos de movimento: quedas (*falls*), tombamentos (*topples*), deslizamentos (*slides*), espalhamentos (*spreads*), escoamentos ou corridas (*flows*); este último subdividido em detritos e terra. No Brasil, o principal fator desencadeador dos movimentos de massa, são as chuvas de grande intensidade e duração. A saturação do solo é uma das principais causas de deslizamentos de terra.

A Figura 4, ilustra os tipos de movimentos de massa, em relação à quantidade ou presença de água, além da sua velocidade, categorizando-os.

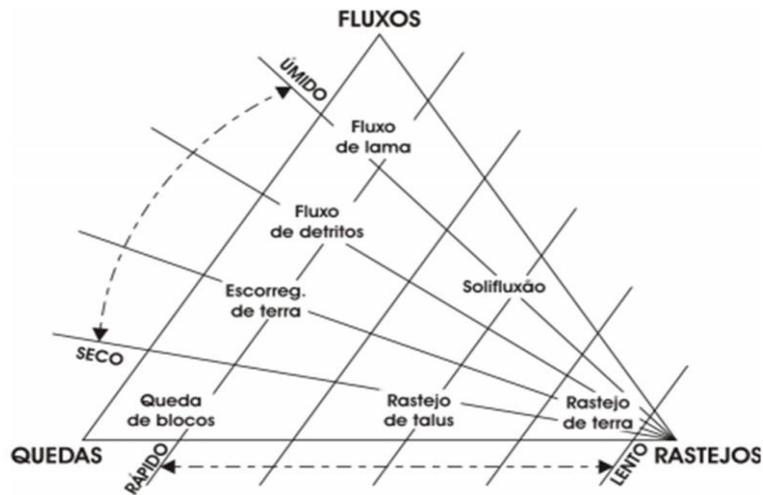


Figura 4: Classificação dos movimentos de massa. Fonte: KOBAYAMA, M. *et al.* (2006).

Augusto Filho (1992) apresenta uma classificação baseada em Varnes (1978), que agrupa deslizamentos mais encontrados no Brasil, assim como as suas principais características (tabela 02). Segundo Tominaga *et al.* (2009) os deslizamentos translacionais são formados através de superfícies de ruptura planar, normalmente associadas à heterogeneidade dos solos e rochas, sendo os mais frequentes em todo o Brasil, como também nas áreas de estudos propostas. Vale ressaltar a ocorrência de uma significativa quantidade de deslizamentos rotacionais, assim como as Corridas (*Debrisflow*) principelmente nas bacias do Córrego Dantas, assim como nas bacias situadas no Maciço da Tijuca (Quitite e Papagaio).

Tabela 2: Classificação das principais tipologias de movimentos de massa e suas características. Adaptado de Augusto Filho, 1992.

Tipo de movimento	Características do Movimento – Materiais - Geometria
Rastejo (<i>creep</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamento (internos) • Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com profundidade • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • Solo, depósitos, rocha alterada / fraturada • Geometria definida
Escorregamentos Translacionais (<i>slide</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externos) • Velocidades médias (km/h) a altas (m/s) • Pequenos a grandes volumes de material

Quedas (<i>falls</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Geometria e materiais variáveis • Planares em solos pouco espessos e solos e rochas com um plano de fraqueza • Circulares em solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas • Em cunha em solos e rochas com dois planos de fraqueza • Sem planos de deslocamento • Movimentos em queda ou em plano inclinado • Velocidades muito altas (vários m/s) • Material rochoso • Pequenos a médios volumes • Geometria variável: lasca, placas e blocos • Rolamento de matacão • Tombamento
Corridas (<i>flow</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas a massa instável) • Movimento semelhante ao de líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo das drenagens • Velocidades de médias a altas • Mobilização de solo, rocha, detritos e água. • Grandes volumes de material • Extenso raio de alcance, inclusive em áreas planas

Os escorregamentos translacionais são os mais frequentes entre todos os tipos de movimentos de massa. A figura 5, ilustra características relacionadas à este tipo de movimento de massa. Este tipo de feição erosiva forma superfícies de ruptura planas, normalmente associadas às heterogeneidades dos solos e rochas que representam descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas derivadas de processos geológicos, geomorfológicos ou pedológicos (Tominaga *et al.* 2009). A morfologia dos escorregamentos translacionais caracteriza-se por serem rasos, com o plano de ruptura, variando de centímetros a alguns poucos metros de profundidade. Ocorrem em encostas de variadas declividades e podem atingir centenas ou até milhares de metros (Fernandes & Amaral, 1996). Os materiais transportados pelos escorregamentos translacionais podem ser constituídos de rocha, de solo e de solo e rocha. Esses movimentos, em geral, ocorrem durante ou logo após ou durante períodos de chuvas intensas. É comum que a superfície de ruptura coincida com a

interface solo-rocha, a qual representa uma importante descontinuidade mecânica e hidrológica. A ação da água nestes movimentos é mais superficial e as rupturas ocorrem em curto espaço de tempo, devido ao rápido aumento da umidade durante eventos pluviométricos de alta intensidade (Fernandes & Amaral, 1996).

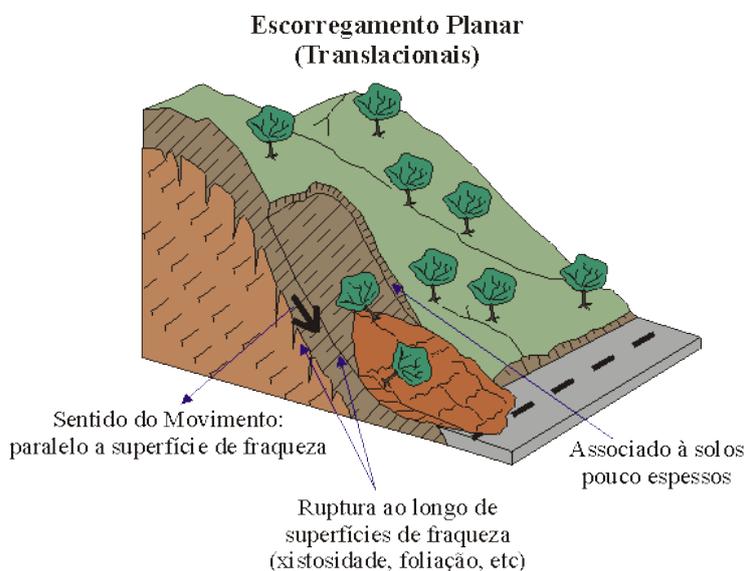


Figura 5: Ilustração representativa de um deslizamento translacional. Fonte:
<http://avaliacaoriscosbc.blogspot.com.br/2013/03/tipos-de-escorregamentos.html>

Segundo Cenderelli *et al.* (1998) os movimentos de massa classificados como debrisflows, tem a característica de movimentos de rápido e volumoso fluxo de materiais, que tem início em eixos de concavidades íngremes, e se propagam encosta abaixo ao longo dos canais. Esse material que é carregado ao longo dos canais é depositado nas áreas mais planas, de baixa declividade. Esse tipo de movimento é considerado um importante agente geomórfico de regiões montanhosas, removendo os sedimentos de canais e encostas íngremes e assim alterando a sua morfologia. Este mesmo autor cita 03 principais partes da característica morfológica deste tipo de movimento de massa. A parte superior, a denominada “*headzone*”; logo abaixo, existe a zona de transporte/erosão, que muitas vezes pode ser o próprio canal de drenagem, e finalmente uma parte deposicional, que é situada na zona de menor declividade.

Como citado anteriormente, segundo Dietrich *et.al.* (1986); Montgomery and Dietrich (1989) os movimentos de massa são considerados importantes mecanismos de iniciação e expansão dos sistemas de drenagem. Tanto o movimento de iniciação ou

crescimento das redes de drenagem, se dão ao longo dos eixos de concavidades principais pelos mecanismos de erosão regressiva ou remontante (*headward erosion*), gerando instabilização e conseqüentemente o deslizamento (*feedback* positivos).

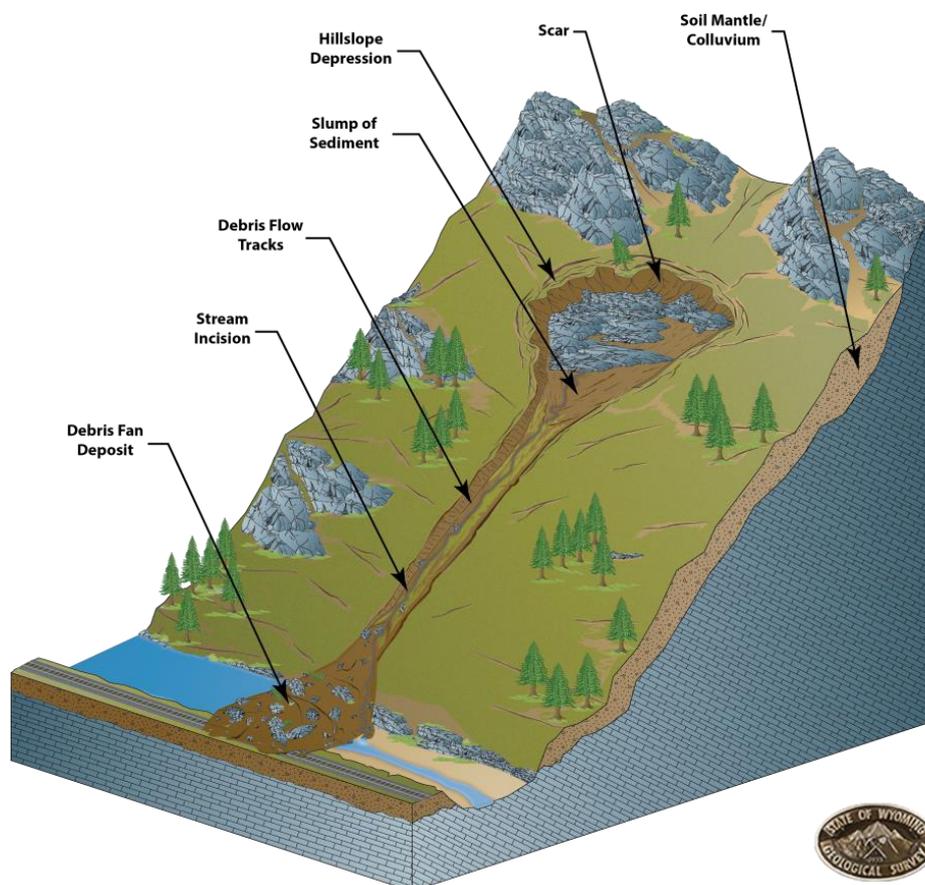


Figura 6: Ilustração de um movimento de massa classificado como debrisflows. Fonte: <http://www.wsgs.wyo.gov/>. Acesso em Janeiro de 2015.

3.4. Métodos estatísticos:

Apesar do levantamento dos trabalhos anteriores que usavam o índice (IED) mostrar diferenças significativas relacionadas às escalas de aplicação, metodologia de aplicação e cálculo, na prática, outro complicador para a comparação dos estudos, esta relacionado com a abordagem estatística usada em cada um deles, que foi sempre muito particular a cada um, não possuindo um padrão. Todas essas variações metodológicas sempre geravam uma grande diferença em relação à amplitude dos valores de IED encontrados, impossibilitando a equiparação entre as áreas e estudos prévios.

Como os valores resultantes do cálculo do IED das bacias geraria uma grande amplitude de dados que devem ser agrupados em classes para a definição qualitativas (pré-estipuladas como Baixo, Médio, Alto e Muito Alto), se fez necessário a melhor compreensão dos métodos estatísticos disponíveis para o uso no software de trabalho, visto que o uso de cada um destes métodos gera distintas classificações estatísticas dos valores de IED encontrados.

Dentre os métodos disponíveis, temos: “*Equal interval*”; “*Defined interval*”; “*Quantile*”; “*Natural Breaks (Jenks)*”; “*Geometrical interval*” e “*Standard deviation*”. A figura 07 representa todas as ferramentas estatísticas para este tipo de análise presentes no software *ArcGis10.1*®.

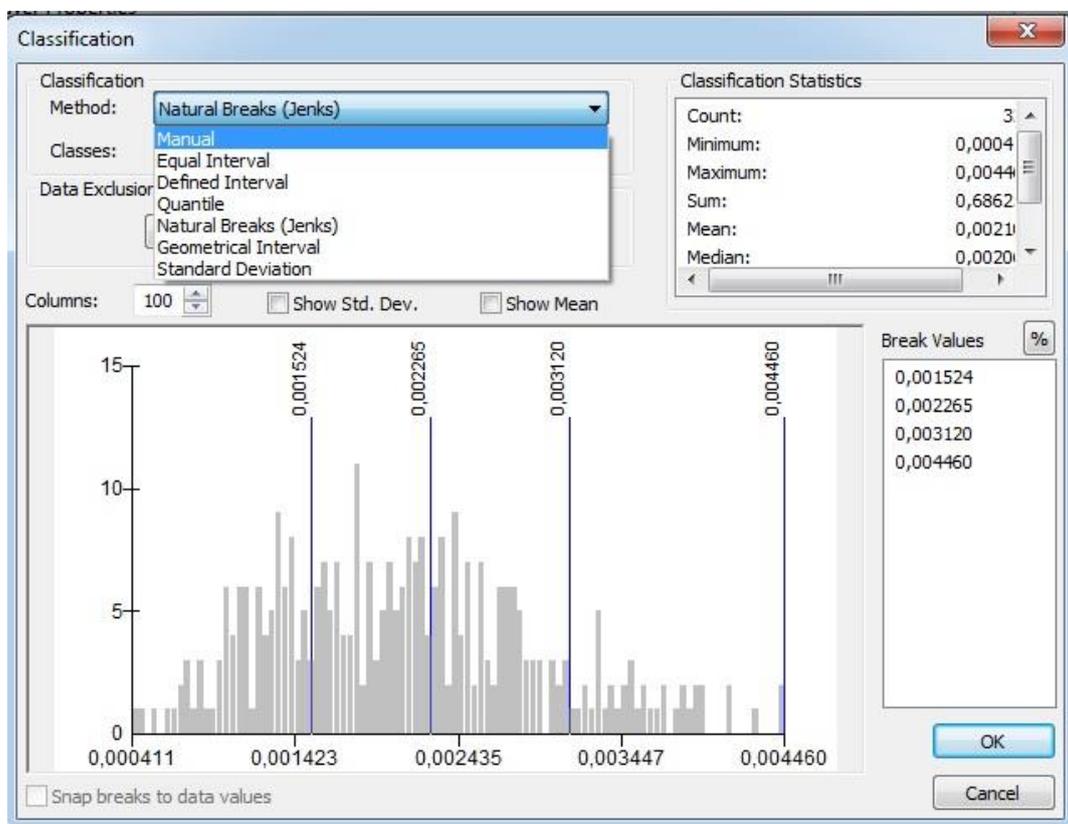


Figura 7: Métodos estatísticos disponíveis para classificar um conjunto de dados no ArcGis10.1®.

As principais características inerentes a cada um dos métodos, pode ser observada abaixo (Arcgis Help 10.1):

- ***Equal interval*** – Intervalos Iguais:

Esta metodologia tem como característica básica, dividir em uma faixa fixa de valores ou intervalos de iguais tamanhos. Nesse sentido, por exemplo, se tivermos um amplitude de valores variando de 0 à 300, e estipularmos 03 classes principais; esta ferramenta determinará automaticamente três classes com intervalos. Sendo elas: 0-100, 101-200, 201-300.

Esta ferramenta é mais indicada para intervalos de dados familiares, tais como percentagens e temperatura.

- ***Defined interval – Intervalos Definidos***

Esta ferramenta permite a especificação de um tamanho ou amplitude de intervalo para cada classe. Esta metodologia é aconselhada quando se possui grande conhecimento no seu intervalo geral de dados, ou quando as amplitudes das classes já são previamente estipuladas.

- ***Quantile - Quantis***

Esta classificação é melhor adequada quando os dados estão linearmente distribuídos, atribuindo assim as mesmas quantidades de dados para cada classe. Por exemplo; se trabalharmos com 100 bacias e quatro classes, esta ferramenta dividiria em quatro classes, cada uma contendo valores de 25 bacias.

O fato de o conjunto amostral ser agrupado em números fixos em cada classe, o produto final muitas vezes pode ser inadequado. Isto porque, características similares podem ser colocadas em classes distintas, ou valores muito diferentes podem ser colocados na mesma classe, porém esta distorção pode ser minimizada com o aumentando do número de classes.

- ***Natural Breaks (Jenks):***

Esta classificação, baseada no algoritmo criado por Jenks (1967); é um método de agrupamento de dados projetado para determinar o melhor arranjo de valores em diferentes classes, e tem a característica de basear a sua divisão em agrupamentos naturais inerentes ao conjunto de dados apresentados. Portanto, esta metodologia estatística, permite identificar melhor grupos de valores semelhantes, o que tende a maximizar a variância entre as diferentes classes e reduzir a variância intra-classe.

- ***Geometrical interval* – Intervalos Geométricos:**

O esquema de classificação intervalos geométricos, cria classes com base no seu coeficiente geométrico. Este algoritmo tem características semelhantes aos dois últimos citados, pois intervalos de classes com aproximadamente o mesmo número de valores, além de valores muito parecidos agrupados em uma única classe, diferenciando-os de valores distintos.

- ***Standard deviation* – Desvio Padrão:**

Esta metodologia de classificação é baseada em um valor estatístico conhecido, o desvio padrão. Por este motivo, tem a característica de mostrar o quanto um valor de atributo varia da média. Os intervalos de classes são criados a partir da soma ou subtração do desvio padrão do valor da média da amostra. Normalmente, são considerados intervalos de 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, ou $\frac{1}{4}$ desvios-padrão.

Dentre as metodologias estatísticas acima descritas, optou-se por escolher a *Natural Breaks*, pois este algoritmo estatístico tem grande capacidade de agrupar os valores de IED calculados em classes com maiores diferenças entre si. A não opção de usar os outros métodos é justificada pela ausência de trabalhos que apontassem valores do índice que pudessem servir como guia, ou padrão para a definição de valores limiares para cada uma das classes.

3.4.1. Exclusão de valores anômalos: O gráfico Boxplot e a definição de outliers

Um conjunto de amostras pode ser caracterizado e representado estatisticamente de diversas formas e ou funções matemáticas. Dentre as principais formas de se caracterizar um conjunto de dados, é possível dar destaques à média, mediana e o desvio padrão. Porém, principalmente em conjunto de dados muito grandes ou com grande amplitude de valores, muitas vezes os valores máximos e mínimos, além dos seus valores próximos, são considerados valores anormais, extremos ou contaminantes. Tanto na literatura internacional, quanto na nacional este termo é mais comumente chamado de *outlier*.

Normalmente, a preocupação com esse tipo de dado, deve ser uma das primeiras preocupações ao se analisar um conjunto de dados. Em geral, as principais causas que levam ao aparecimento de *outliers* são: erros de medição ou erros de execução, apesar de representarem muitas vezes a variabilidade inerente dos elementos do seu conjunto de dados.

A definição dos valores considerados *outliers*, é realizada através de uma equação derivada dos cálculos necessários para a geração do gráfico *Boxplot* (figura 08). O *boxplot* é um gráfico que possibilita representar a distribuição de um conjunto de dados com base em alguns de seus parâmetros descritivos (mediana e os quartis). Ele permite avaliar a simetria/homogeneidade dos dados e a sua dispersão. Além disso, através da interpretação desse gráfico, é possível estabelecer valores de tendência centrais, valores máximos e mínimos, assim como valores atípicos, quando existentes. Quando a caixa representada (box) é muito pequena, significa que os dados estão muito concentrados em torno da mediana, e o oposto (caixa é grande), significa uma grande heterogeneidade dos do conjunto de dados.

A equação usada para estabelecer os valores atípicos, deve seguir os seguintes passos: inicialmente são calculados a mediana, o quartil inferior ($Q1$) e o quartil superior ($Q3$). A partir da determinação desses valores, subtrai-se o quartil superior do quartil inferior, para a definição do intervalo interquartil (L). Os valores que forem superiores à $Q3+1,5L$ e inferiores à $Q1-1,5L$, são considerados outliers sendo assim excluídos das análises.

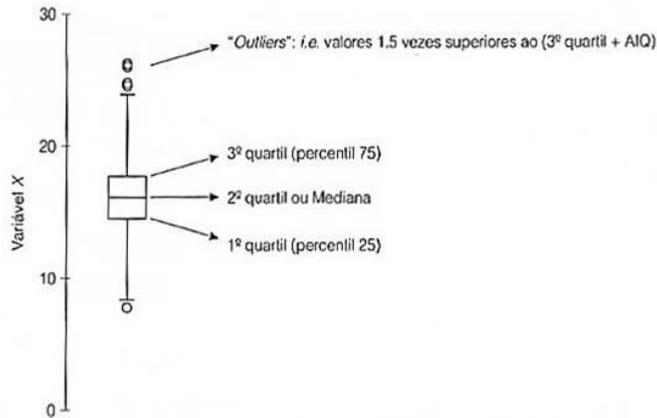


Figura 8: O gráfico Boxplot. Adaptado de: Moroco (2003)

3.5. Análises cartográficas levando em consideração a superfície do relevo

A morfologia da paisagem terrestre é produto da ação de processos endógenos e exógenos em diferentes escalas temporais, moldando a superfície terrestre. O resultado desses processos expressam uma realidade tridimensional à paisagem e mais especificamente às encostas. Segundo Coelho Netto (1995), à compreensão da dinâmica hidrológica e erosiva de uma paisagem, tem seu melhor entendimento através de uma visão tridimensional, que se faz a partir de uma leitura integrada de seus componentes dentro de um nível hierárquico de uma bacia de drenagem, que é a unidade geomorfológica fundamental para este tipo de análise.

Assim como proposto por Fernandes (2004); uma grande discussão sobre a modelagem de paisagens é a não consideração da dimensionalidade (principalmente altimétrica) dos dados e informações, os quais são geralmente avaliados a partir de observações em superfície planimétrica (projetada) e não em superfície modelada (levando em consideração a rugosidade do relevo). Isto pode mascarar a interpretação de algumas variáveis geomorfológicas, principalmente em paisagens com relevo acidentado, podendo ocorrer a subestimação de mensurações de área e distância dos elementos que compõem a paisagem. As figuras 09 e 10 evidenciam as diferenças entre o que é chamado de superfície planimétrica e modelada e como estas podem influenciar na obtenção de índices geomorfológicos.

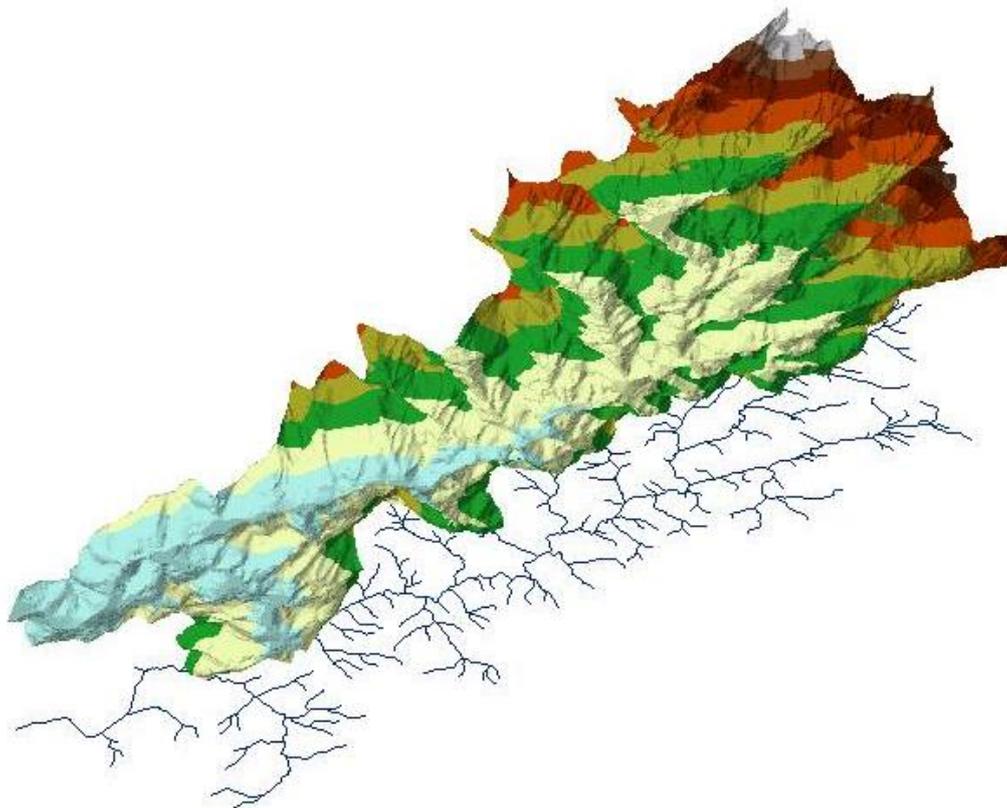
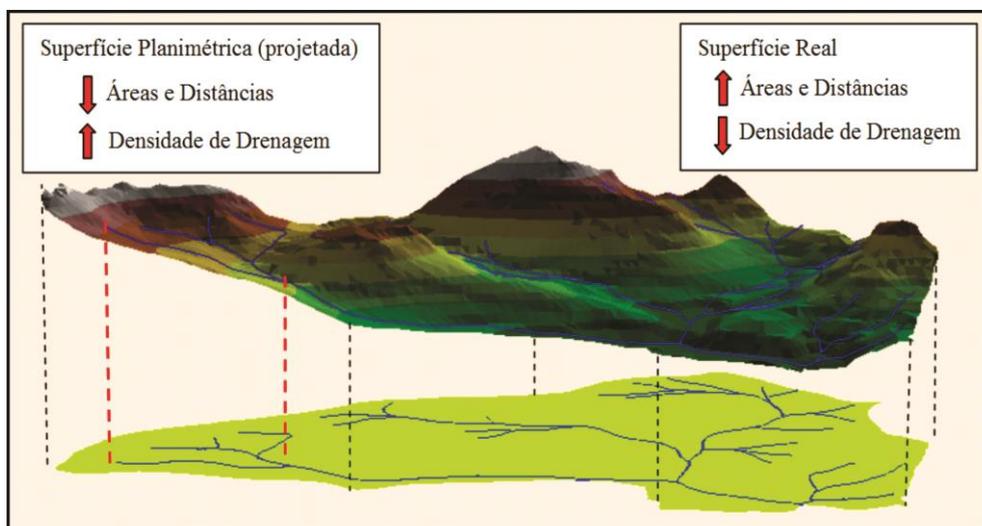


Figura 9: Representação do relevo real, obtido a partir de dados na escala 1:5000, e a hidrografia, representada sobre um plano. Bacia do Córrego Dantas – RJ.



	Superfície Planimétrica	Superfície Real	Diferença	Diferença (%)
Comprimento dos Canais (km)	12,776	13,342	0,566	4,24
Área (km ²)	3,353	3,783	0,43	11,36
Densidade de Drenagem (km/km ²)	3,810	3,526	0,283	7,461

Figura 10: Diferenciação de observações em superfície modelada e planimétrica no cálculo de densidade de drenagem na bacia do Alto Rio da Cachoeira (RJ) Fonte: Fernandes (2004).

Figura 11: Representação do relevo real, obtido a partir de dados na escala 1:5000, e a hidrografia, representada sobre um plano. Bacia do Córrego Dantas – RJ.

Fernandes *et al.* (2004 e 2012) e Vieira *et al.* (2010), apontaram que o uso de superfície planimétrica causa uma significativa diferença em relação a adoção da superfície modelada. O trabalho de Fernandes *et al.* (2012) mostra relevantes diferenças ao se comparar a utilização de uma superfície ou de outra. Essas principais diferenças se deram em índices morfométricos como o comprimento de drenagem, área de bacias, densidade de drenagem e o IED. Neste mesmo trabalho, avaliando o comportamento morfométrico de bacias de segunda ordem no maciço da Tijuca, o autor apontara que o comprimento total dos canais de drenagem apresentou uma variação de 4,24%, foi relatado também um valor de 11,36% de diferença da área total das bacias e uma alteração de mais de 7% na densidade de drenagem. Como por sua vez o IED, que é calculado em cima dos dados supracitados, este índice apresentou uma variação que chegou até 27% em algumas bacias. Tendo em vista essas alterações causadas pelo uso da superfície planimétrica ou modelada, propõe-se uma discussão baseada na adoção de parâmetros sob as diferentes abordagens.

Como a aplicação do Índice (IED); proposto por Coelho Netto *et al.* (2007), depende justamente de parâmetros como comprimentos dos canais, dos eixos de concavidades e da área da bacia, pretende-se incluir nas análises do presente trabalho, as diferenças de cálculo do índice e seus componentes, quando calculados sobre a metodologia de Superfície planimétrica ou Modelada.

4. ÁREAS DE ESTUDO

Como exposto anteriormente, a análise do Índice de Eficiência de Drenagem e também a relação com a ocorrência de movimentos de massa em regiões montanhosas, exigiu a escolha de múltiplas áreas de estudo, a fim de explorar uma grande amplitude amostral de bacias hidrográficas de diferentes ordens, onde o índice pudesse ser aplicado e, portanto gerar uma maior consistência nos resultados obtidos. Como descrito na justificativa do trabalho, procurou-se áreas com a preferência da existência de estudos prévios onde esse índice já tivesse sido aplicado, além de áreas que possuíssem bases cartográficas com certo nível de detalhe, que permitisse a aplicação do índice, assim como proposto na sua origem (Coelho Netto *et al.* 2007). **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, mostra a localização das 04 áreas de estudos trabalhadas.



Figura 12: Localização das quatro áreas de estudo.

Dentro dessas principais exigências, foram escolhidas às seguintes áreas de estudo:

- 4.1. Bacia do Córrego Dantas:** Bacia hidrográfica de 5º ordem, onde ocorreram inúmeros movimentos de massa, que geraram diversos prejuízos econômicos, materiais e humanos com o evento extremo de janeiro de 2011. Esta bacia, tem cerca de 53 km² e está localizada na região serrana do Rio de Janeiro, mais especificamente no município de Nova Friburgo.
- 4.2. Bacias do Quitite e Papagaio:** Duas pequenas bacias hidrográficas inseridas no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. Ambas são bacias de 3º ordem, que drenam a porção oeste do referido maciço em direção à baixada e lagoa de Jacarepaguá. Assim como a bacia do Córrego Dantas em 2011, essa região foi drasticamente afetada pelas chuvas que ocorreram no ano de 1996 na cidade do Rio de Janeiro, gerando dezenas de movimentos de massa em todo o maciço. Posteriormente a esse evento climático estas bacias foram escolhidas por alguns estudos do Geoheco/UFRJ como áreas laboratório, gerando uma ampla riqueza de conhecimento do evento e da região, principalmente por Dias (2011) e Coelho Netto (1996 e 2007).
- 4.3. Área de contribuição que drena para a Região Central de Angra dos Reis:** Formada por encostas, amplamente povoadas, que drenam para área central do Município de Angra dos Reis, RJ. Região montanhosa, formada pelo encontro da escarpa rochosa da Serra do Mar, com o Oceano Atlântico, onde se encontra o Centro do município e é cortada pela BR-101. Assim como as demais áreas de estudo, historicamente é afetada por inúmeros deslizamentos, sendo o mais expressivo em dezembro de 2010 (segundo LACERDA *et al.* 2012) onde houve grandes prejuízos e perdas econômicas, materiais e humanas. Apesar da grande recorrência de movimentos de massa na região, não existe uma base de dados (inventário de cicatrizes) que permita a relação dos índices de eficiência de drenagem com os mesmos.
- 4.4. Área de contribuição que drena para a Usina Nuclear de Angra dos Reis:** Região que drena as águas superficiais da vertente sul da Serra do Mar para a área da usina Nuclear de Angra dos Reis (CNAAA). Com 2,58 km², representa a menor das áreas de estudos em questão. Porém a característica montanhosa e a presença de dados cartográficos satisfatórios, e a intenção de aumento do número

amostral de bacias, justificam a escolha desta área a fim de critérios comparativos.

4.1. Bacia do Córrego Dantas - Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro

A Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro é uma das áreas de maior precipitação média anual do litoral brasileiro, podendo superar o valor de 2500 mm de precipitação anual nas áreas de maior pluviosidade (ZEE-RJ; 2009). Esta região normalmente recebe as frentes úmidas de sudeste e quando no verão, podem ocasionar chuvas intensas e concentradas em curtos períodos, intercalados por chuvas mais prolongadas de chuvas, porém menos intensas, o que promove elevada umidade antecedente, pré-requisito fundamental para desestabilização das encostas e ocorrência de deslizamentos.

Segundo este mesmo relatório (ZEE-RJ; 2009), a análise da série histórica da estação Galdinópolis, localizada no município de Nova Friburgo para o intervalo que compreende 57 anos, representados na Figura 13 os valores de precipitação média mensal apontaram longos e bem definidos períodos chuvosos e secos, visto pelo alto valor da precipitação média dos meses de março e novembro, que superaram 230 mm. A mesma situação ocorreu para o período seco que se estende entre os meses de abril e setembro.

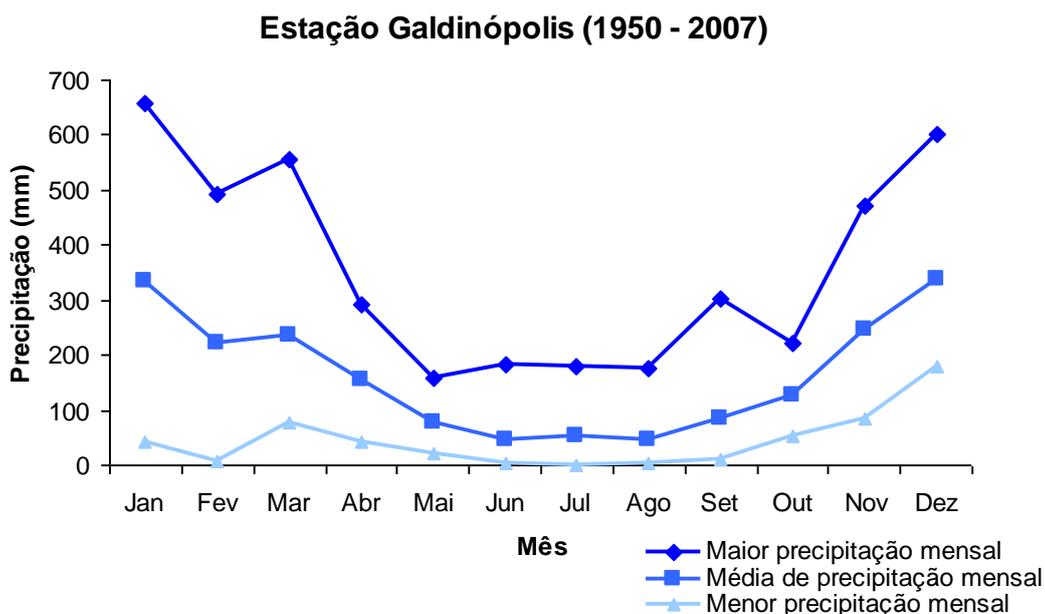


Figura 13: Precipitação média mensal e máxima e mínima de chuvas acumuladas mensais da estação Galdinópolis para o período de 1943 a 2007. A estação localiza-se no alto curso do rio Macaé, no município de Nova Friburgo. Fonte: GEOHECO/ SEA; 2009

4.1.1. Características Geomorfológicas e Geológicas

A região serrana do estado do Rio de Janeiro está localizada no reverso da escarpa da Serra do Mar, onde se observam algumas zonas planálticas, de relevo montanhoso, como também o planalto da Bocaina e a serra do Desengano. A escarpa da Serra do Mar atravessa praticamente todo o território do Estado do Rio de Janeiro numa direção WSW-ENE, acompanhando o trend estrutural do substrato geológico Silva (2013). Segundo DANTAS *et al.* (2000), esta grande feição geomorfológica estende-se desde o litoral norte do Estado de São Paulo até o Norte Fluminense, onde está inserida a cidade de Nova Friburgo, mais especificamente na Serra dos Órgãos, formada por um grande batólito granítico de rochas magmáticas intrusivas (MORETT e MAYER, 2003). Dantas *et al.* (2001), caracteriza estas escarpas serranas pela presença de solos pouco espessos e bastante lixiviados, devido a um clima bastante úmido.

Segundo Coelho Netto *et al.*, 2013, a região tem altitudes médias em torno de 1.000m. A sede do município está localizada a 846 m de altitude e o ponto mais elevado da serra do Mar, denominado Pico Maior, encontra-se neste mesmo município, a 2.316 m, configurando uma elevada amplitude de relevo.

As áreas de escarpas rochosas da região são caracterizadas pela presença de afloramentos rochosos e encostas bastante íngremes, de natureza granito-gnáissica.

Estas mesmas encostas tem cobertura de solos coluviais e depósito de talus, ricos em blocos na sua base, oriundos dos deslizamentos, que configuram um natural processo recorrente na região Silva (2013). Volotão (2007) descreve o acúmulo de sedimentos nos grandes vales, sendo frutos do acentuado escoamento superficial da região, devido a característica Silto-argilosa desses terrenos.

Este mesmo autor descreve a influência do sistema principal de falhamento SW-NE no condicionamento dos canais de primeira ordem da área, sendo apenas as formas secundárias de dissecação a sofrerem influência das variações litológicas. Volotão (2007). Segundo este mesmo autor, a percolação da água subterrânea ao longo das discontinuidades acentua os processos intempéricos, em seus planos e faixas de influência, fazendo com que, a morfologia do terreno reflita o desenho da malha hidrográfica. Volotão (2007); *apud* Silva (2013).

Segundo o relatório (ZEE-RJ; 2009), a região de interesse, se encontra basicamente sobreposta a uma área predominantemente composta por 03 classes de materiais geológicos: granitos pós tectônicos, granitos sin tectônicos e migmatitos. Os Granitos pós-tectônicos, conferem a formação de morros isolados na paisagem. Possui granito rosado a claro e muito homogêneo, o que faz com que o intemperismo seja concentrado nas estruturas tectônicas, favorecendo a formação de blocos. Os granitos Sin-Tectônicos conferem um relevo de colinas suavemente onduladas, que são dissecadas por canais em vales fluviais. Já os migmatitos, assim como os charnockitos, são rochas metamórficas de alto grau com protólitos metamórficos e/ou sedimentares que entraram em fusão parcial pelo contato com corpos intrusivos graníticos pós-tectônicos (figura 14).

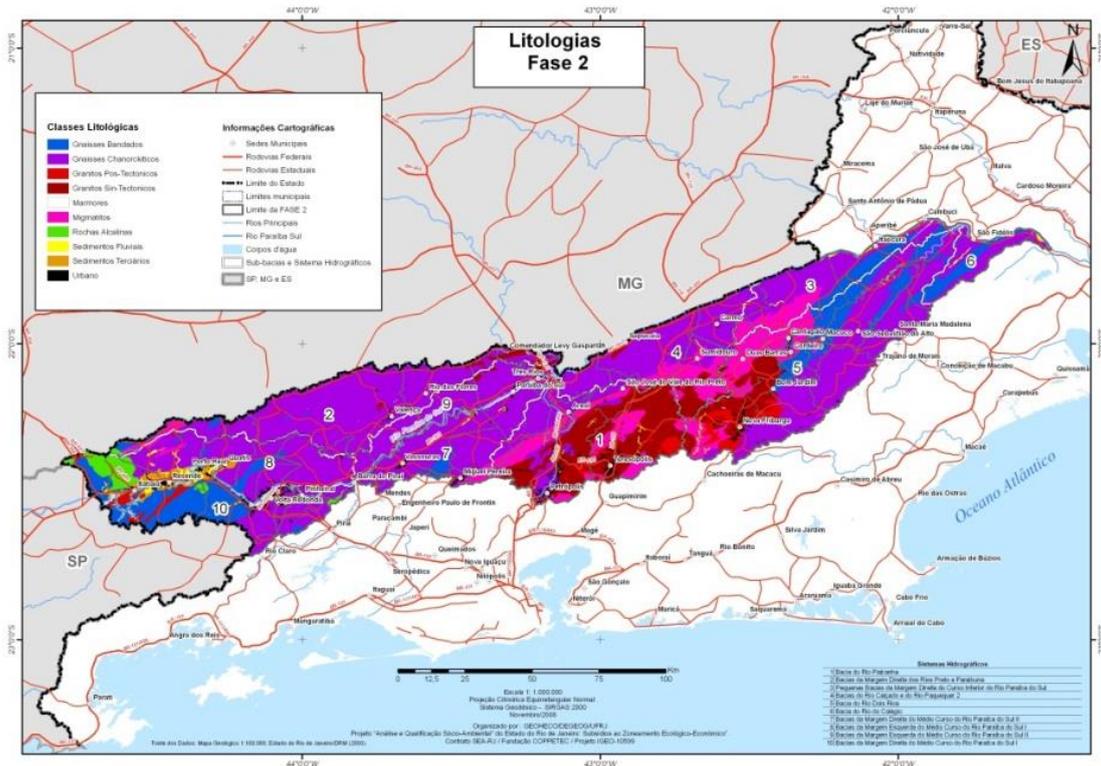


Figura 14: Mapa litológico abrangendo parte da área de estudo. Fonte: GEOHECO/ SEA; 2009.

Como brevemente descrito acima, abacia do Córrego Dantas, está inserida na região rural do município de Nova Friburgo, com área total de cerca de 932 km² e localizado a cerca de 140 km da capital, Rio de Janeiro. Juntamente com outros 13 municípios, compõe a Região Serrana do estado, área onde. A população total do município de Nova Friburgo é estimada em 182 mil habitantes, entre moradores de áreas urbanas (87%) e áreas rurais (13%) (IBGE, 2010) (figura 15). A bacia que drena o Córrego Dantas tem uma área de cerca de 53 Km² (figura 19). Em geral, a bacia possui uma cobertura prioritária de vegetação arbustiva e gramínea, com ampla ocupação urbana na porção nordeste da bacia, próximo à exutória da bacia.

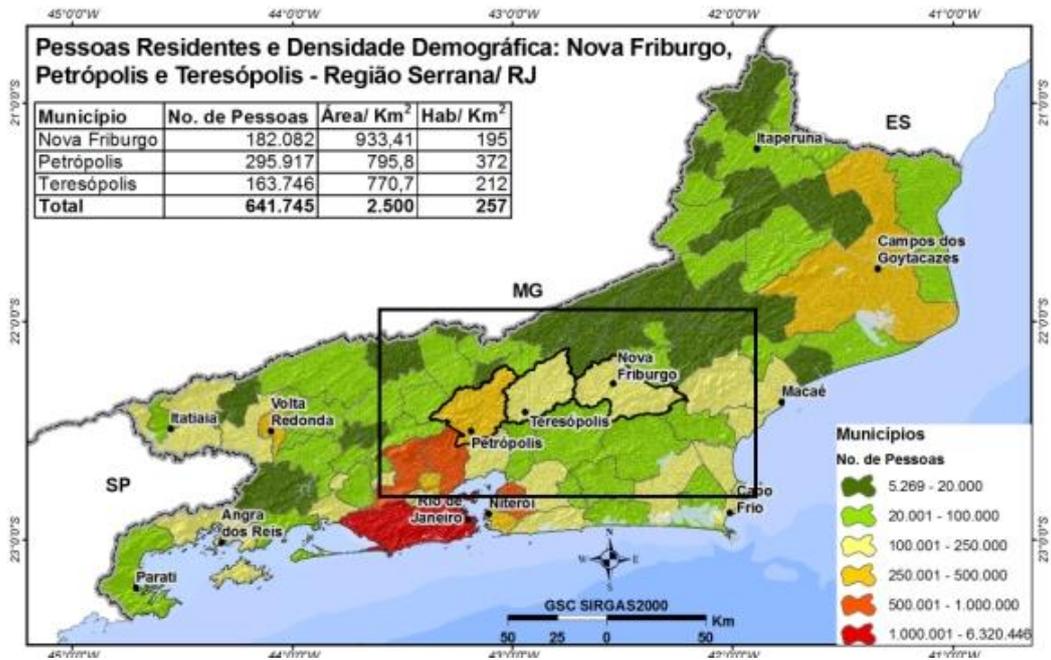


Figura 15: Número de pessoas residentes e densidade demográficas de alguns dos municípios da Região Serrana do Rio de Janeiro, segundo dados do Censo IBGE 2010. Fonte: Modificado de Coutinho (2014 – inédito).

A escolha desta bacia como área de estudo também se justifica por ser uma área representativa situada na região serrana, que normalmente é acometida por eventos extremos de chuva, havendo destaque para o ocorrido em janeiro de 2011, o qual deflagrou 3622 cicatrizes de deslizamentos em uma área total de 421,1 km² (Coelho Netto *et al.* 2013), gerando uma densidade de 8,06 cicatrizes por quilômetros quadrados na bacia em questão (figura 16).

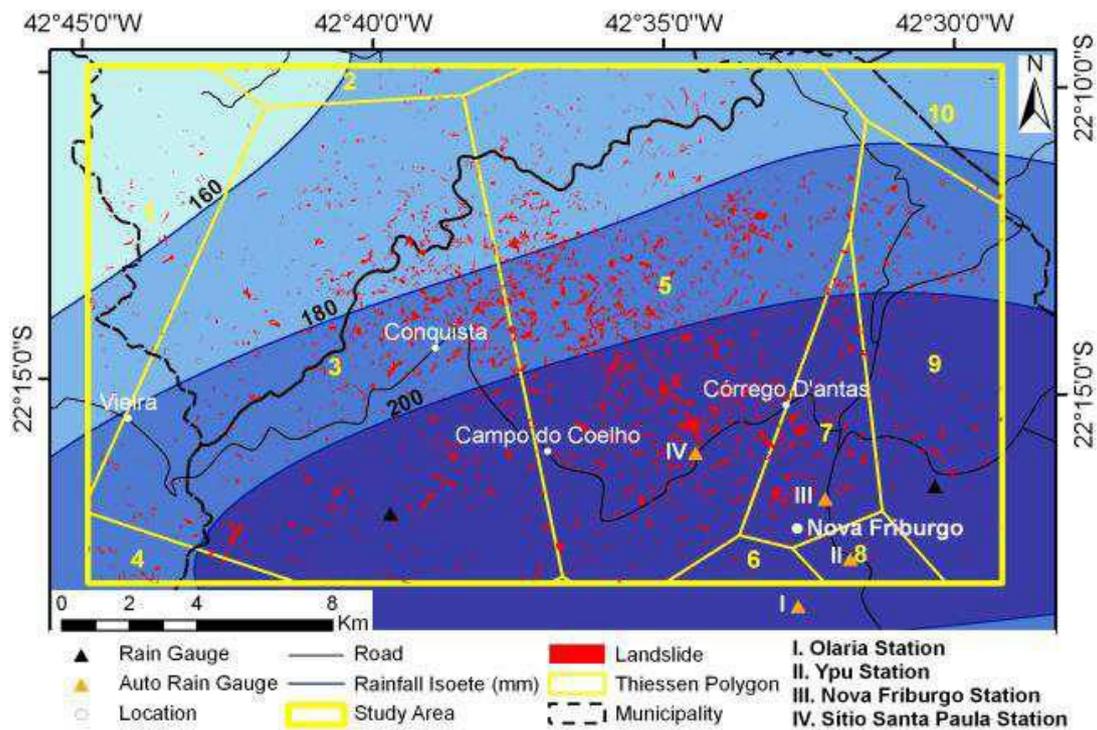


Figura 16: Cicatrizes mapeadas através da imagem Geoeye. Fonte: Coelho Netto *et al.* (2011).

O recente desastre natural ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro provocou incontáveis perdas humanas e econômicas, mas o entendimento do processo do ponto de vista geomorfológico pode ser melhor compreendido no artigo de Coelho Netto *et al.* (2013), que mostra uma análise dos dados pluviométricos do evento de janeiro de 2011. Este mesmo artigo mostra que durante a noite de 12 de do mesmo ano, foi formado acima da cidade de Nova Friburgo um núcleo de chuva que pôde ser visualizado através de imagens de radares e satélites, e dos dados obtidos por diversos pluviômetros instalados na região Serrana (figura 16). Pluviômetros localizados no interior da cidade de Nova Friburgo mostraram que houve a precipitação de um total de mais de 200 milímetros no intervalo das 20h do dia 11, até às 07h do dia 12 de janeiro, como podemos ver na figura 17. Esta mesma figura evidencia, por volta de 00:30 am do dia 12 de janeiro, uma elevada intensidade pluviométrica de cerca de 70 mm/h.

Apesar da chuva ocorrida neste evento ter sido de uma grande magnitude, os dados pluviométricos, também presentes na (figura 17), mostram que os dois meses e dez dias que antecedem o evento, também acusaram uma elevada pluviosidade, evidenciando o importante papel da umidade antecedente do solo, aumentando a o nível de saturação do mesmo no momento da chuva crítica (12 de janeiro de 2011).

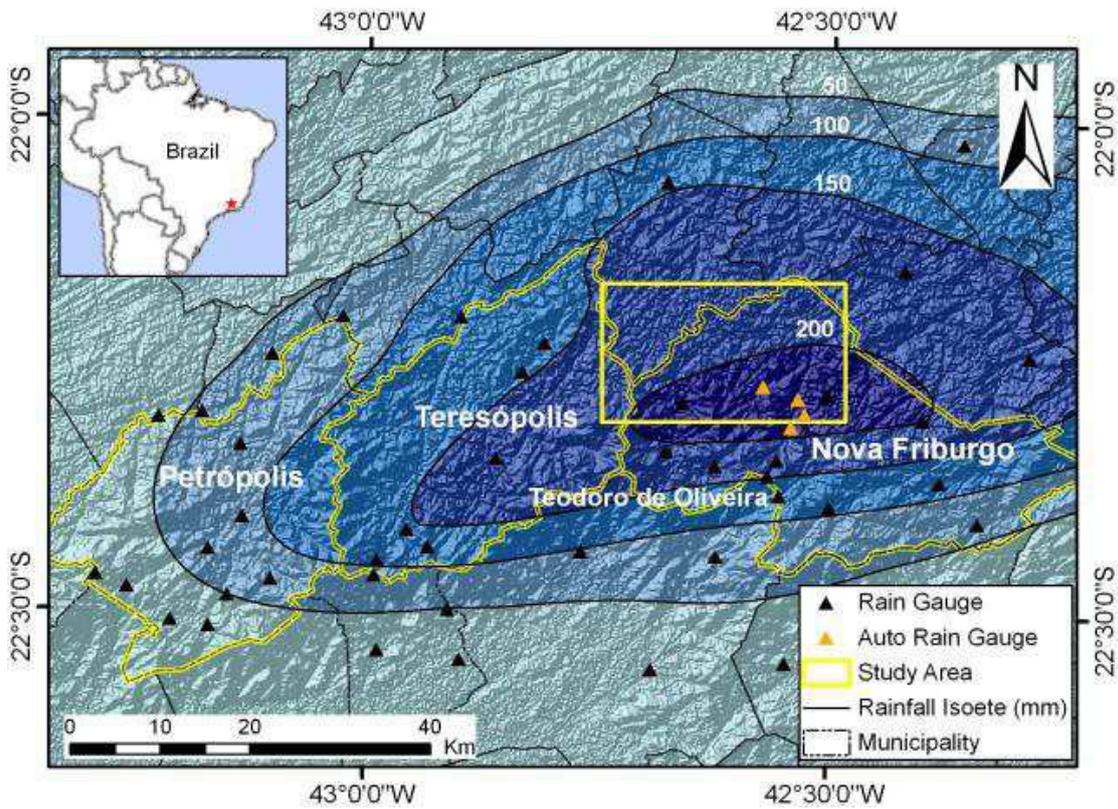


Figura 17: Através da interpretação dos dados de 47 pluviômetros instalados nas cidades de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, evidenciou-se a existência de um núcleo de chuva sobre a Cidade de Nova Friburgo. Fonte: Coelho Netto *et al.* (2011).

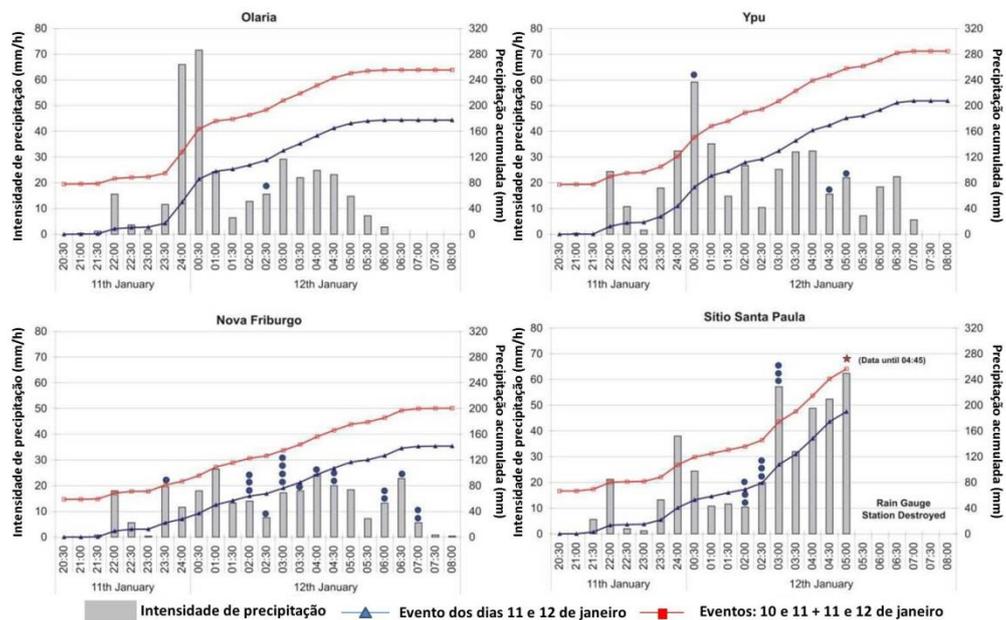


Figura 18: Histogramas de intensidade de precipitação e acumulada nas 04 estações automáticas situadas na cidade de Nova Friburgo, no evento de janeiro de 2011. Fonte: Coelho Netto *et al.* (2011).

Este mesmo trabalho, realizado por Coelho Netto, mostra que a partir de imagens de satélite Geoeye, disponibilizadas pelo Google Earth semanas após o desastre, foram mapeadas um total de 3622 cicatrizes de deslizamentos em uma área

total de 421,1 km² (Figura 16), sendo um total de 244 cicatrizes apenas no interior da bacia em estudo (Figura 19), que possui cerca de 53 quilômetros quadrados (densidade de 4,6 cicatrizes por quilômetros quadrados).

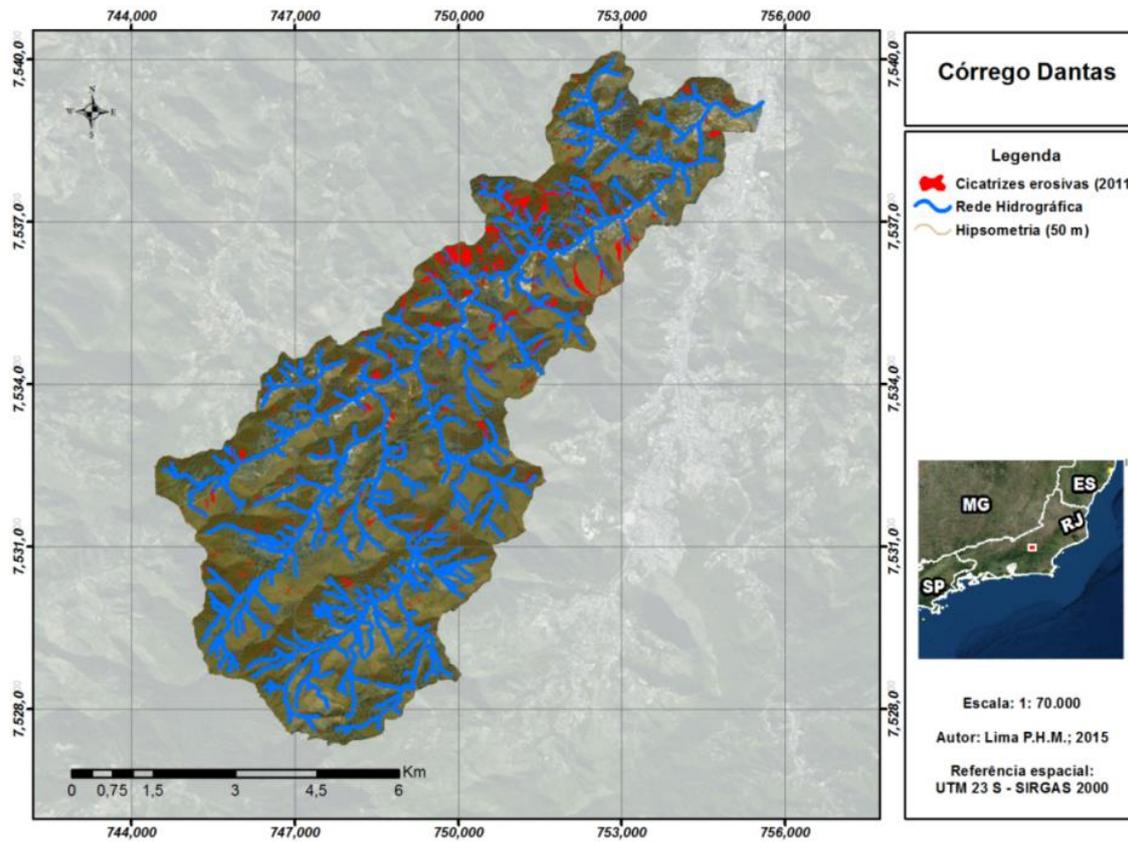


Figura 19: Mapa de localização da bacia do Córrego Dantas.

4.2. Bacias do Quitite e Papagaio

Ambas as bacias estão situadas na vertente oeste do Maciço da Tijuca, localizado no município e estado do Rio de Janeiro, Brasil. O referido Maciço é o mais urbano dos três maciços costeiros situados na cidade do Rio de Janeiro, que possui uma paisagem que abriga um grande mosaico de coberturas e tipos de usos de solo, composta por uma morfologia montanhosa costeira rodeada por planícies fluvio-marinhas, as quais se interconectam por redes de canais fluviais (COELHO NETTO, 2005).

O maciço da Tijuca possui uma área de 11.800 ha. - acima da cota 40 delimitada, e está localizado na porção oeste do município do Rio de Janeiro, entre os paralelos 22°55' S e 23°00' S e os meridianos 43°20' E, e 43°10'E (Drummond, 1997; Schlee, 2002) e é representado por um relevo montanhoso costeiro, e encontra-se cercado pela baixada de Jacarepaguá (lagoas e manguezais) ao oeste, a baixada Fluminense ao Norte, a Lagoa Rodrigo de Freitas e o Oceano Atlântico ao Sul.

Mais especificamente na vertente oeste deste maciço, que drena para a baixada e lagoas de Jacarepaguá, estão localizadas as bacias hidrográficas do Quitite e Papagaio. Ambas representam as principais bacias acometidas com o evento extremo de 1996. A bacia do Quitite é uma bacia de terceira ordem, com 2,14 Km², desnivelamento total de 910 metros (ponto mais alto é o mirante da Serrinha, com 956 metros), e uma orientação leste-oeste (Dias 2011). Esta bacia possui ampla cobertura vegetal do tipo floresta em estágio inicial-médio, algumas áreas de gramíneas, ocupação formal e informal, assim como diversas cicatrizes de deslizamentos ainda em recuperação. Assim como a bacia do Quitite, a sua vizinha, a bacia do Papagaio, também de terceira ordem, possui 1,79 Km², desnivelamento de 930 metros e características geomorfológicas e de cobertura semelhantes à bacia do Quitite. O pico do Papagaio é o ponto mais elevado desta bacia, com 990 metros de altitude. (Figura 20).

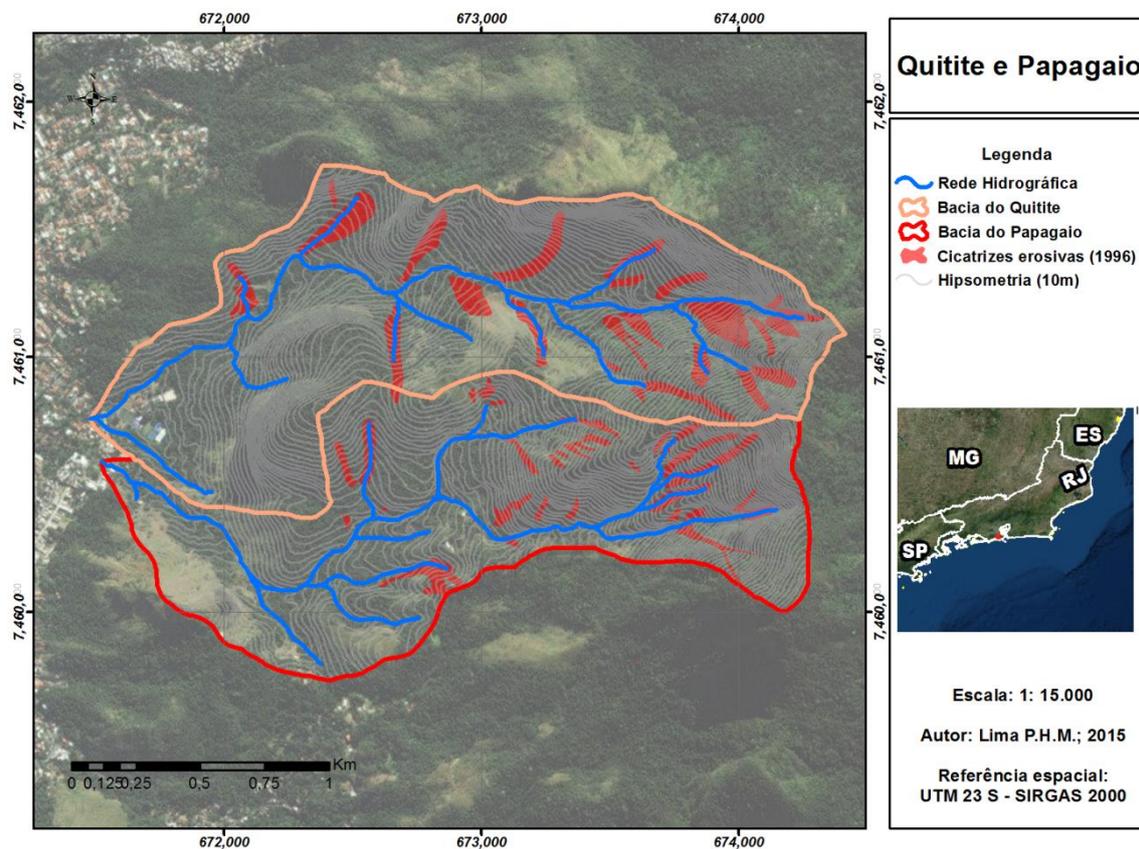


Figura 20: Bacias do Quitite e Papagaio. Em vermelho, estão representadas as cicatrizes erosivas do evento de 1996.

No ambiente montanhoso do maciço prevalece à erosão por ação gravitacional (deslizamentos), principalmente do tipo translacional, rastejo e fluxos. Movimentos do tipo translacional ocorrem preferencialmente nas encostas convexo-retilíneas com declividades superiores a 35° , enquanto os fluxos detríticos, tendem a ocorrer nas encostas côncavas no fundo de vales até mesmo sobre declives menores (entre 14° e 17°) (COELHO NETTO, 2005).

Os solos, segundo Coelho Netto (1979), caracterizam-se pelo predomínio de grandes extensões de Latossolos, com perfis profundos e horizontes pouco diferenciados nas áreas de menor gradiente, onde se tornam mais espessos os depósitos de encostas. Já nas áreas mais íngremes aparecem localmente solos tipo Litossolos e Cambissolos. Segundo Drummond (1997), os solos são rasos e instáveis com grande incidência de fragmentos rochosos incompletamente erodidos.

Segundo a classificação de Köppen, o Maciço da Tijuca possui um Clima Tropical de Altitude, tratando-se de clima subequatorial, definido como hipotérmico (Oliveira

et al., 1995). Os valores de precipitação média anual giram em entorno de 2.000 à 2.500 mm, com maior concentração no verão; podendo atingir picos de até 3300 mm em anos muito chuvosos (Coelho Netto *et al.* (2007) e Dias (2011)). Esta região apresenta também temperatura média anual em torno de 22°C, sendo a máxima de 25°C registrada em fevereiro e a mínima de 19°C em julho (Fernandes, 1998). Segundo Coelho Netto *et al.* (2008), estas mesmas chuvas, são recorrentes na época de verão, são caracterizadas por elevada intensidade e curta duração, sendo normalmente as responsáveis pela ocorrência de deslizamentos, afetando de forma direta todas as regiões montanhosas do estado do Rio de Janeiro. Segundo esta mesma autora, nos meses de janeiro e fevereiro, a média mensal chega a 250 mm podendo ultrapassar 1.000 mm/mês (Coelho Netto, 2012).

Nessa mesma época do ano, normalmente ocorrem as tragédias relacionadas à deslizamentos de terra, afetando os moradores do maciço, como os casos registrados em março de 1966, fevereiro de 1988, fevereiro de 1996 e abril de 2010. Um dos eventos de maior expressividade ocorreu nos dias 12 e 13 de fevereiro de 1996, caracterizado por grande incidência pluviométrica principalmente sobre a região oeste do maciço, onde se encontra o Pico do Papagaio (limite superior da bacia que leva o mesmo nome). Dados da estação pluviométrica da Capela Mayrink, mostram um total de 380 mm de chuva em menos de 24 horas. Este evento foi resultado de duas grandes tempestades, uma pela manhã e outra no início da noite, como descrito por Coelho Netto (1996) e Vieira *et al.* (1997) *apud* Jara (2014), o acúmulo das tempestades detonou centenas de deslizamentos na porção oeste do maciço, especialmente na vertente de Jacarepaguá, mais especificamente nas bacias do Quitite e Papagaio, assim como inúmeros pequenos deslizamentos ocorreram ao longo das estradas que cortam todo o maciço.

Segundo Oliveira *et al.* (1996) *apud* Jara, (2014), nesta região, prevaleceram movimentos do tipo fluxo “*debris flows*” e avalanche de detritos “*rock debris avalanche*” de extensões diversas, detonados nas porções superior e média das encostas, deixando cicatrizes erosivas desde a zona cumeada e dos interflúvios rebaixados como descrito por Amaral (1996) e Coelho Netto *et al.* (2009), além de uma superfície erosiva exposta de cerca de 150,08 ha (Coelho Netto, *et al.* 2012) (figura 21).

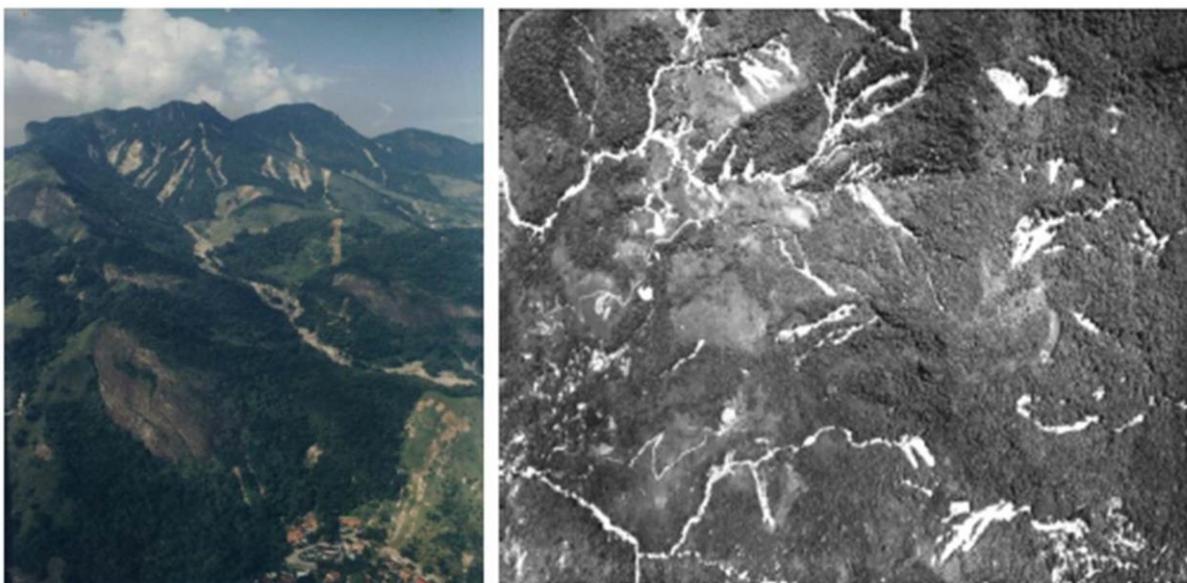


Figura 21: Movimentos de massa ocorridos no Maciço da Tijuca, frente ao evento pluviométrico de 1996.

Segundo os estudos conduzidos por (Cruz *et al.*, 1999 e Oliveira *et al.*,1996), apenas 14% dos casos foram em encostas sob floresta conservada, 43 % em vegetação florestal degradada e 42% sob gramínea.

Coelho Netto, *et al.* (2012), faz uma descrição das características geológicas das áreas acometidas por esses eventos erosivos e menciona que em sua maioria, ocorreram sobre as rochas de tipo Granito Favela e Gnaiss Facoidal. Esta mesma autora menciona que os granitos favoreceram a produção *in situ* de blocos, aliados também a presença de colúvios ricos em blocos, o que explicaria a formação dos fluxos detríticos que avançaram pelos fundos dos vales drenados pelos rios principais e atingiram duramente as áreas de baixada circundante.

4.3. Área de contribuição que drena para a Região Central de Angra dos Reis

O município de Angra dos Reis está situado na microrregião da Costa Verde, Sul Fluminense no estado do Rio de Janeiro. Segundo o Censo IBGE 2010, a população deste município, é de quase 170 mil habitantes, distribuídos em uma área de 816,3 km². Os municípios que fazem parte de seu limite são: Paraty, a oeste, Rio Claro e Mangaratiba, a leste, sendo estes pertencentes ao território fluminense. Já na porção norte, o município estende-se para os domínios da Serra do Mar, onde faz fronteira com o estado de São Paulo, mais especificamente os municípios de Bananal e São José do Barreiro Barbosa *et.al.* (2011). A figura 23, ilustra a área de estudo.

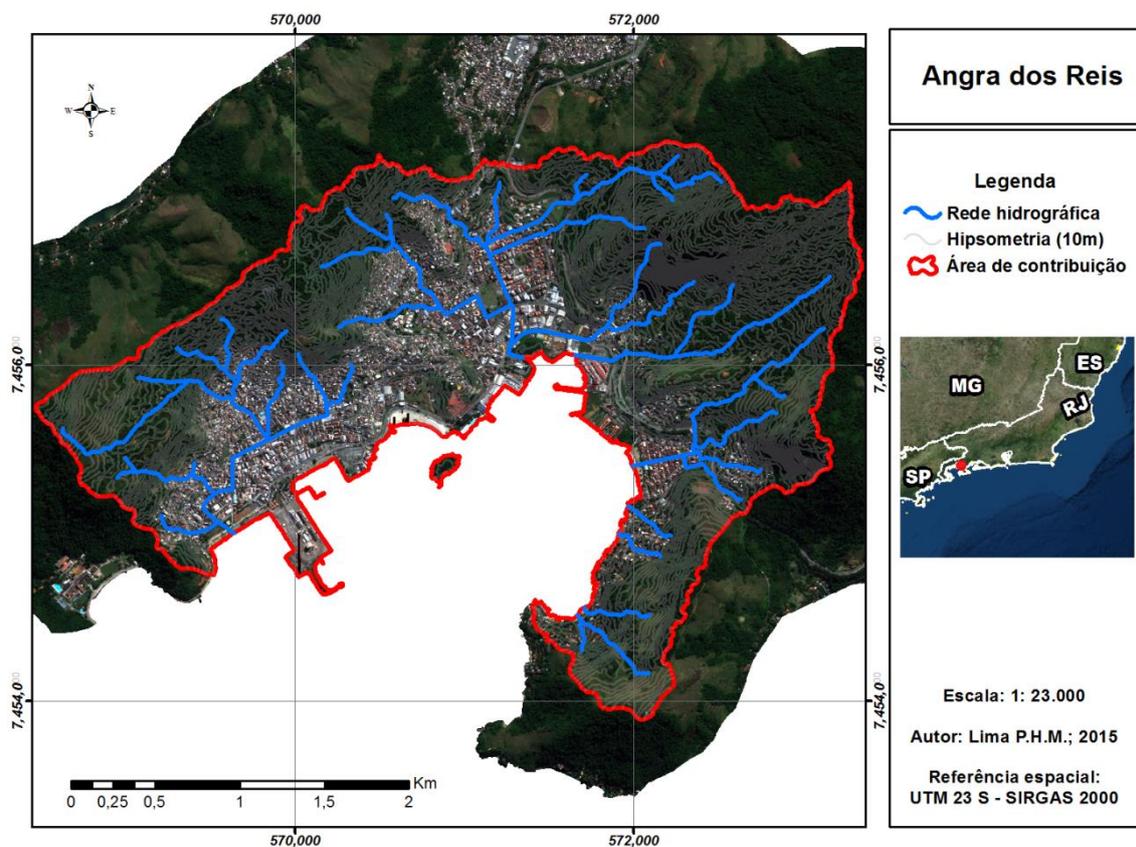


Figura 22: Área de contribuição da região central do município de Angra dos Reis.

A proximidade com o Oceano Atlântico tem um importante papel climático na região, que juntamente com a proximidade com a Serra do Mar serra, o que representa uma barreira à frentes polares úmidas, induzem a ocorrência de tempestades intensas, especialmente durante o verão (período chuvoso). Em alguns anos, essas fortes tempestades, combinadas com má gestão territorial, causaram dezenas de mortes, especialmente em Angra dos Reis. As encostas voltadas para o

Oceano tendem a ser mais úmidas, devido às chuvas orográficas, enquanto encostas voltadas para a vertente norte tendem a ser mais secas.

Dados de chuva anuais de INEA (2012), mostram que as zonas costeiras de Angra dos Reis e Paraty, tendem a ser bastante úmidas principalmente devido a precipitações que têm médias anuais superiores à 2.000 mm. O que contrasta com as partes superiores da Serra do Mar, onde os totais pluviométricos anuais são 1.400-1.700 mm. Estas diferenças acentuam o papel orográfico das encostas altas e íngremes presentes ao longo de quase todo o município, sendo bastante evidente na área central, que é um dos objetos focos desse estudo.

Principalmente ligada a existência de uma importante rodovia (BR 101), além da grande exploração comercial oriunda do turismo e das atividades portuárias, a expansão populacional do município sempre esteve diretamente ligada às características Geomorfológicas de seu terreno. A rápida expansão, em detrimento à cobertura original de Mata Atlântica, além da quase inexistência de áreas planas, mais propícias à ocupação, gerou um processo de ocupação desordenada das encostas, onde atualmente mora a maior parte da população.

As características geológicas do município de Angra dos Reis, segundo Guerra *et.al.* (2013) é descrita como formação predominantemente granítica (~50%), seguido por gneisses (~30%) e por proporções menores de migmatitos, granitos e sedimentos Holocenicos. Este mesmo autor, afirma que embora granitóides sejam dominantes, gnaisses e granitos estão presentes em diversas partes da Serra do Mar e eles geralmente são dobrados e com presença de falhas. Os sedimentos do Holoceno estão distribuídos principalmente na costa, sendo característicos nas partes mais planas, próximas às praias e nas planícies fluviais, que se estendem a partir das áreas de pedimento da Serra do Mar indo até o encontro do litoral. Estas características geológicas desempenham papéis muito importantes no contexto geomorfológico local, tanto em termos de formas de relevo, quanto nas características das bacias de drenagem.

O trabalho Geoheco/INEA (2012); define 04 (quatro) principais categorias litológicas para a região: Biotita ortognaisse migmatítico, Granito equigranular isotrópico, Pegmatito de composição granítica e Dique de diabásio.

Em 2010, o município sofreu um grande acidente natural, por consequência do produto de chuvas fortes, ocupação das encostas, e as características morfológicas naturais do terreno, acima descritas. Do dia 30 de dezembro de 2009 até o dia 1º de janeiro de 2010 as chuvas típicas de verão, atingiram toda a região, somando 417 mm em apenas três dias (Defesa Civil de Angra dos Reis, RJ). O alto índice pluviométrico representou o dobro da média histórica registrada no mês de dezembro.

Segundo a Defesa Civil de Angra dos Reis, RJ; o elevado volume de chuva ocasionou durante a madrugada do dia 1º, simultaneamente, dois grandes deslizamentos, causando 53 mortes, sendo 32 vítimas na Praia de Bananal, Ilha Grande e 21 no Morro da Carioca, inserido na área de estudo em questão. Além das vítimas fatais, este evento pluviométrico também causou o desalojamento de mais de 4500 pessoas, mais de 1200 interdições em residências, além de diversos outros prejuízos materiais e econômicos.

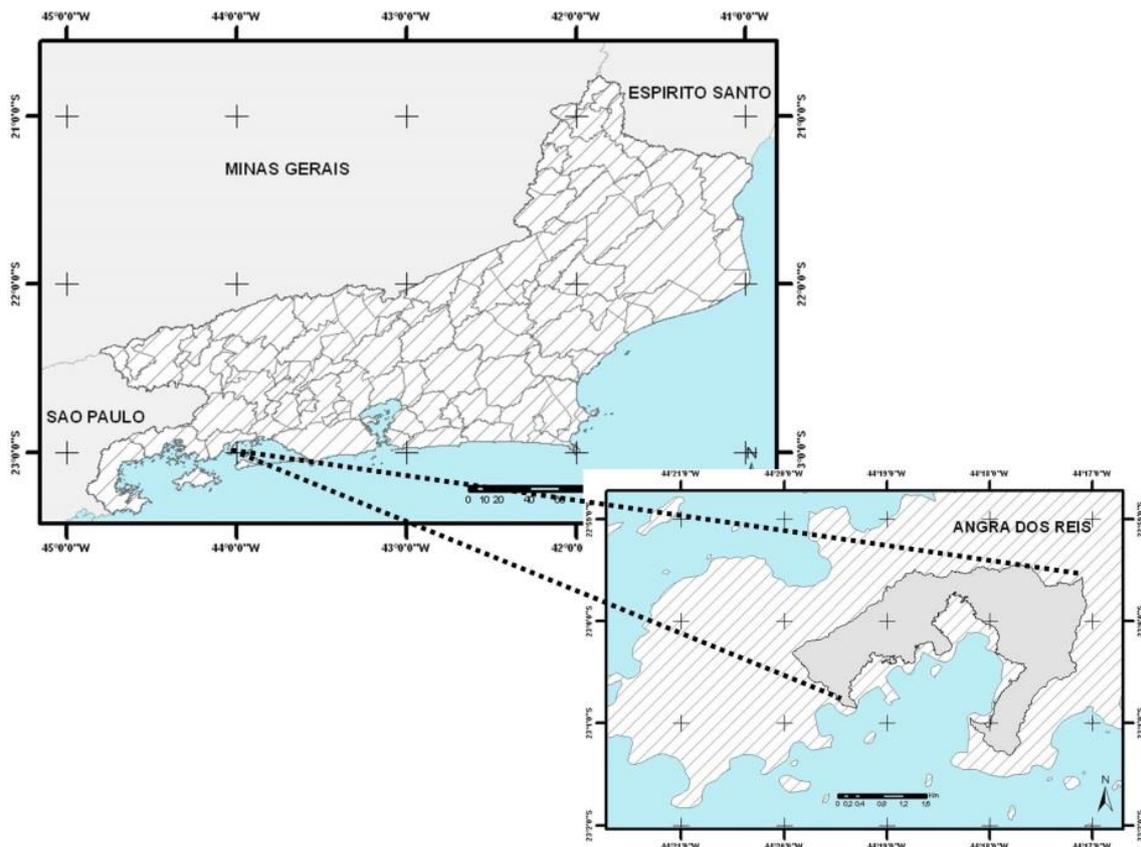


Figura 23: Localização da Área central do município de Angra dos Reis, RJ. Fonte: Adaptado de Geoheco/INEA 2012.

4.4. Área de contribuição que drena para a Usina Nuclear de Angra dos Reis

Localizada no município de Angra dos Reis (Distrito de Cunhambebe), estado do Rio de Janeiro, a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), está inserida em uma pequena área caracterizada pela pequena planície adjacente à encosta pertencente ao domínio montanhoso da Serra do Mar e o Oceano Atlântico (figura 24).

A Central Nuclear possui uma área aproximada de 1.250 ha, têm seus lados norte, leste e oeste parcialmente protegidos por montanhas com elevações que variam entre 200 e 700 metros. O lado sul está voltado para o mar - Baía da Ilha Grande. A área de estudo em questão, na verdade, compreende a zona montanhosa que drena para a área da CNAAA, que possui uma área total de 2,58 km², com amplitude de relevo de 700 metros, compreendendo algumas bacias de primeira ordem que drenam aquelas encostas diretamente para o Oceano Atlântico. É importante ressaltar que foi usado como limite inferior para a delimitação da área de estudo a cota de 10 metros de altitude, devido a grande interferência na morfologia natural dos canais, tornando-os retilíneos e adaptando-os à melhor disposição para a construção da Usina Nuclear.

A característica geomorfológica da região é dada pela presença de grandes escarpas rochosas da serra do mar (faces Sul), sujeitando a área, a ocorrência de frequentes movimentos de massa, impulsionados por chuvas de elevadas magnitudes e intensidades, que normalmente acontecem no período de verão, assim como nas outras áreas de estudo em foco. Estes fenômenos frequentemente provocam distúrbios crescentes na Rodovia BR-101, assim como em outras estradas secundárias, que podem dificultar a circulação de pessoas e veículos no entrono da CNAAA.

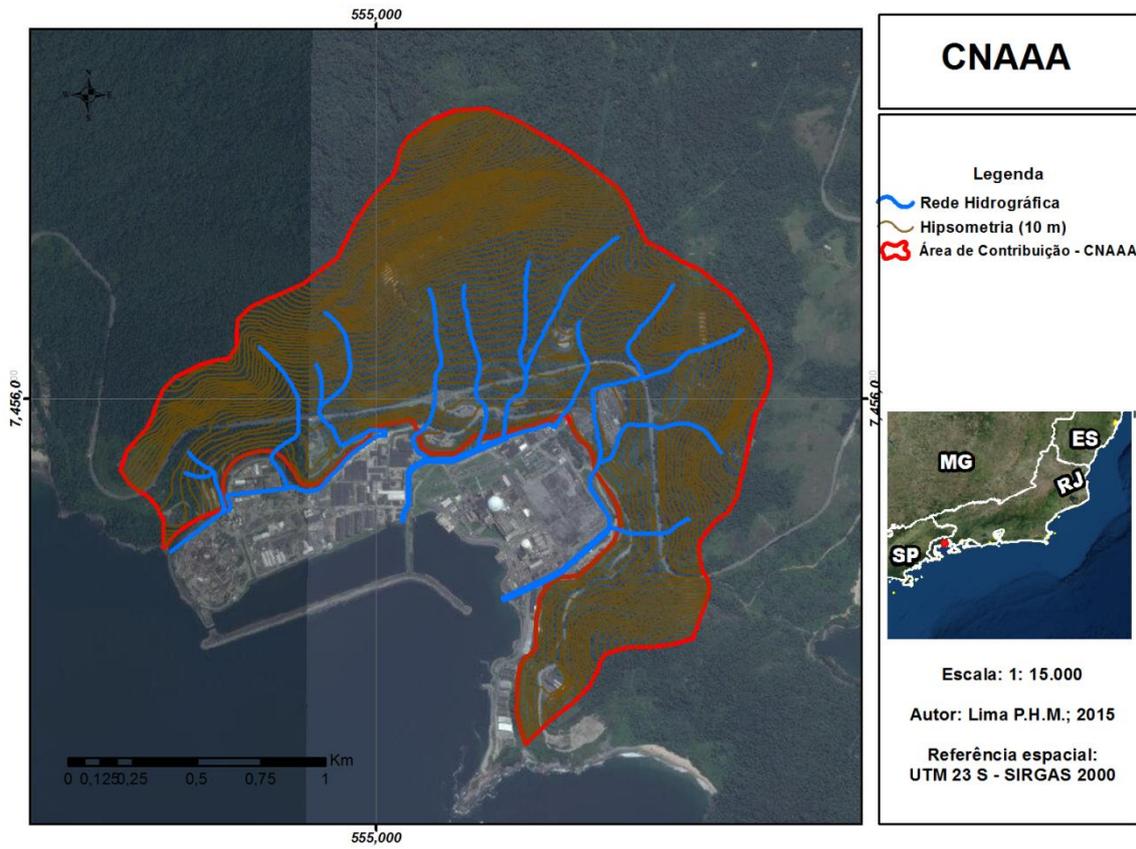


Figura 24: Localização da CNNA, no distrito de Cunhambebe, município de Angra dos Reis.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão expostos os procedimentos e etapas metodológicas que tiveram por finalidade, atender os objetivos propostos desta dissertação. Este trabalho contou basicamente com recursos digitais relacionados à informações geográficas das áreas de estudo, que em alguns casos foram restaurados através de técnicas ou métodos visando a sua melhoria, como a checagem de campo ou reinterpretação das redes hidrográficas. Estas informações possuem escalas e formatos próximos e estão expostas nas tabelas abaixo (Tabela 3; Tabela 4; Tabela 5 e Tabela 6), relativas cada uma à uma das áreas de estudo. Estas mesmas tabelas, mostram dados relacionados às bases utilizadas e suas respectivas características cartográficas, origens e formatos digitais.

Tabela 3: Base de dados usada para a análise da Bacia do Córrego Dantas. (*) Foi realizada uma reinterpretação dos dados hidrográficos através da estereoscopia e checagem de campo. **NI**: Origem não informada. Inventário de cicatrizes gerado através de interpretação visual de imagem de satélite de alta resolução.

Base cartográfica	Escala	Formato	Origem
Topografia	1:5000	Shapefile - line	IBGE
Pontos Cotatos	1:5000	Shapefile - point	IBGE
Rede hidrográfica	1:5000 (*)	Shapefile - line	IBGE (*)
Fotografias Aéreas	1:25000	Tiff	NI
Inventário de Cicatrizes	-	Shapefile - polygon	Coelho Netto <i>et al.</i> , 2011 / Geoheco-UFRJ

Tabela 4: Base de dados usada para a análise das bacias do Quitite e Papagaio. (*) Foi realizada uma reinterpretação dos dados hidrográficos através da estereoscopia. Inventário de cicatrizes adquirido na base digital de dados do Laboratório Geoheco/UFRJ.

Base cartográfica	Escala	Formato	Origem
Topografia	1:10000	Shapefile - line	IPP
Pontos Cotatos	1:10000	Shapefile - point	IPP
Rede hidrográfica	1:10000 (*)	Shapefile - line	IPP (*)
Fotografias Aéreas	1:10000	Tiff	IPP
Inventário de Cicatrizes	-	Shapefile - polygon	Geoheco-UFRJ

Tabela 5: Base de dados usada para a análise da região central do município de Angra dos Reis. (*) Foi realizada uma reinterpretação dos dados hidrográficos através da estereoscopia e checagem de campo.

Base cartográfica	Escala	Formato	Origem
Topografia	1:5000	Shapefile - line	Geoheco/ SEA. (2010)
Pontos Cotatos	1:5000	Shapefile - point	Geoheco/ SEA. (2010)
Rede hidrográfica	1:5000 (*)	Shapefile - line	Geoheco/ SEA. (2010) (*)
Fotografias Aéreas	1:10000	Tiff	NI

Tabela 6: Base de dados usada para a análise da Bacia do Córrego Dantas. (*) Foi realizada uma reinterpretação dos dados hidrográficos através da checagem de campo.

Base cartográfica	Escala	Formato	Origem
Topografia	1:5000	Shapefile - line	Furnas - Eletrobrás
Pontos Cotados	1:5000	Shapefile - point	Furnas - Eletrobrás
Rede hidrográfica	1:5000 (*)	Shapefile - line	Furnas - Eletrobrás (*)

A figura 25 sintetiza o sequenciamento metodológico cursado. Este fluxograma é representativo de todas as 12 principais etapas percorridas ao longo do trabalho, com uma breve descrição, além das ferramentas e softwares utilizados.

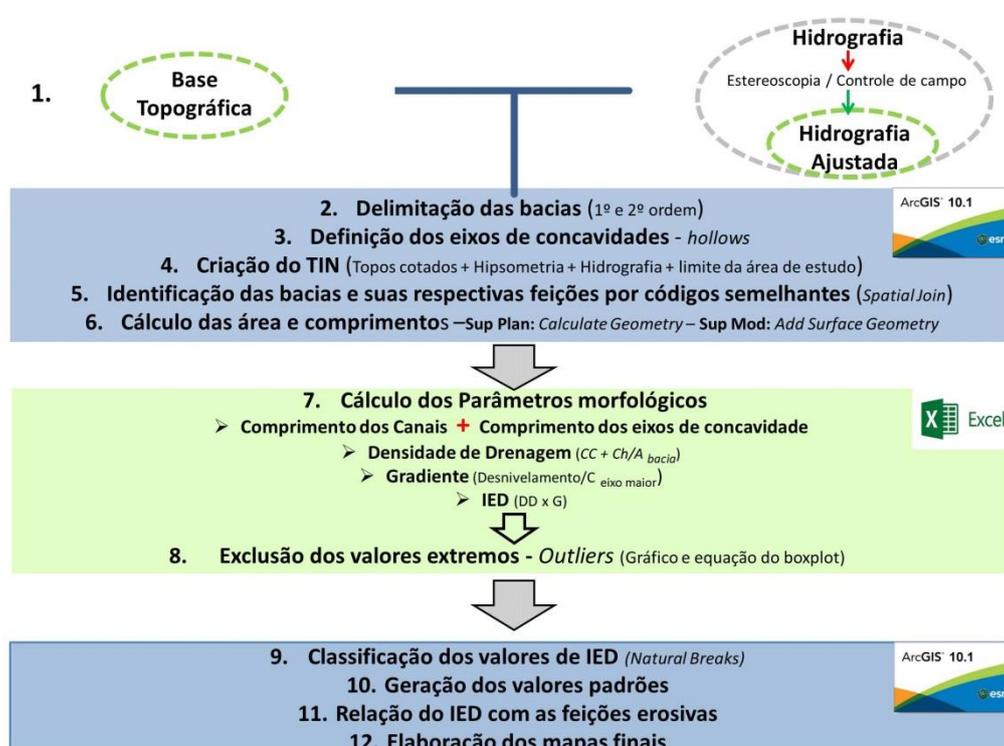


Figura 25: Esquema representativo dos procedimentos metodológicos seguidos por este trabalho.

Basicamente os softwares usados foram o *ArcGis10.1*®, em conjunto com o *Excel*. O software de geoprocessamento foi responsável pelas etapas iniciais e finais do trabalho, que em síntese foram: a projeção, identificação e cálculo dos aspectos cartográficos e geomorfológicos básicos como a área das bacias, gradiente topográfico e comprimento de canais e eixos de concavidades, e na fase final, a qualificação através de ferramentas estatísticas presentes no software dos valores de IED. Porém antes das fases finais, os cálculos básicos feitos no *ArcGis10.1*®, foram exportados para

o *Excel*, com a intenção de facilitar a sistematização dos dados, elaboração de tabelas sínteses, e cálculos mais complexos como os índices propostos. E após os cálculos do *Excel*, os dados das bacias voltaram para o ambiente SIG, para o tratamento final e elaboração dos mapas sínteses, que serão apresentados durante o capítulo que faz a síntese dos resultados obtidos.

5.1. Interpretação estereoscópica das redes hidrográficas

Como os trabalhos que deram origem ao índice, remetem a aplicação das variáveis geomorfológicas mais próximas possíveis às condições de campo, buscou-se a definição de uma rede hidrográfica fiel à realidade do terreno. Para isso, optou-se pelo uso da técnica de estereoscopia para a re-interpretação e geração da rede hidrográfica de cada uma das áreas, baseadas na interpretação visual de fotografias aéreas e também através do controle de campo, quando necessário. Além da estereoscopia, a validação das feições interpretadas, foi realizada em campo, com o auxílio de um GPS de mão, modelo *Garmin 60CSX*. O uso da investigação de campo serviu como critério e calibração da interpretação visual da estereoscopia, que tem um certo cunho subjetivo.

Segundo (Florenzano, 2011), a fotointerpretação, é um importante método utilizado para a elaboração de mapeamentos dentro de ambiente SIG. Esta ferramenta parte de um conjunto de princípios e técnicas físicas que permitem identificar e deduzir características dos fenômenos registrados nas fotografias aéreas ou imagens de satélite.

Basicamente, o mapeamento das redes de drenagem foi realizado por meio da fotointerpretação visual dos canais de drenagem, e com um auxílio de uma carta topográfica impressa, onde as informações interpretadas eram automaticamente desenhadas, para posterior inserção em ambiente SIG. As fotografias aéreas usadas respeitaram uma escala em que os canais de 1ª ordem pudessem ser identificados. Para a região do Córrego Dantas, as fotografias aéreas, por estarem disponíveis apenas em uma escala de menor detalhe que as demais, passou por uma rigorosa validação de campo ao longo de toda a bacia. Esta validação contou com a visita de cerca de pelo menos 150 pontos, onde com o auxílio de um GPS de mão e máquina fotográfica para

registro, os canais interpretados eram automaticamente validados ou refutados sobre as cartas topográficas impressas em escala adequada (figura 26).



Figura 26: Ilustração dos procedimentos metodológicos para a obtenção da rede de canais.

5.2. Delimitação das Bacias

Após a identificação e validação da rede hidrográfica de todas as áreas de estudo, as bacias foram delimitadas. A metodologia para a delimitação das bacias levou em conta a topografia e o critério de hierarquização de bacias de drenagens, proposto por Strahler (1952). Inicialmente foram delimitadas as bacias de 1º ordem, e posteriormente as de 2º ordem.

5.3. Definição dos eixos de concavidades – hollows

Como o cálculo original do Índice de Eficiência de Drenagem, leva em conta, além dos comprimentos de canais, os eixos de concavidades (como justificado no capítulo relativo à revisão bibliográfica), a definição e mapeamento dessas feições foram realizadas através da interpretação visual em cada uma das bacias, guiadas pelas informações fornecidas pela base topográfica, independente da sua hierarquia. A figura 27 ilustra a delimitação dessas feições.

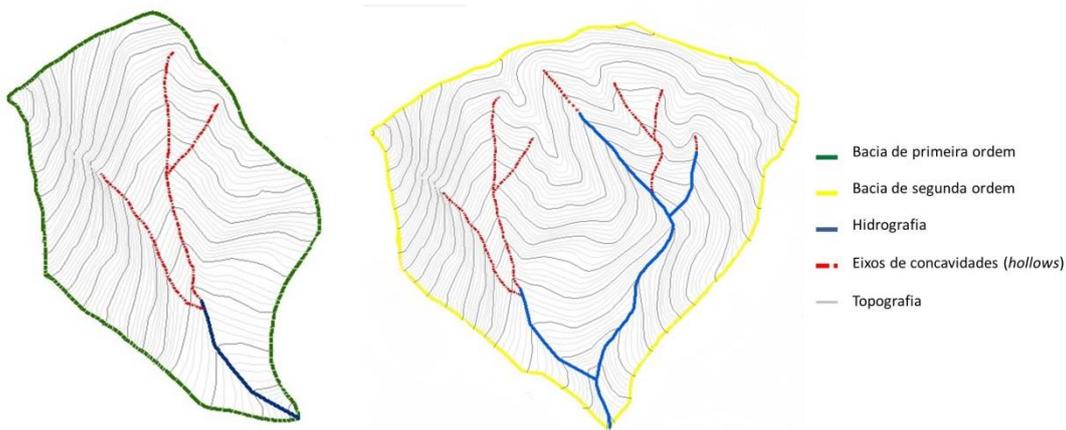


Figura 27: Ilustração da definição dos eixos de concavidades para bacias de primeira ordem (verde) e segunda ordem (amarelo).

5.4. Criação do TIN

Como um dos objetivos desta dissertação, também é investigar o comportamento de medidas métricas como comprimentos, áreas, e índices quando se calculados sobre diferentes metodologias, neste caso, mostrando a diferença entre a adoção de planimetria ou superfície modelada, foi necessário a criação do TIN (*Triangulated Irregular Network*).

Os dados básicos necessários para a elaboração desta superfície são: topos cotados, rede hidrográfica, curvas de nível e os limites da bacia. No campo *Height Field*, é importante definir quais são os atributos relacionados à elevação de cada um dos *layers*, quando existentes. Já no campo *SF Type*, é necessária a definição do tipo de *layer* e como ele será levado em consideração na construção da superfície TIN. Os parâmetros para a criação do TIN foram definidos conforme a figura 28.

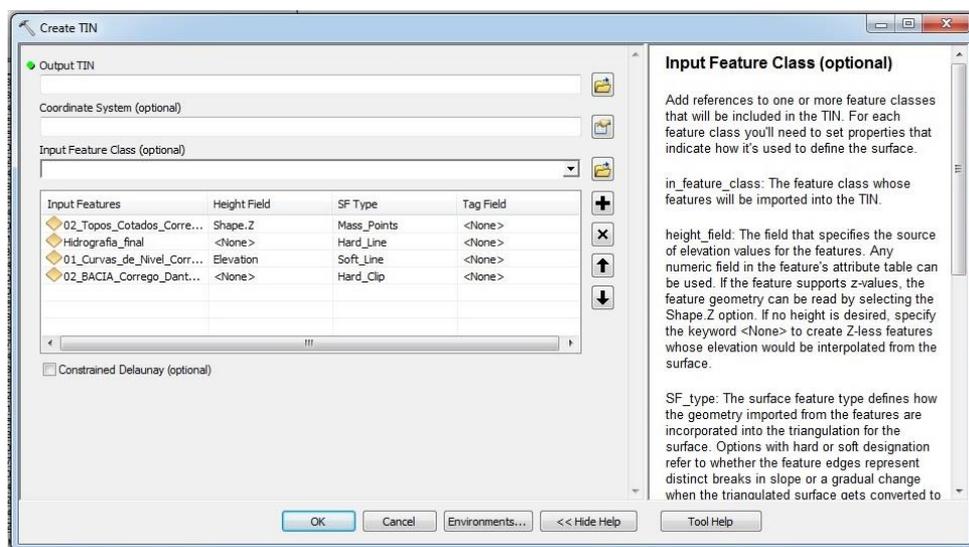


Figura 28: Procedimento utilizado para a Criação do TIN (*Triangulated Irregular Network*) no Arcgis.

5.5. Identificação das bacias e suas respectivas feições por códigos semelhantes

Como características geomorfológicas de cada uma das bacias são únicas, optou-se por estabelecer uma metodologia identificadora de cada uma das bacias e seus respectivos atributos, independente das suas ordens. Dessa forma, cada uma das bacias, foi identificada por um código singular, que também foi repassado para as suas respectivas feições, como as suas respectivas drenagens e seus respectivos eixos de concavidade (Figura 29). Isso gerou uma maior facilidade de manuseio e confiabilidade no momento de realizar os futuros cálculos, que foram efetuados no *excel*, e serão melhor descritos adiante.

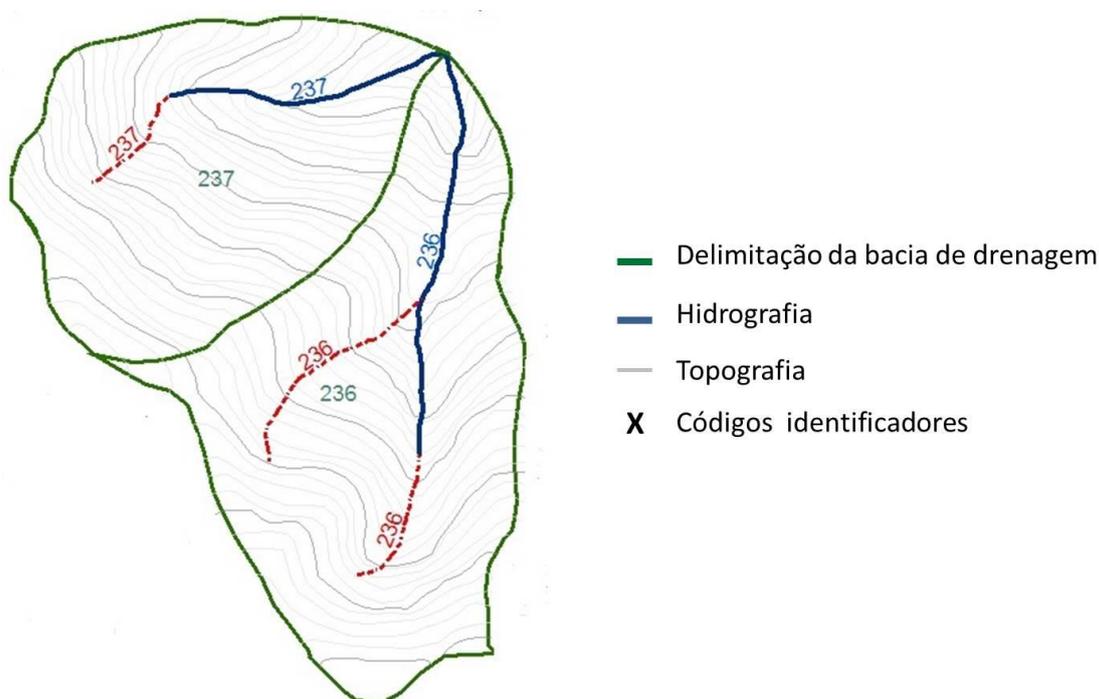


Figura 29: Identificação das bacias e seus atributos pelos mesmos códigos verificadores.

5.6. Cálculo dos parâmetros – ArcGis 10.1®

Os cálculos dos parâmetros geomorfológicos de cada uma das bacias foram realizados no ArcGis10.1®. Vale ressaltar que as medidas métricas utilizadas, foram metros (m) para as distâncias e metros quadrados (m²) para as áreas. Para o cálculo das feições em superfície planimétrica, utilizou-se a ferramenta *Calculate Geometry*, disponível na tabela de atributos de cada um dos shapes. Já os cálculos em superfície modelada, foram feitos através da ferramenta *Add Surface Information*, disponível no pacote *3D Analyst - Functional Surface*.

Esta ferramenta permite o cálculo de feições como áreas e comprimentos, levando em consideração a superfície do relevo, criada pelo TIN (descrito anteriormente).

5.7. Cálculo dos Índices

Após os cálculos básicos feitos no programa de geoprocessamento, as tabelas de todos os *shapes* foram exportadas para o *excel* para o cálculo dos índices e parâmetros como a densidade de drenagem, gradiente topográfico e por último o IED. É importante frisar que os códigos identificadores de cada uma das bacias foram respeitados.

Após os cálculos, os valores foram analisados e preparados para a geração das tabelas e gráficos síntese.

5.8. Exclusão dos valores anômalos - Outliers (Gráfico de Boxplot)

A observação dos dados de IED das bacias das quatro áreas revelou um comportamento bastante semelhante entre as bacias, no que diz respeito aos seus valores médios. Porém, observou-se que alguns poucos valores se apresentavam muito discrepantes das tendências gerais, ou seja, muito acima das médias e dos desvios padrões. A consideração desses valores na divisão de classes, do índice, gerava uma tendência à criação de classes restritas a de valores de IED muito altos, e discrepantes da maioria. Normalmente essa classe, era classificada como “Muito Alta” e consistia em um número amostral muito pequeno. Segundo a literatura estatística, esses valores são considerados anômalos, ou “*outliers*”. Como discutido na revisão bibliográfica esses valores, são normalmente insignificantes em termos numéricos e percentuais do geral do seu grupo amostral, e podem ser frutos de possíveis erros de medição, o que justifica a sua exclusão quando se busca compreender em termos de tendências gerais o comportamento de um conjunto de dados.

Com o intuito de eliminar esse conjunto anômalo de dados, utilizou-se da criação do gráfico de *boxplot*, ou Diagrama de Caixa, que é uma das importantes ferramentas estatísticas para a detecção de valores anônimos.

Tanto a elaboração desses gráficos (para cada uma das áreas de estudo, suas respectivas ordens de bacia e metodologia de cálculos de parâmetros) quanto a detecção dos valores anômalos foram feitos no *excel*.

A detecção dos valores mínimos para a consideração de um *outlier* levou em consideração toda a população amostral que possuíam a mesma característica. Por exemplo, uniu-se todos os valores e bacias de primeira ordem e mesma metodologia de cálculos de parâmetros morfológicos, independente da área de estudo e aplicou-se a fórmula do limite superior para definição do valor mínimo a ser considerado um *outlier*. Esta mesma metodologia, foi replicada para as bacias de segunda ordem.

A equação usada para a detecção dos *outliers* foi: $\text{Limite}_{\text{outlier}} = Q3 \times 1,5 L$; onde:

- Limite_{outlier}: Limite superior da amostra para a consideração de um valor outlier;
- Q3: Valor do 3º quartil da amostra;
- L: Intervalo entre quartis. Subtrai-se o quartil superior (75%) do quartil inferior (25%).

5.9. Classificação estatística das classes de IED – O método de classificação do Natural Breaks

A classificação final dos valores de IED foi feita utilizando a ferramenta estatística de separação de valores em classes denominada *Natural Breaks (Jenks)* no software *ArcGis10.1*®. Esta classificação só foi possível após a criação de 325 e 83 polígonos (números respectivos ao total de bacias de 1º e 2º respectivamente) fictícios no *ArcGis10.1*®, que continham os valores reais de IED de uma determinada Bacia, assim como seu respectivo dígito verificador. Vale ressaltar que desta forma, buscou-se gerar um conjunto representativo de todas as quatro áreas de estudo, criando valores padrões para o cálculo de IED. A figura 30 ilustra a criação aleatória destes polígonos, que foram identificados pelos respectivos códigos identificadores de cada uma das bacias, que foi feito com o intuito de facilitar o trabalho.

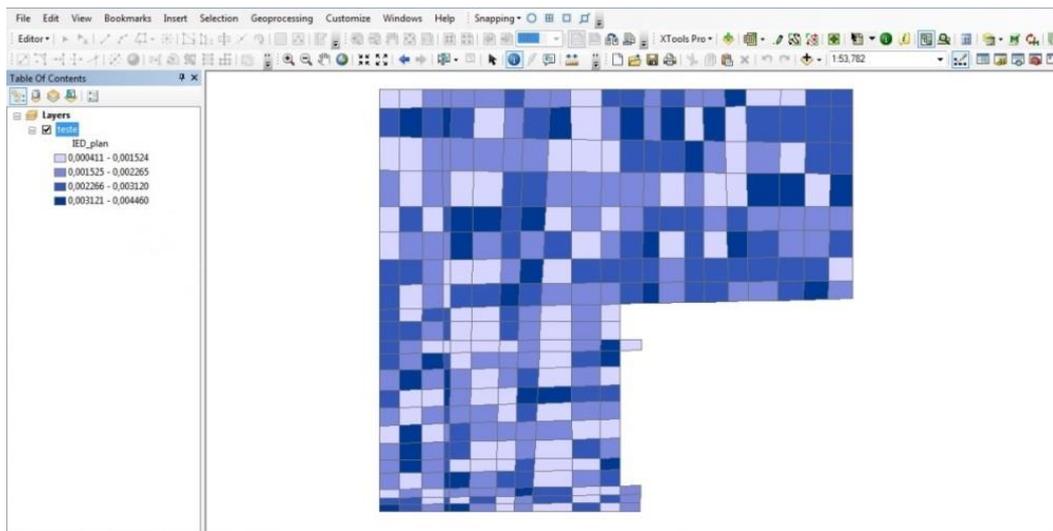


Figura 30: Elaboração de polígonos fictícios para o cálculo estatístico do IED a partir dos cálculos feitos em excel.

5.10. Estabelecimento dos valores padrões de IED para as diferentes ordens de bacias

Após a criação dos polígonos e a classificação estatística dos valores de IED em classes, foram estabelecidos os valores, ou limiares para cada uma das classes de IED, conforme a sua metodologia de cálculo (Superfície Planimétrica ou Modelada). A figura 31, exemplifica como foram obtidos os valores de classes de IED através do *ArcGis10.1*®. Neste caso, usou-se como exemplo os valores das 325 bacias de 1ª ordem divididas em 04 classes, onde os valores mais baixos representavam a classe de Baixo IED, a classe seguinte, os valores de Médio IED, e assim por diante. Esses valores serviram para a classificação de cada uma das bacias e também para a elaboração dos gráficos e tabelas que serão mostrados e discutidos no capítulo referente à resultados e discussões.

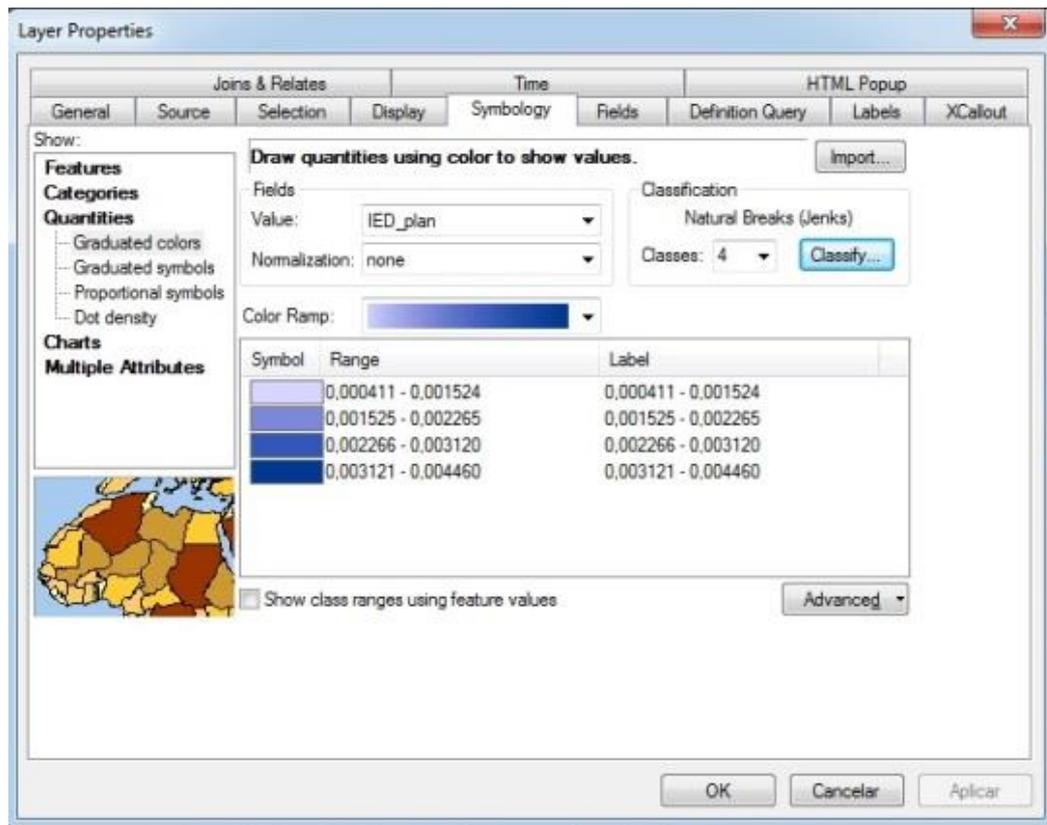


Figura 31: Ilustração referente à classificação quantitativa dos valores de IED. A classes representam valores de Baixo, Médio, Alto e Muito Alto IED (de cima para baixo).

5.11. Relação das classes de IED com as feições erosivas

A relação das respectivas classes de IED com as feições erosivas foi realizada no *ArcGis10.1*®, através do cruzamento das feições erosivas com as bacias de drenagem. Este cruzamento foi realizado através da ferramenta *Intersect*.

Após todos os cruzamentos, foram gerados novos polígonos que representavam às áreas de interseções entre as feições erosivas e as bacias. Todos esses polígonos foram checados caso a caso para evitar casos onde um mesmo evento erosivo tivesse ocorrência em mais de uma bacia, além de servir como observações para a elaboração dos resultados finais.

A síntese final da relação das feições erosivas com os respectivos Índices de Eficiência de Drenagem foi extraída através do cálculo da Densidade de deslizamentos por classes de IED. O cálculo desse índice foi realizado através da relação entre o número de bacias de um determinado IED contendo movimentos de massa, sobre o número total de bacias dessa mesma classe de IED, contando ou não deslizamentos; conforme a equação a seguir:

$$D = N_a / N_t ; \text{ onde:}$$

- N_a = N° total de bacias contendo MM
- N_t = N° total de bacias da mesma classe de IED
- MM = Movimentos de massa

5.12. Elaboração dos mapas finais

A geração dos mapas finais respeitaram os mesmos padrões e exigências cartográficas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo é dividido em 04 partes, com o objetivo de facilitar a compreensão das análises realizadas, além de evitar a sobrecarga de informações ao leitor.

Vale ressaltar, que apesar da divisão em partes, muitas vezes ao longo da leitura de cada uma delas, será necessário a compreensão das abordagens geomorfológicas e cartográficas, que na maioria das vezes são complementares, e foram apresentados na revisão bibliográfica.

6.1. Correção, ajuste e validação das redes de drenagem: Demonstração da importância e dos resultados das metodologias de interpretação, calibração e validação das redes de drenagem, para a construção de uma hidrografia fiel as condições de campo. Como o IED é um parâmetro que leva em conta características como o comprimento dos canais, esta etapa precede todos os outros cálculos e resultados.

6.2. Análises Cartográficas: Adoção da Superfície Modelada ou Planimétrica: Apresentação dos resultados e discussões de caráter cartográfico, revelando as principais diferenças da aplicação da superfície modelada ou planimétrica nos cálculos de parâmetros métricos de bacias de drenagens e índices a elas vinculadas, conforme proposto por Fernandes (2004) e Fernandes *et al.* (2012).

6.3. Análises Geomorfológicas: Resultados do IED nas diferentes ordens de bacia: Esta terceira parte dos resultados, inicialmente mostra a importância da exclusão dos dados extremos ou anômalos das análises, seguida por uma abordagem de caráter mais geomorfológico, onde se descrevem os resultados obtidos através da aplicação do Índice para todas as áreas de estudo. É importante frisar que este índice sempre foi aplicado, discutido e comparado, respeitando as ordens das bacias, e os critérios usados para os cálculos dos parâmetros morfométricos.

6.4. Relação entre o índice de Eficiência de Drenagem e a ocorrência de movimentos de massa: A quarta e última parte deste capítulo, busca revelar e discutir possíveis relações entre as classes qualitativas de IED criadas e a

ocorrência de movimentos de massa. Para isso, foram usadas apenas as bacias do Córrego Dantas, Quitite e Papagaio, pois são áreas onde existe um inventário de cicatrizes para possível correlação.

6.1. Correção, ajuste e validação das redes de drenagem

Como demonstrado por Coelho Netto *et al.* 2007; um dos componentes principais do IED é a densidade de drenagem, parâmetro geomorfológico que relaciona parâmetros métricos relacionados à resposta hidrológica de bacias de drenagem, como principalmente o comprimento dos canais, além dos comprimentos dos eixos de concavidades, gradiente e sua respectiva área de drenagem.

Com o intuito de elaborar uma rede hidrográfica mais aproximada e fiel a realidade de campo das diferentes áreas, optou-se pelo uso de metodologias que permitissem tal detalhamento. Para atingir tal acurácia, fez-se uso de técnicas como a interpretação estereoscópica de fotografias aéreas em uma escala apropriada para tal, conjugado, quando possível e necessário por uma validação de campo, com suporte de GPS de mão e carta topográfica impressa em escala adequada, como mostrado na metodologia do trabalho.

A tabela abaixo (tabela 07) especifica quais foram as metodologias de ajuste, calibração e validação da drenagem para cada uma das áreas de estudo.

Tabela 7: Detalhamento dos métodos e ferramentas de ajuste e correção das redes hidrográficas para cada uma das áreas de estudo.

Área de Estudo	Metodologia de validação da drenagem
Angra	Estereoscopia + Controle de campo + Informações de cartas topográficas
CNAAA	Controle de campo + Informações de cartas topográficas
C. Dantas	Estereoscopia + Controle de campo + Informações de cartas topográficas
Quitite e Papagaio	Estereoscopia + Informações de cartas topográficas

Após todos esses procedimentos, observou-se um aumento dos comprimentos totais das drenagens relacionadas ao Córrego Dantas e também ao Maciço da Tijuca (figuras 33 e 34). Apesar das bases cartográficas originais destas áreas, estarem em uma escala apropriada para revelar canais considerados de primeira ordem, os

critérios metodológicos usados pela pessoa responsável pela confecção das mesmas, nestes dois casos, foi avaliada como insuficiente para revelar canais de baixa ordem hierárquica.

Em relação à área de estudo referente à região central do município de Angra dos Reis, houve uma acentuada redução no comprimento total da drenagem. Este fato justifica-se, pois a drenagem prévia, oriunda do projeto GEOHECO/SEA 2011, foi criada usando o software *Archydro* (figura 32). Apesar de esta ferramenta ser amplamente usada na literatura para a elaboração de redes hidrográficas, as avaliações, baseadas na experiência de campo, mostram em muitos casos, um exagero, desta ferramenta, criando principalmente diversos canais de primeira ordem, que na verdade não existem, ou na verdade são bacias de ordem zero, ou eixos de concavidades, assim como propôs Tsukamoto *et al.* (1973). Quando foi realizada a re-interpretação da hidrografia desta área através da estereoscopia, observou-se que na verdade muitas dessas feições, erroneamente interpretadas como canais, passaram a ser, na verdade eixos de concavidades.

Para a área de estudo da Usina Nuclear de Angra dos Reis (CNAAA), desde a elaboração do projeto ELETROBRAS/COPPETEC. (2012), foi confeccionada uma rede hidrográfica baseada em informações de cartas topográficas e controles de campo, portanto, considera-se a rede hidrográfica desta área de estudo, suficientemente adaptada às reais condições de campo (tabela 08).

Tabela 8: Valores relativos aos comprimentos totais das drenagens em cada uma das áreas de estudo, antes e depois do ajuste de campo e/ou da estereoscopia. Como a hidrografia da área de estudo “CNAAA” foi estabelecida unicamente através de investigações de campo, a mesma permaneceu inalterada. **SP**: Superfície Planimétrica; **SM**: Superfície Modelada.

Área de Estudo	Hidrografia prévia (Km)		Hidrografia corrigida (Km)	
	SP	SM	SP	SM
Angra	41,9	44,7	24,9	26,2
CNAAA	-	-	-	-
C. Dantas	138,3	143,2	173,8	181,5
Quitite e Papagaio	14,6	15,8	16,5	18,7

Mark (1983) discute a diferença entre as redes hidrográficas obtidas através de mapas, através de controles de campo, além de outras metodologias. Este autor indica que as feições presentes em campo, muitas vezes são simplificadas a partir da

generalização cartográfica. Por esse motivo, muitos canais de primeira ordem representados nos mapas, dependendo da escala, podem conter alguma ramificação, o que na realidade altera parâmetros básicos como o seu comprimento, ordem da bacia hidrográfica e a densidade de drenagem. Por todos esses motivos, a definição da rede de drenagem mais fiel à realidade de campo é de extrema importância nesse tipo de análise.

O problema relacionado a definição da rede de drenagem, abordado no presente trabalho, é discutida também por Gregory (1966), que diz que a utilidade de parâmetros como a densidade de drenagem pode ficar comprometida pelo método usado para delimitar a rede de drenagem e também pelos mapas em que a rede se baseia. Uma gama considerável de valores de densidade de drenagem já foi encontrada a partir de diferentes áreas (por exemplo, Cotton (1964) *apud* Gregory e Walling (1968)), mas estas variações devem ser consideradas em relação à: escala do mapa, exatidão, os métodos de construção da rede de drenagem, e o que ele chamou de variação do operador, ou pessoa responsável por elaborar as redes de drenagem de certo mapa.

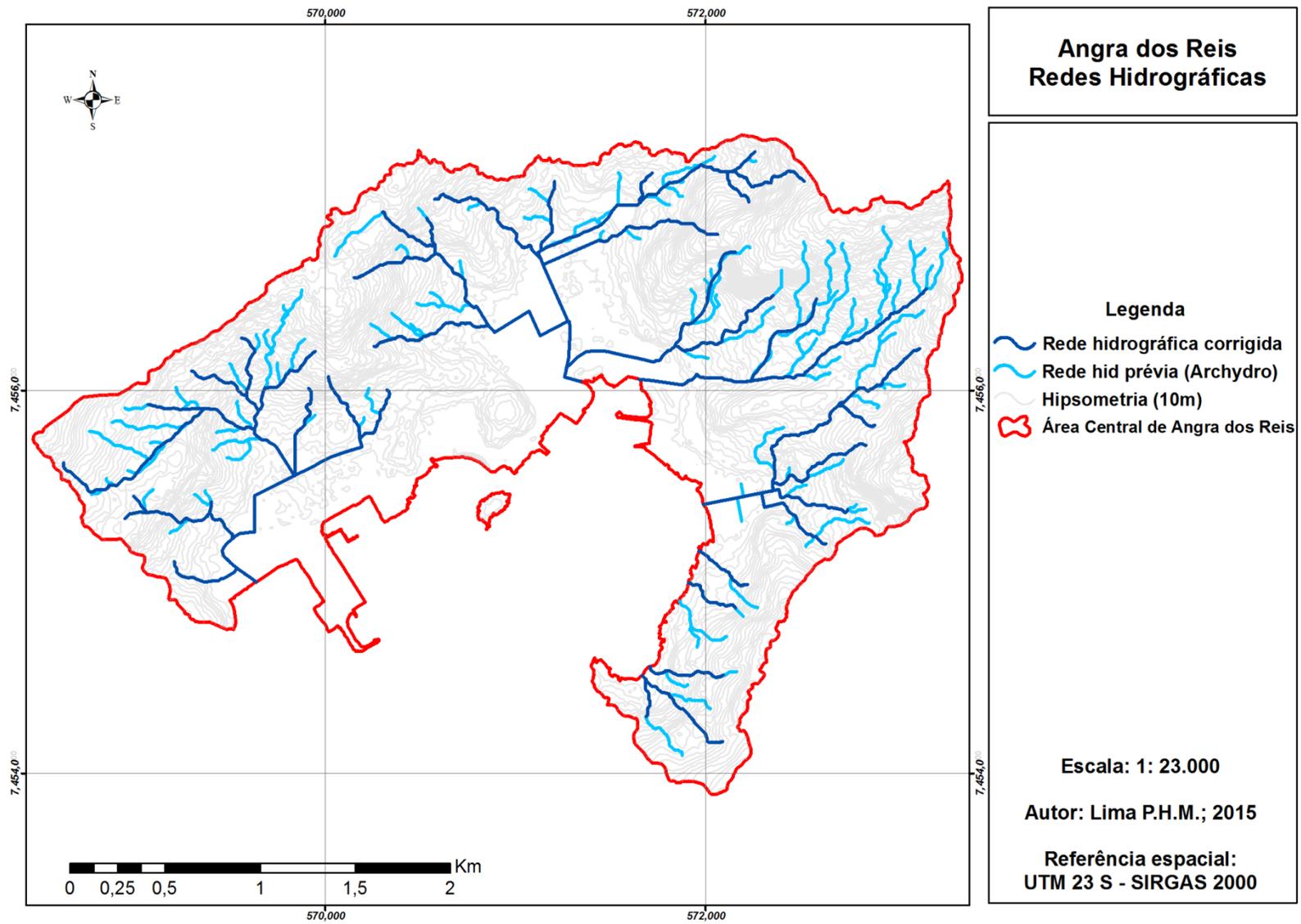


Figura 32: Mapa representando as diferenças entre as redes hidrográficas da área de contribuição que drena para o município de Angra dos Reis.

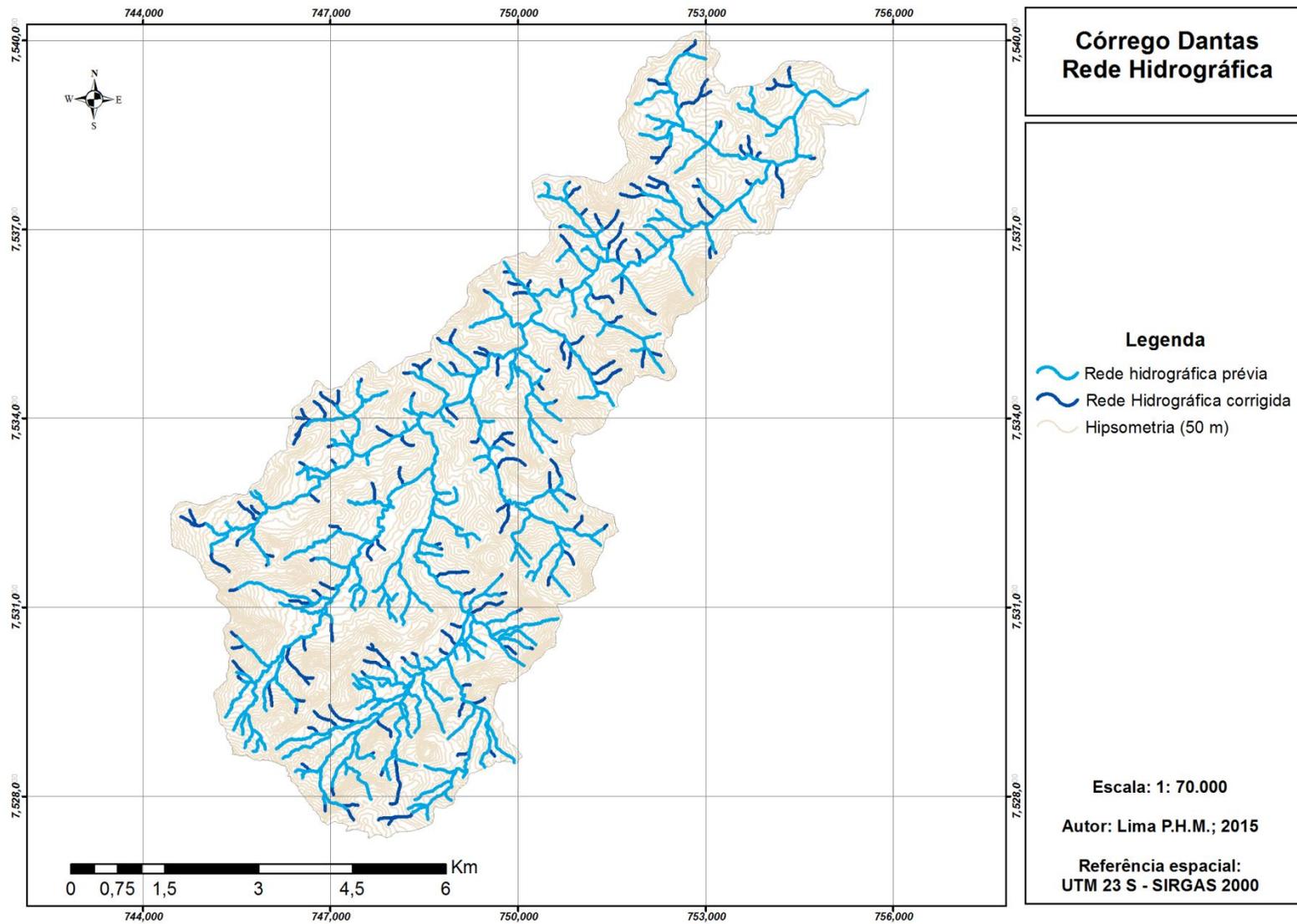


Figura 33: Mapa representando as diferenças entre as redes hidrográficas da bacia do Córrego Dantas. A correção da rede hidrográfica foi feita através de estereoscopia e de investigações de campo.

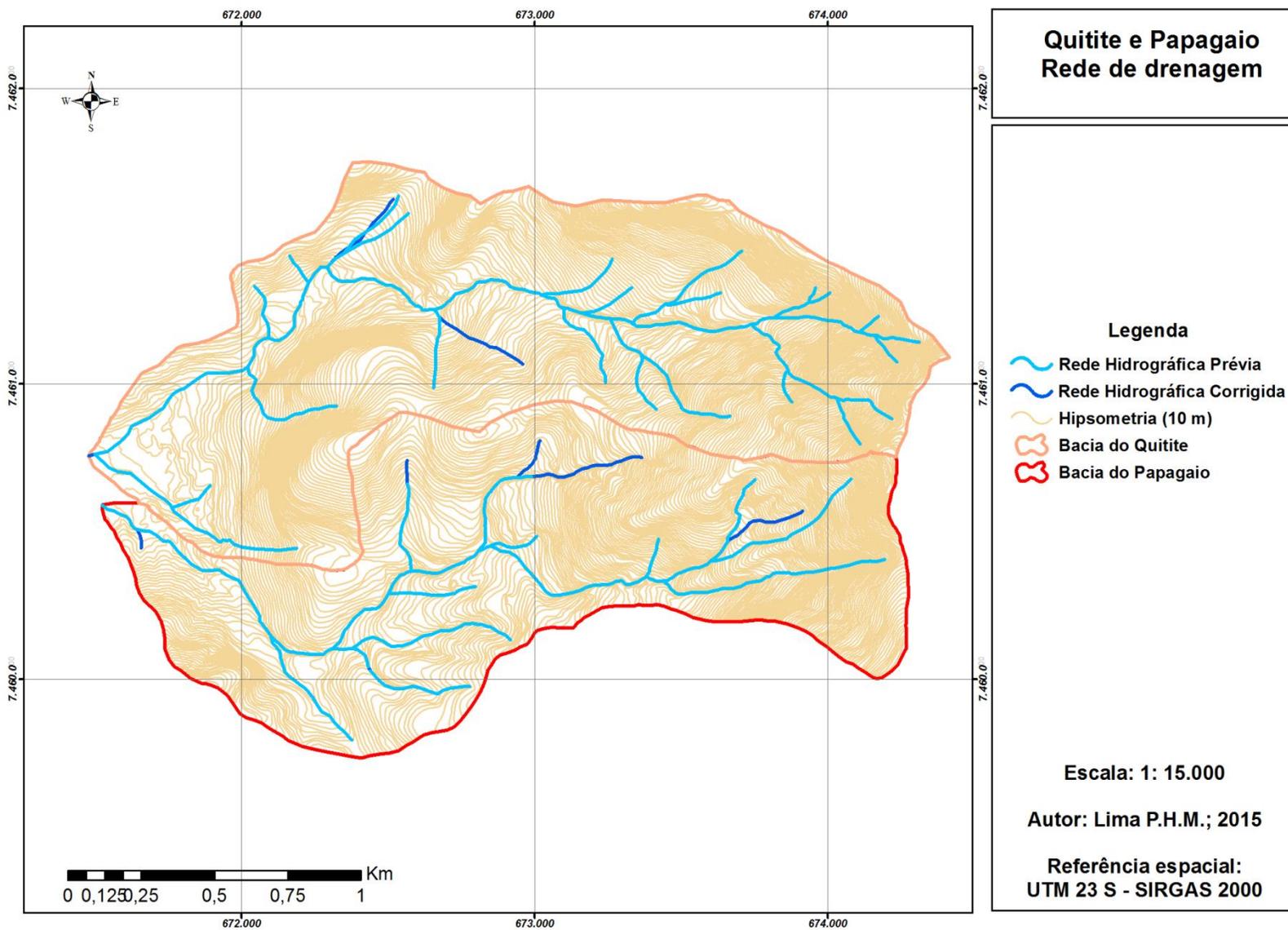


Figura 34: Mapa representando as diferenças entre as redes hidrográficas das bacias do Quitite e Papagaio.

6.2. Análises Cartográficas: Adoção da Superfície Modelada ou Planimétrica

Como mostrado em trabalhos como os de Fernandes (2004 e 2009), Fernandes *et al.* (2012) e Vieira (2010), existe uma diferença significativa nos cálculos métricos de feições morfológicas e cartográficas, quando usada a metodologia de cálculo em superfície real ou planimétrica, através de do uso de técnicas e programas de Geoprocessamento. Como os parâmetros básicos de cálculo do índice em questão, são parâmetros métricos, optou-se por investigar e discutir a relevância da aplicação das duas diferentes metodologias de cálculo.

O presente trabalho, para as 04 áreas de estudo, encontrou uma tendência semelhante aos trabalhos supracitados, onde tanto as áreas e comprimentos das feições tiveram um acréscimo quando calculadas sob a metodologia de superfície modelada. Este fato é explicado pela existência de morfologia natural do terreno (Geomorfologia), que quando adotada a planimetria, não são computadas. A adoção da planimetria representa os dados geográficos sobre um plano, sendo assim, quaisquer tipo de paisagens, que na verdade possuem formas variadas, quando visualizadas através desta perspectiva, são simplificadas, subestimando distâncias e áreas.

Porém esta tendência tende a se inverter, quando efetuamos os cálculos do IED. Para se justificar isto, é necessário recorrer à fórmula básica de cálculo do índice e também ao adiantamento de uma observação geral dos resultados, que é comum aos trabalhos supracitados e relacionados ao tema. Como foi visto na discussão bibliográfica, o IED é calculado através da multiplicação da densidade de drenagem (somada aos eixos de concavidade), pelo gradiente da bacia. Assim, como o cálculo da densidade de drenagem é obtido através da soma dos comprimentos de canais de uma bacia, somado aos comprimentos de eixos de concavidades, sobre a área da bacia, sendo a área inversamente proporcional tanto à densidade de drenagem, quanto ao IED. Este fato é importante, porque como visto nesse e em outros estudos, quando calculada em superfície modelada, as áreas, têm um maior acréscimo percentual do que em relação aos comprimentos. Justifica-se nessa passagem, a redução de índices como a Densidade de drenagem e o IED, que são, portanto, superiores em superfície planimétrica.

6.2.1. Bacias de 1º ordem

A tabela 09 pretende mostrar as diferenças médias quando adotadas os cálculos sobre as duas diferentes metodologias. Nesta mesma tabela, é possível observar o comportamento (aumento ou redução) das áreas, comprimentos ou valores de feições ou índices como os comprimentos dos canais, eixos de concavidades (hollows), eixos principais, além das áreas, densidade de drenagem e IED, para cada uma das áreas de estudo.

Tabela 9: Diferenças encontradas para os cálculos entre Superfície Planimétrica (SP) e Superfície Modelada (SM) aplicadas à bacias de 1º ordem. DDh: Densidade hidrográfica, levando em consideração os eixos de concavidades.

Área de estudo	Diferença áreas (%)	Diferença Canais (%)	Diferença hollows (%)	Diferença DDh (%)	Diferença IED (%)
Angra	15,56	6,94	13,97	5,84	16,17
CNAAA	16,56	7,42	14,77	7,61	21,62
C. Dantas	15,33	6,70	9,13	7,29	18,63
Quitite e Papagaio	18,51	10,03	10,77	7,66	20,86
Média	16,49	7,77	12,16	7,10	19,32
Desvio padrão	1,25	1,33	2,30	0,74	2,12
Síntese	S.PLAN < S.MOD	S.PLAN < S.MOD	S.PLAN < S.MOD	S.PLAN > S.MOD	S.PLAN > S.MOD

Em síntese, esta tabela, aponta um acréscimo médio das áreas das bacias em cerca de 16%; e comprimentos com acréscimos variando de 7 a 10%, quando se calculados através da metodologia de superfície modelada. Em relação aos índices como a densidade de Drenagem e o IED, ocorre um aumento dos valores, quando se calculados em planimetria. Isso se justifica pela maior acréscimo de valores inversamente proporcionais à esses índices, como as áreas (16%) em relação aos comprimentos (aproximadamente 10%).

Analisando-se caso a caso, observa-se maiores diferenças tanto de áreas e comprimentos para o Maciço da Tijuca, assim como superiores diferenças de densidade de drenagem e IED para a área da Usina Nuclear. Vale ressaltar que apesar desses valores estarem superiores aos outros, estão muito próximos às médias das quatro áreas e na maioria das vezes dentro ou próximos aos limiares positivos e negativos do desvio padrão (tabela 09).

6.2.2. Bacias de 2º ordem

As análises relativas às bacias de 2º ordem (tabela 10), em geral, revelam um comportamento semelhante às de primeira ordem, com variações positivas em relações às áreas (16%) e comprimentos (aproximadamente 9%) quando em superfície modelada, e redução dos índices (DD e IED) de 6,75% e 19,98% respectivamente. A redução dos valores dos índices pode ser explicada pela mesma justificativa encontrada nas bacias de 1º ordem, que é um maior aumento percentual de denominadores do índice, como as áreas em relação aos comprimentos, que por sua vez, são diretamente proporcionais.

Tabela 10: Diferenças encontradas para os cálculos entre Superfície Planimétrica (SP) e Superfície Modelada (SM) aplicadas à bacias de 2º ordem. DDh: Densidade hidrográfica, levando em consideração os eixos de concavidades. Os valores relativos à área de estudo "CNAAA" não constam na tabela porque não foram trabalhados para bacias de 2º ordem.

Área de estudo	Diferença áreas (%)	Diferença Canais (%)	Diferença hollows (%)	Diferença DDh (%)	Diferença IED (%)
Angra	14,03	6,11	12,54	5,48	12,27
CNAAA	-	-	-	-	-
C. Dantas	15,22	6,07	9,35	7,55	16,85
Quitite e Papagaio	18,92	10,79	17,16	7,23	30,81
Média	16,06	7,66	13,02	6,75	19,98
Desvio padrão	2,08	2,21	3,21	0,91	7,88
Síntese	S.PLAN < S.MOD	S.PLAN < S.MOD	S.PLAN < S.MOD	S.PLAN > S.MOD	S.PLAN > S.MOD

Individualmente, percebe-se que os dados das bacias do Maciço da Tijuca, apesar de sofrerem maiores alterações, em relação aos outros, estes mesmos não se mostram muito acima da média dos resultados, e nem dos limiares positivos e negativos dos desvios padrões.

Em geral, observa-se uma tendência de acréscimo de comprimento e áreas quando calculadas sobre a ótica da superfície modelada, e um decréscimo de índices como a densidade de drenagem e IED, justamente por ambos serem inversamente proporcionais à área da bacia, que tem os acréscimos percentuais mais significativos (média de 16% tanto para bacias de 1º e 2º ordem).

Em relação aos índices, a metodologia de cálculo referente à planimetria, representou um acréscimo médio de 7% na densidade de drenagem e um acréscimo médio de 19% no IED.

Os resultados encontrados por este trabalho vão de encontro com os resultados obtidos na bibliografia. Por exemplo, os trabalhos de Fernandes *et al.* (2012) e Vieira *et al.* (2010), que apontaram que o uso de superfície planimétrica causa uma significativa diferença em relação a adoção da superfície modelada. O trabalho de Fernandes *et al.* (2012) mostra relevantes diferenças ao se comparar a utilização de uma superfície ou de outra. Essas principais diferenças se deram em parâmetros morfométricos como o comprimento de drenagem, área de bacias, densidade de drenagem e o IED. Neste mesmo trabalho, avaliando o comportamento morfométrico de bacias de segunda ordem no maciço da Tijuca, o autor apontara que o comprimento total dos canais de drenagem apresentou uma variação de 4,24%, foi relatado também um valor de 11,36% de diferença da área total das bacias e uma alteração de mais de 7% na densidade de drenagem. Como por sua vez o IED, que é calculado em cima dos dados supracitados, este índice apresentou uma variação que chegou até 27% em algumas bacias. Tendo em vista essas alterações causadas pelo uso da superfície planimétrica ou modelada, propõe-se uma discussão baseada na adoção de parâmetros sob as diferentes origens.

6.3. Análises Geomorfológicas: Resultados do IED nas diferentes ordens de bacia

O Índice de Eficiência de Drenagem foi calculado para todas as quatro áreas de estudo. Depois de calculados, o conjunto amostral de dados foi agrupado por características semelhantes, como a ordem das bacias, e a metodologia de cálculo de parâmetros (Superfície Modelada ou planimétrica). Porém, análises iniciais revelaram a presença de alguns valores extremos, que poderiam gerar uma tendência errônea na interpretação dos dados. Esses dados são comumente denominados de *outliers* segundo a literatura especializada e são estatisticamente passíveis de detecção em um conjunto amostral através da equação apresentada nos capítulos anteriores. Como esses valores anômalos poderiam ser frutos de erros ou falhas dos dados de entrada e, além disso, possuem uma baixa representatividade no total de dados, optou-se pela exclusão dos mesmos nas análises posteriores.

A tabela 11 mostra o comportamento estatístico de cada uma das áreas de estudo, através da determinação dos seus valores máximos, mínimos, média e mediana além do comportamento denominada “Unificada”, que foi realizado usando todas as áreas de estudo conjugadas, dependendo apenas da ordem da bacia ou metodologia de cálculo. A análise dessa tabela revela um comportamento parecido em relação às médias, medianas, e valores mínimos para todas as bacias. Porém elas variavam muito em relação aos valores máximos, justificado pela presença dos valores extremos, ou *outliers*, que foram posteriormente excluídos.

A semelhança, principalmente em relação aos valores relativos às médias e medianas, mostram um comportamento numérico comum à todas as áreas de estudo. Esta característica já era esperada, pois todas as áreas de estudo se encontram sob a mesma natureza e característica geomorfológica, ambas em ambiente montanhoso.

Tabela 11: Caracterização dos valores de IED aplicados à bacias de primeira ordem para as quatro áreas de estudo. A área chamada "Unificada" representa a união de todas as outras quatro áreas de estudo.

	Primeira ordem									
	Superfície Planimétrica					Superfície Modelada				
	Angra	C.NAAA	C.Dantas	Quitite e Papagaio	Unificada	Angra	C.NAAA	C.Dantas	Quitite e Papagaio	Unificada
Mínimo	0,00046	0,00083	0,00041	0,00100	0,00041	0,00041	0,00072	0,00039	0,00083	0,00039
Mediana	0,00215	0,00201	0,00205	0,00182	0,00214	0,00181	0,00160	0,00176	0,00154	0,00179
Máximo	0,00384	0,00283	0,00696	0,00557	0,00696	0,00324	0,00238	0,00596	0,00445	0,00596
Média	0,00222	0,00189	0,00235	0,00222	0,00231	0,00190	0,00159	0,00197	0,00180	0,00193

Aplicando-se a equação de definição de *outliers* para as bacias de primeira ordem, chegou-se aos seguintes valores numéricos: Para cálculos em superfície planimétrica, valores acima de 0,004664 seriam considerados extremos, assim como para cálculos em superfície modelada, valores acima de 0,003634, também seriam considerados extremos e, portanto excluídos da análise. Foram excluídas, portanto ao todo 21 dessas bacias (6%), sendo 18 no Córrego Dantas e 03 no Maciço da Tijuca. Portanto, a qualificação do índice segundo às categorias de Baixo, Médio, Alto e Muito Alto levou em conta as 325 bacias restantes, sendo 37 na Região Central de Angra dos Reis, 14 na CNAAA, 253 na Bacia do Córrego Dantas e 21 no Maciço da Tijuca.

Já para as bacias de 2ª ordem, os limiares para consideração de valores extremos, foram: 0,003538 para superfície planimétrica e 0,002901 para superfície modelada. Foram excluídas da análise 04 bacias, ambas situadas no Córrego Dantas.

A partir da exclusão desses dados, o índice foi categorizado através da ferramenta estatística denominada "*Natural Breaks*", presente no software *ArcGis10.1*®. As classes posteriormente foram qualificadas em: Baixo IED, Médio IED, Alto IED e Muito Alto IED, de acordo com a mesma separação fornecida pelo algoritmo do software.

Neste sentido, bacias com o IED classificado como Alto ou Muito Alto, possuem características como elevados gradientes, conjugados com elevadas densidade de eixos de drenagem e/ou concavidade. Por outro lado, os valores baixos do índice, normalmente estão associados à bacias com reduzidos gradientes topográficos e baixas densidade de eixos de drenagem e/ou concavidade.

6.3.1. O IED em bacias de 1º ordem

O resultado obtido através da ferramenta Natural Breaks, usando o valor de IED calculado sobre superfície planimétrica de todas as bacias de 1º ordem de todas as 04 área de estudo, revelou uma divisão em 04 classes, apresentou uma amplitude total variando de 0,00041 à 0,00446, e média de 0,002105. A mesma ferramenta estatística subdividiu às bacias em Baixo IED (0,000411 – 0,001524); Médio IED (0,001525 – 0,002265); Alto IED (0,002266 – 0,00312); e Muito Alto IED (0,003121 – 0,00446) (Figura 35).

Usando a mesma metodologia, porém tomando como base de cálculo os dados de Superfície modelada, a amplitude dos dados variou de 0,000389 à 0,003634, com média de 0,001777. A subdivisão entre as classes foi: Baixo IED (0,000389 – 0,001310); Médio IED (0,001311 – 0,001913); Alto IED (0,001914 – 0,002558); e Muito Alto IED (0,002559 – 0,003634) (Figura 35).

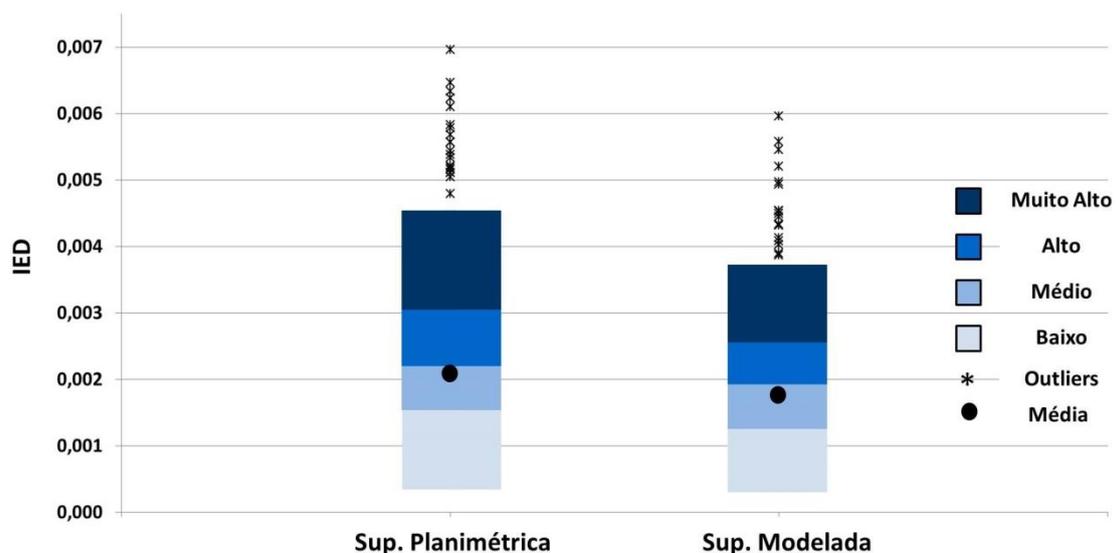


Figura 35: Amplitudes das classes de IED aplicadas às bacias de primeira ordem, sobre a Superfície Planimétrica ou Modelada. Há também a representação da Média (Círculo preto) e dos valores anômalos (asteriscos).

A Figura 36 mostra a distribuição de todas as 325 bacias em relação às suas classes de IED. Vale ressaltar que a grande parte das bacias foram classificadas como de Baixo e Médio IED (mais de 70% dos casos).

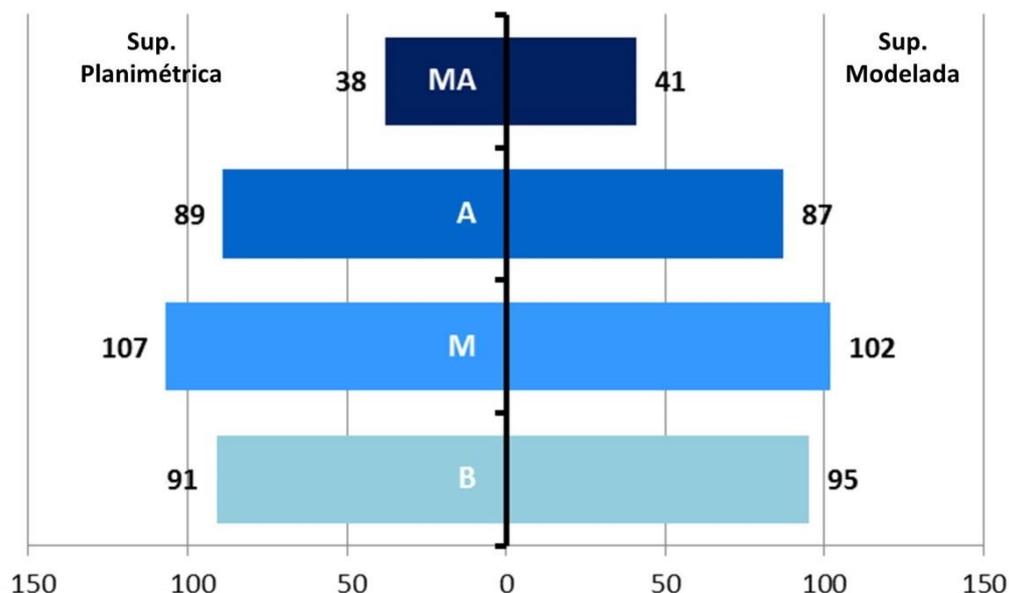


Figura 36: Gráfico representativo da distribuição das 325 bacias em cada uma das classes de IED para bacias de primeira ordem. O eixo inferior do gráfico representa o número de bacias.

Constata-se, que os valores de IED, quando calculados usando os dados de Superfície Planimétrica, são superiores aos valores, relativos aos cálculos de superfície modelada. Isto se justifica pelo mesmo fato que foi discutido no item anterior. Maior aumento percentual das áreas (que na fórmula do IED são inversamente proporcionais), em relação aos comprimentos, (diretamente proporcionais) ao índice.

A observação particular sobre cada uma das áreas de estudo, mostra que mesmo ao se adotar as duas diferentes formas de cálculo de IED, a quantidade de bacias dentro de cada categoria permaneceu bastante semelhante, havendo poucas alterações (figura 37 e tabelas 12 e 13).

Tabela 12: Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de IED, por cada área de estudo para cálculos em Superfície Planimétrica em bacias de primeira ordem.

Superfície Planimétrica 01 ordem					
Áreas de estudo	Bacias com baixo IED	Bacias com médio IED	Bacias com alto IED	Bacias com muito alto IED	Total
Angra	8 (22%)	12 (32%)	10 (27%)	7 (19%)	37
CNAAA	4 (29%)	6 (42%)	4 (29%)	0 (0%)	14
C. Dantas	71 (28%)	81 (32%)	72 (28%)	29 (12%)	254
Quitite e Papagaio	8 (38%)	8 (38%)	3 (15%)	2 (9%)	21

Tabela 13: Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de IED, por cada área de estudo para cálculos em Superfície Modelada em bacias de primeira ordem.

Superfície Modelada 01 ordem					
Áreas de estudo	Bacias com baixo IED	Bacias com médio IED	Bacias com alto IED	Bacias com muito alto IED	Total
Angra	8 (22%)	12 (32%)	9 (24%)	8 (22%)	37
CNAAA	5 (36%)	5 (36%)	4 (28%)	0 (0%)	14
C. Dantas	73 (29%)	79 (31%)	70 (28%)	31 (12%)	253
Quitite e Papagaio	9 (42%)	6 (29%)	4 (19%)	2 (10%)	21

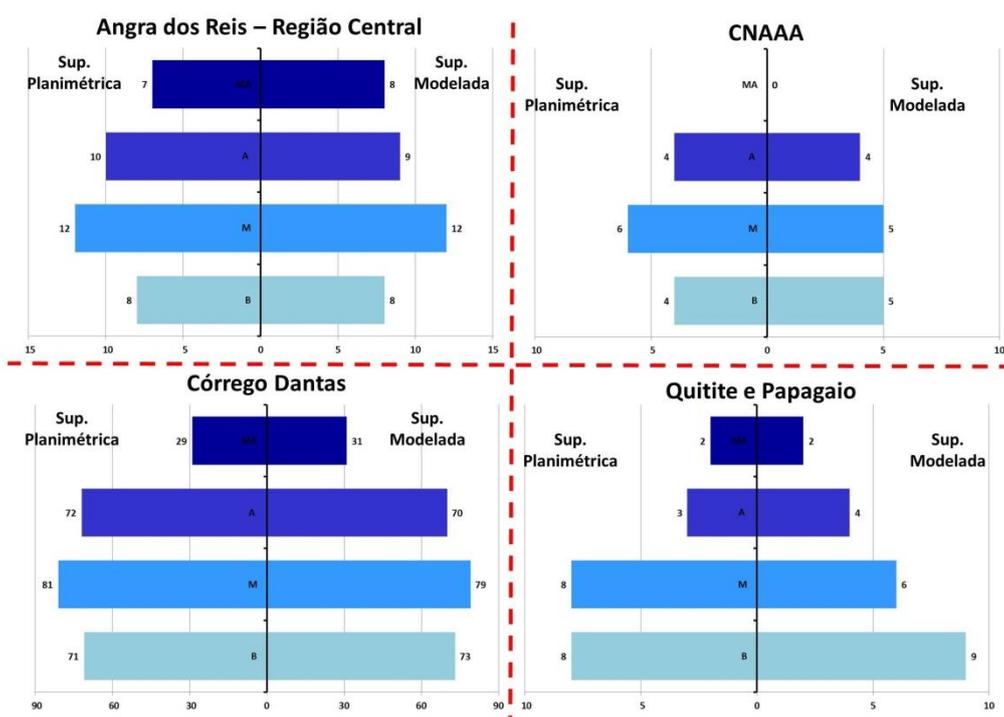


Figura 37: Gráfico representativo da distribuição da quantidade de bacias em cada uma das classes de IED para bacias de primeira ordem e em cada uma das áreas de estudo.

Os mapas a seguir mostram como ficaram as classificações espaciais de cada uma das bacias em sua respectiva área de estudo (figuras 38 – 45).

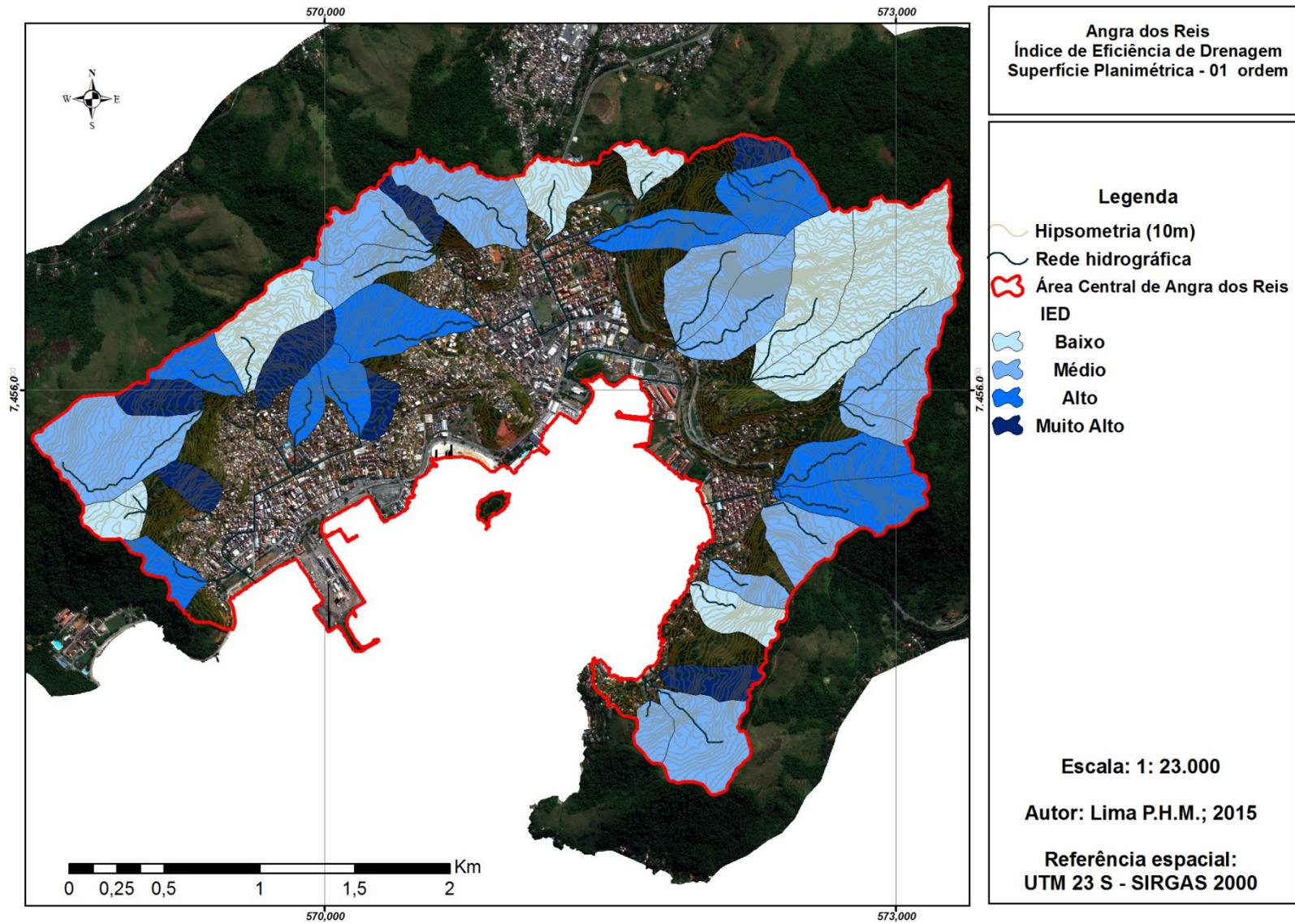


Figura 38: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Área de contribuição da Região Central do município de Angra dos Reis.

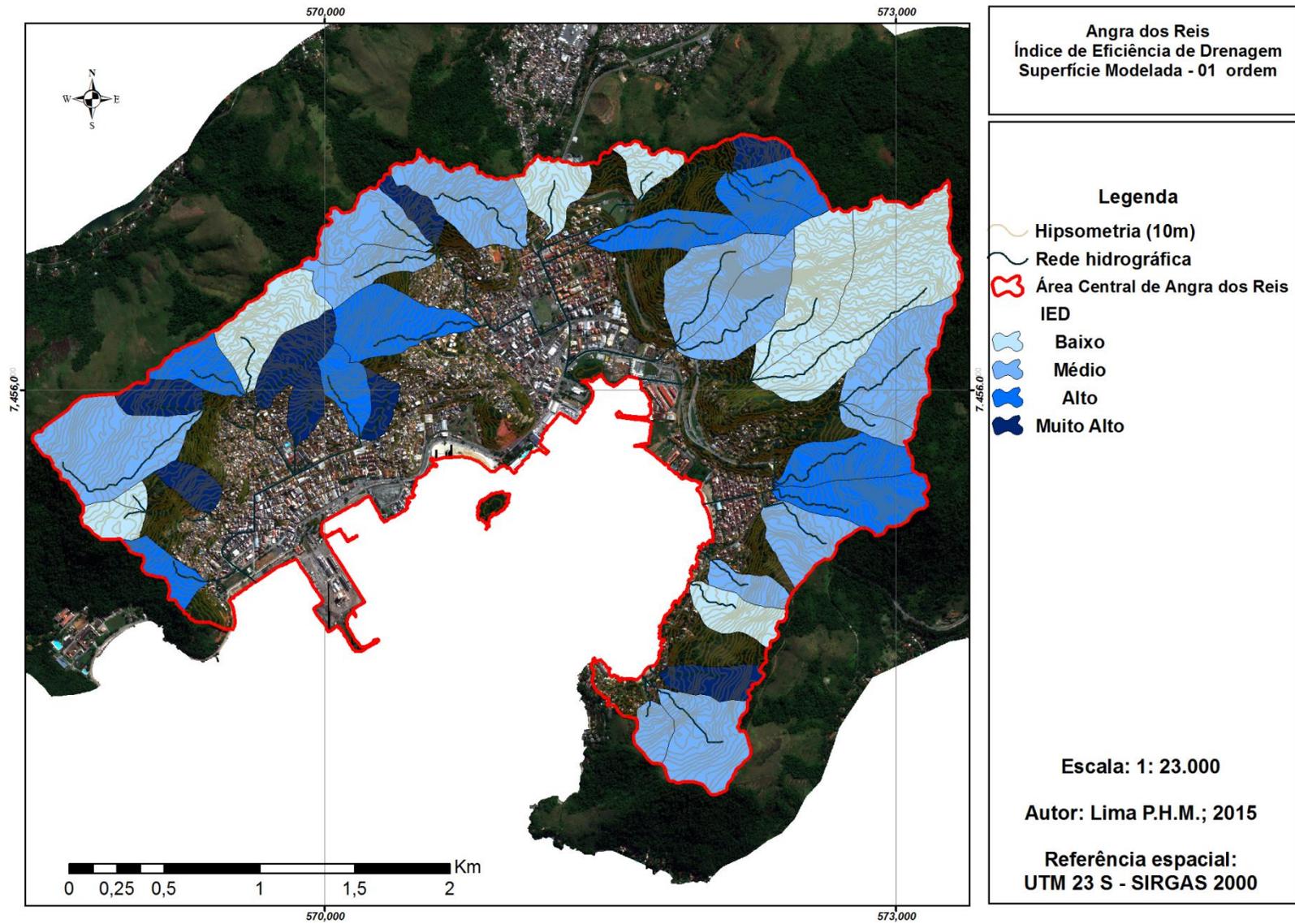


Figura 39: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Área de contribuição da Região Central do município de Angra dos Reis.

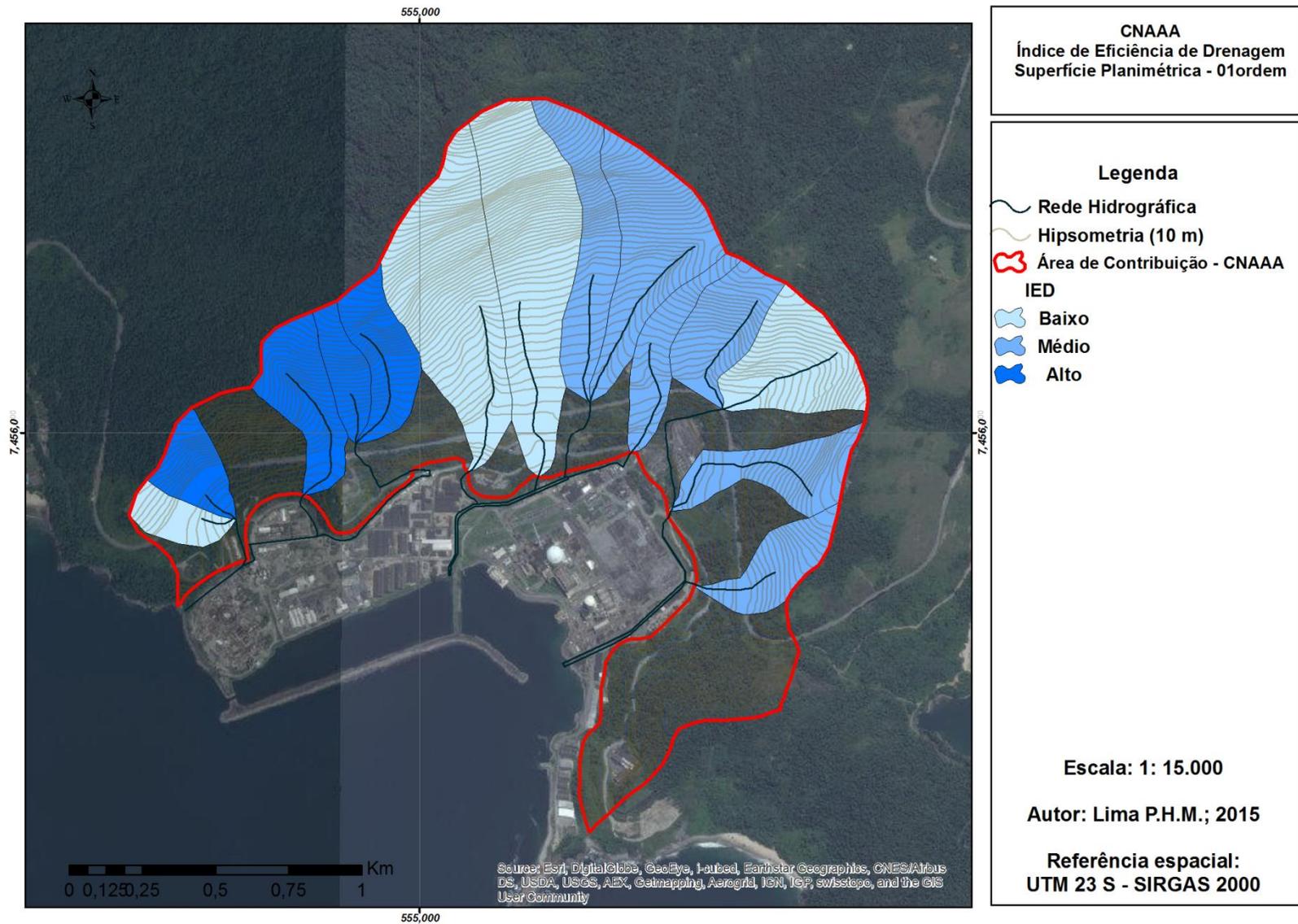


Figura 40: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Área de contribuição da Usina Nuclear (CNAAA).

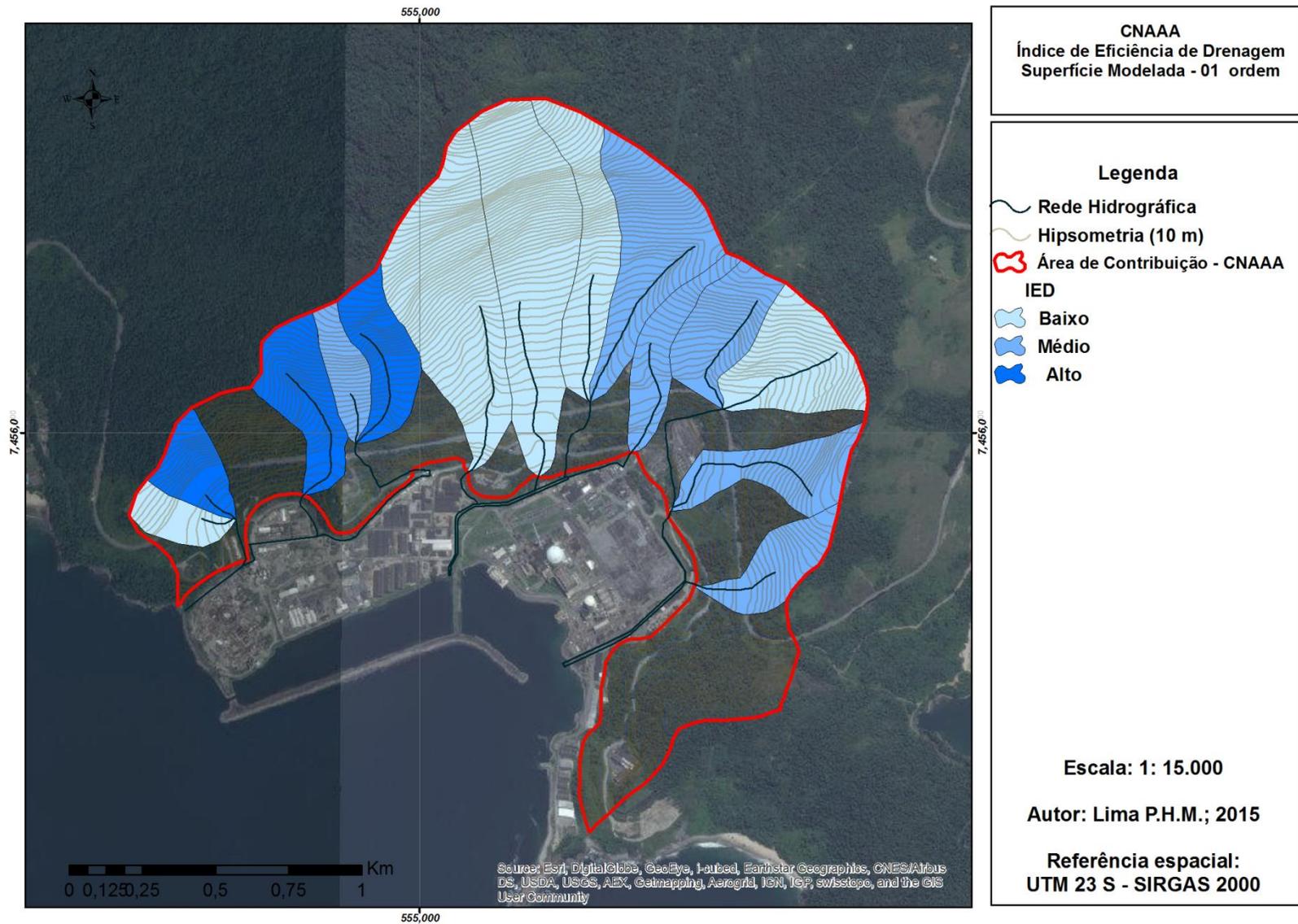


Figura 41: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Área de contribuição da Usina Nuclear (CNAAA).

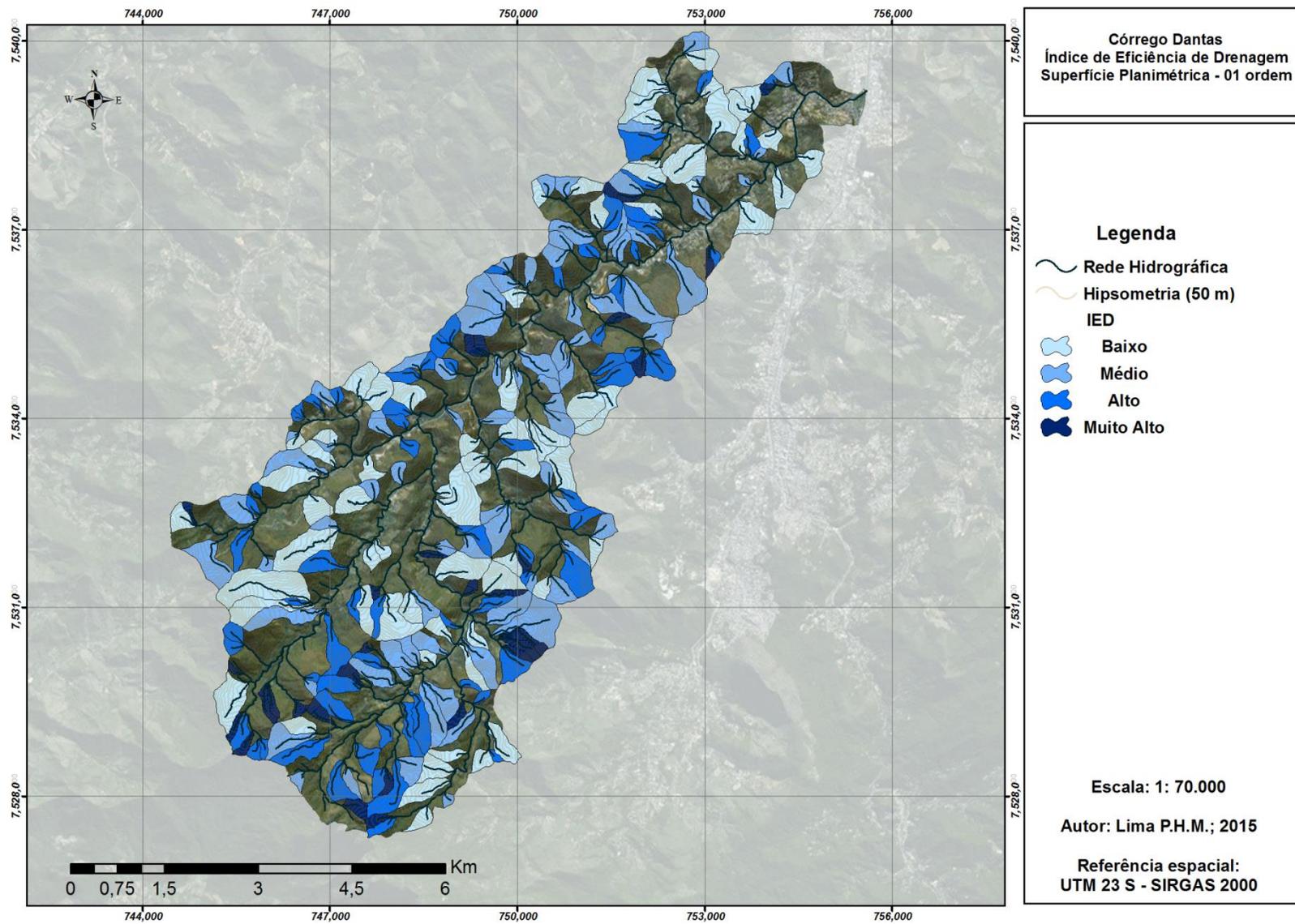


Figura 42: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Bacia do Córrego Dantas. As bacias de primeira ordem não delimitadas são as consideradas como valores anômalos.

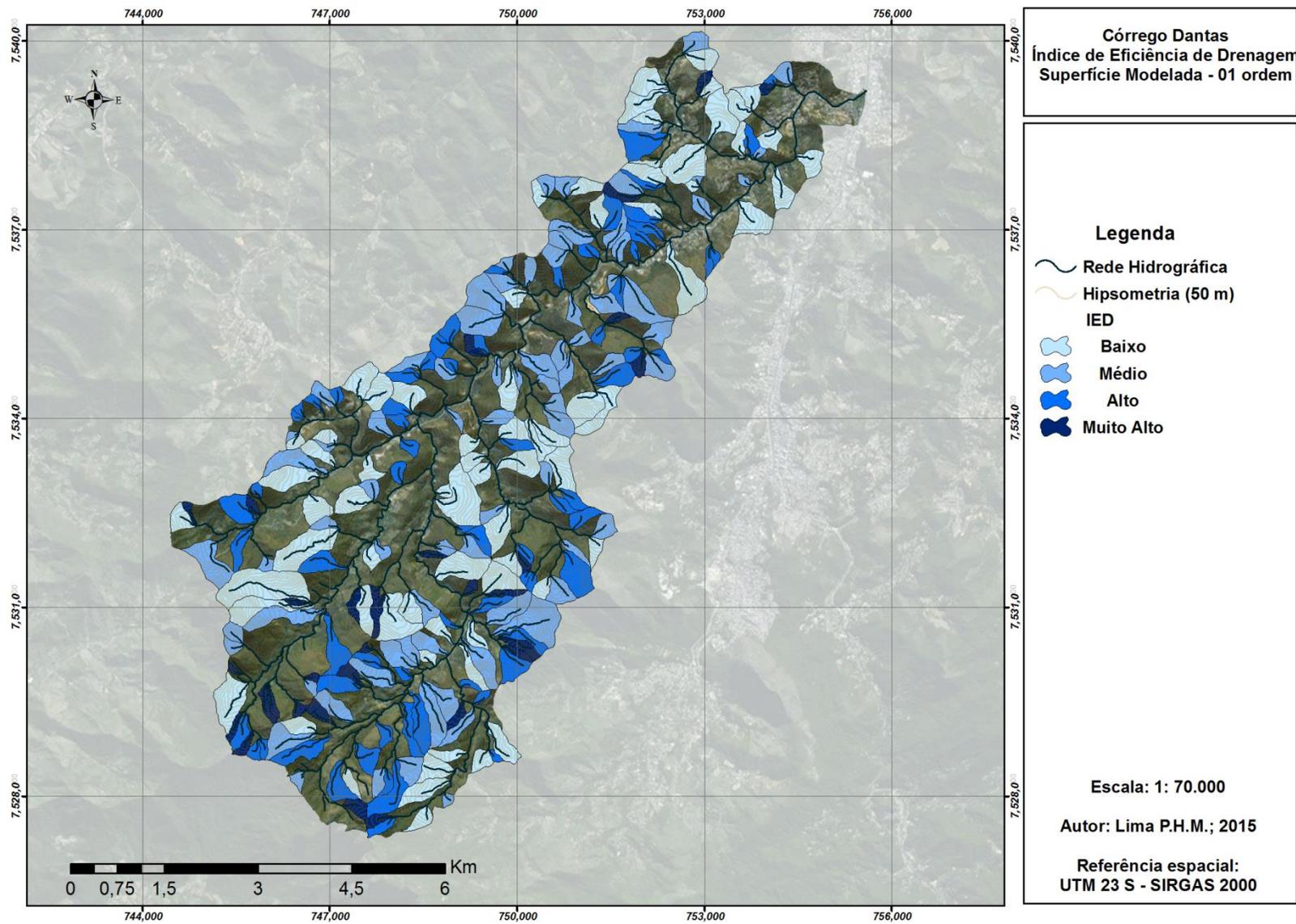


Figura 43: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Bacia do Córrego Dantas. As bacias de primeira ordem não delimitadas são as consideradas como valores anômalos.

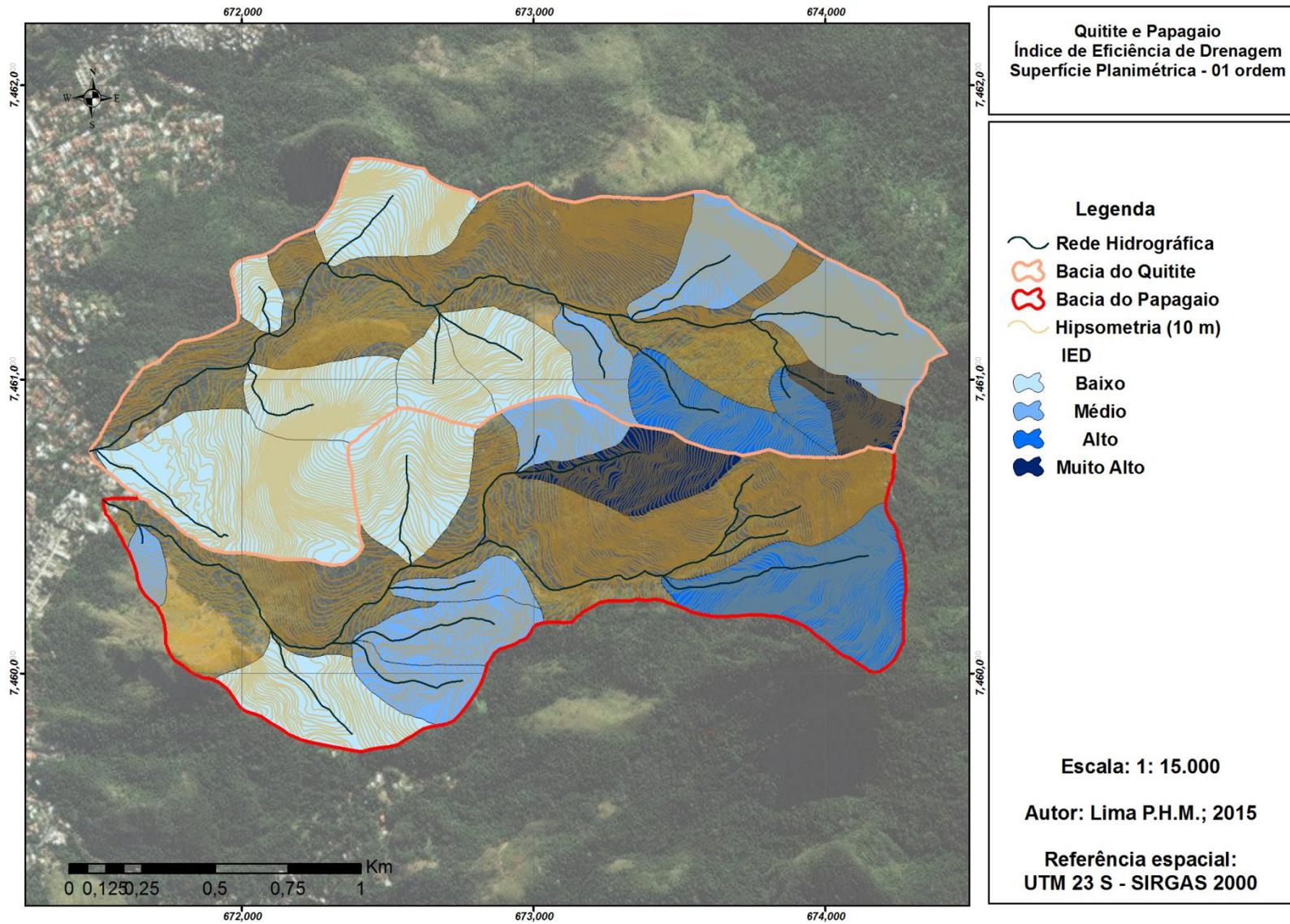


Figura 44: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Bacias do Quitite e Papagaio. As bacias de primeira ordem não delimitadas são as consideradas como valores anômalos.

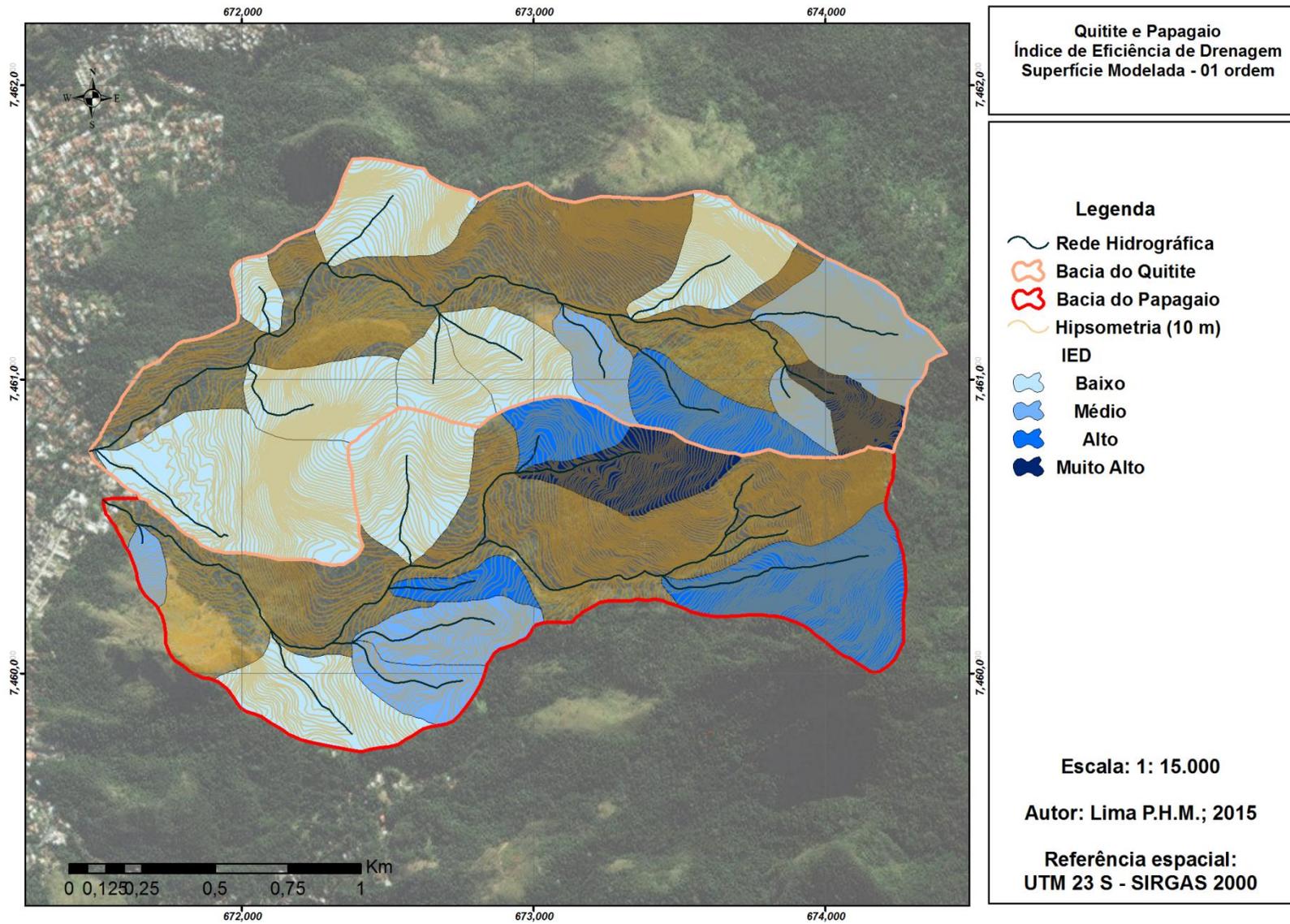


Figura 45: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Bacias do Quitite e Papagaio. As bacias de primeira ordem não delimitadas são as consideradas como valores anômalos.

6.3.2. O IED em bacias de 2º ordem

Assim como na análise das bacias de primeira ordem, os parâmetros estatísticos de cada um das áreas de estudo em relação a sua média e mediana foram bastante próximos, mostrando um definido padrão de comportamento do índice em ambas as áreas de estudo (tabela 14).

Tabela 14: Caracterização dos valores de IED aplicados à bacias de segunda ordem para as quatro áreas de estudo. A área chamada "Unificada" representa a união de todas as outras quatro áreas de estudo.

Segunda ordem								
	Superfície Planimétrica				Superfície Modelada			
	Angra	C.Dantas	Quitite e Papagaio	Unificada	Angra	C.Dantas	Quitite e Papagaio	Unificada
Mínimo	0,00113	0,00066	0,00162	0,00066	0,00102	0,00061	0,00124	0,00061
Mediana	0,00148	0,00177	0,00204	0,00176	0,00132	0,00152	0,00172	0,00151
Máximo	0,00302	0,00487	0,00236	0,00487	0,00269	0,00397	0,00178	0,00397
Média	0,00163	0,00191	0,00202	0,00188	0,00145	0,00162	0,00156	0,00159

Em relação às bacias de 2º ordem, foram reconhecidas no total 87 bacias, sendo 10 na região Central de Angra dos Reis, 5 no Maciço da Tijuca (Quitite e Papagaio), e 72 na bacia do Córrego Dantas. Dentre esse total de 87 bacias, os valores de 4 delas (4,5%; todas inseridas no Córrego Dantas), foram considerados *outliers*, e excluído da classificação final de todas as bacias de 2º ordem que gerou os valores a serem considerados como parâmetros para os cálculos do índice para áreas montanhosas. Os valores considerados outliers foram 0,003499 para os cálculos em Superfície Planimétrica e 0,002788 em Superfície Modelada.

Os resultados gerados para as bacias de 2º ordem, com base nos dados de superfície planimétrica apresentou uma amplitude variando de 0,000662 à 0,003499; com uma média de 0,001775. As classificações de IED respeitaram os seguintes intervalos: Baixo: 0,00062 – 0,001078; Médio: 0,001079 – 0,001666; Alto: 0,001667 – 0,002476; Muito Alto: 0,002476 – 0,003499 (Figura 46).

Quando os cálculos foram feitos usando a superfície modelada, assim como nas bacias de 1º ordem houve uma tendência geral de diminuição dos valores de IED. A amplitude dos valores variou de 0,000609 à 0,002788; com média de 0,00151. Assim, as classes de IED respeitaram os seguintes intervalos: Baixo: 0,000609 – 0,000835;

Médio: 0,000836 – 0,001443; Alto: 0,001444 – 0,002035; Muito Alto: 0,002036 – 0,002788 (figura 46).

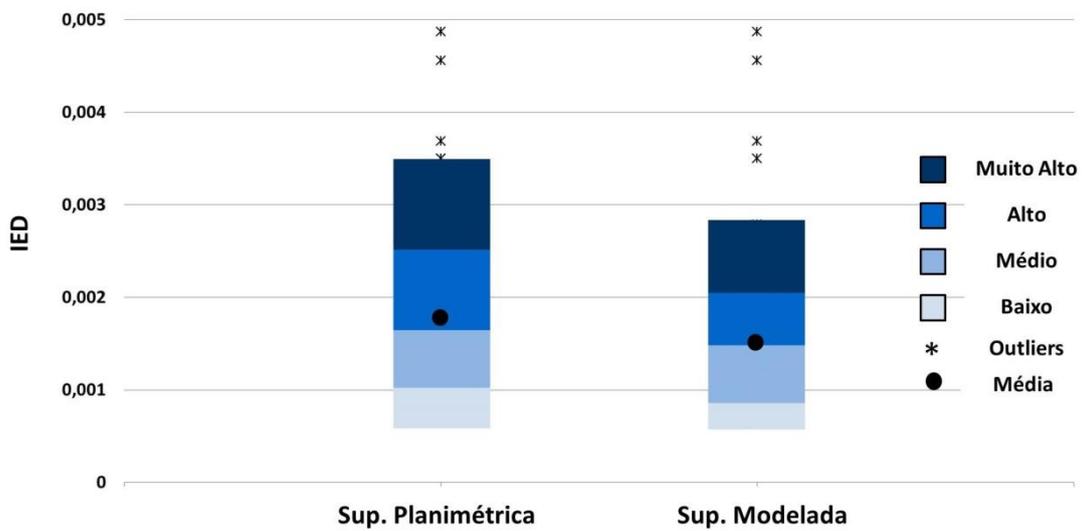


Figura 46: Amplitudes das classes de IED aplicadas à bacias de segunda ordem, sobre a Superfície Planimétrica ou Modelada. Há também a representação da Média (Círculo preto) e dos valores anômalos (asteriscos).

A figura 47 e as tabelas 15 e 16 mostram a distribuição de todas as 83 bacias de segunda ordem em relação às suas classes de IED. Vale ressaltar que a grande parte das bacias foi classificada como de Médio e Alto IED (mais de 80% dos casos).

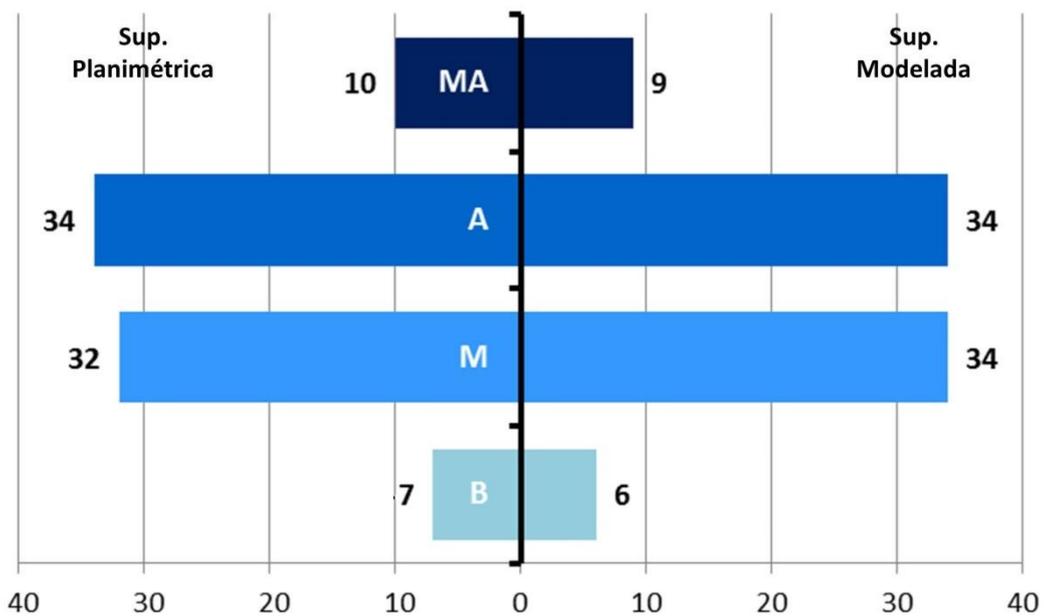


Figura 47: Gráfico representativo da distribuição das 83 bacias de segunda ordem em cada uma das classes de IED. O eixo inferior do gráfico representa o número de bacias.

A distribuição das quantidades de bacias por classes de IED em cada uma das áreas de interesse são reveladas pelas tabelas 15 e 16 e também pela figura 47. É evidente uma melhor distribuição das classes na bacia do Córrego Dantas em relação às outras área de interesse.

Tabela 15: Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de IED, por cada área de estudo para cálculos em Superfície Planimétrica em bacias de segunda ordem.

Superfície Planimétrica 02 ordem					
Áreas de estudo	Bacias com baixo IED	Bacias com médio IED	Bacias com alto IED	Bacias com muito alto IED	Total
Angra	0 (0%)	6 (60%)	3(30%)	1 (10%)	10
C. Dantas	7(10%)	25 (37%)	27 (40%)	9 (13%)	68
Maciço	0 (0%)	1 (20%)	4 (80%)	0 (0%)	5

Tabela 16: Quantidade de bacias (numérico e percentual) por classe de IED, por cada área de estudo para cálculos em Superfície Modelada em bacias de segunda ordem.

Superfície Modelada 02 ordem					
Áreas de estudo	Bacias com baixo IED	Bacias com médio IED	Bacias com alto IED	Bacias com muito alto IED	Total
Angra	0 (0%)	6 (60%)	3 (30%)	1 (10%)	10
C. Dantas	6 (9%)	26 (38%)	28 (41%)	8 (12%)	68
Quitite e Papagaio	0 (0%)	2 (40%)	3 (60%)	0 (0%)	5

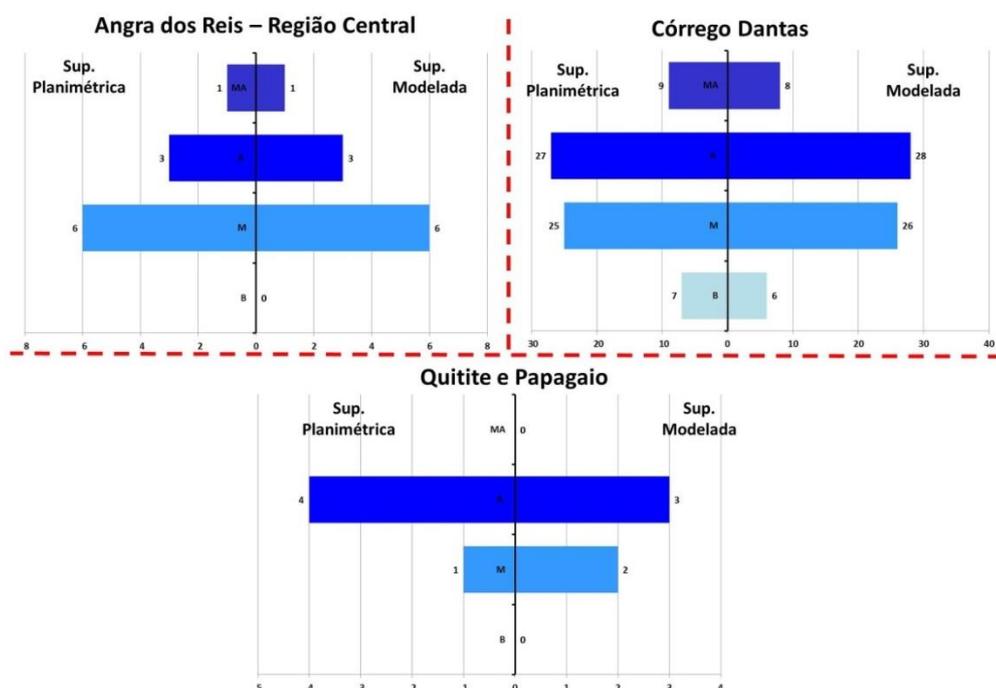


Figura 48: Gráfico representativo da quantidade de bacias em cada uma das classes de IED para bacias de segunda ordem e em cada uma das áreas de estudo.

Os mapas a seguir ilustram a distribuição espacial de das diferentes categorias de IED para cada área de estudo (figuras 50 -55).

A figura 49 revela os valores obtidos em estudos semelhantes onde o IED foi aplicado para bacias de 2º ordem. Vale ressaltar que para o estudo de Araújo, 2014, os valores encontrados foram totalmente discrepantes dos demais estudos, portando não passível de comparação.

Porém os trabalhos de Coelho Netto *et al.* (2007) e Geoheco / SEA (2010) apontaram resultados semelhantes ao presente estudo. As quatro classes encontradas para Geoheco / SEA (2010), foram: Baixo (< 0,00181), Médio (0,00182 – 0,00278), Alto (0,00279 – 0,00375) e Muito Alto (> 0,00376). Já Coelho Netto *et al.* 2007, dividiu os valores de IED em três classes: Baixo (<0,001); Médio (0,0011 – 0,003); Alto (>0,0031).

Vale ressaltar que estes estudos não indicaram a presença de outliers, nem as informações referentes à valores mínimos, médios e máximos.

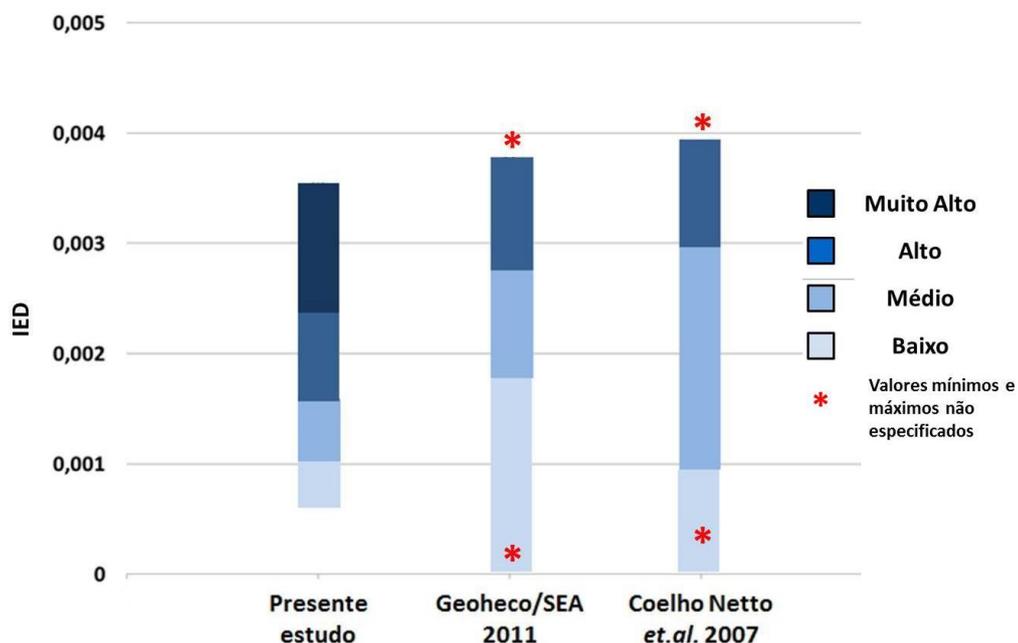


Figura 49: Representação comparação das amplitudes de classes de IED do presente estudo, Geoheco/SEA 2011, e Coelho Netto *et al.* (2007). Os asteriscos vermelhos indicam que os valores mínimos e máximos não foram informados.

Os valores relativamente superiores encontrados nos estudos comparativos acima citados, podem ser justificados: No trabalho Geoheco/ SEA 2010, não foram utilizados os comprimentos de eixos de concavidades das bacias, aumentando conseqüentemente a densidade de drenagem e por fim o índice.

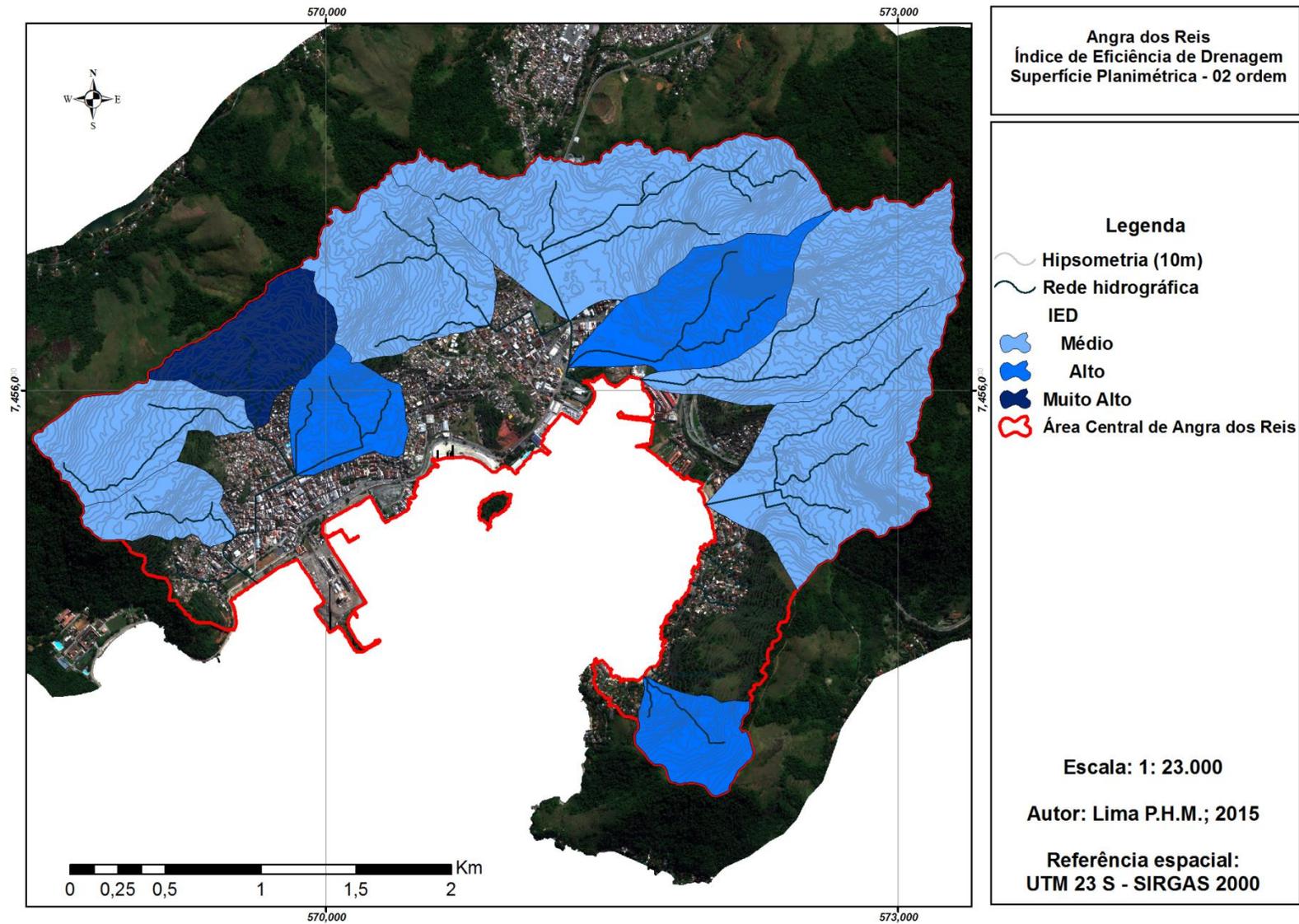


Figura 50: Mapa identificando as bacias de segunda ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Área de contribuição da região Central do município de Angra dos Reis.

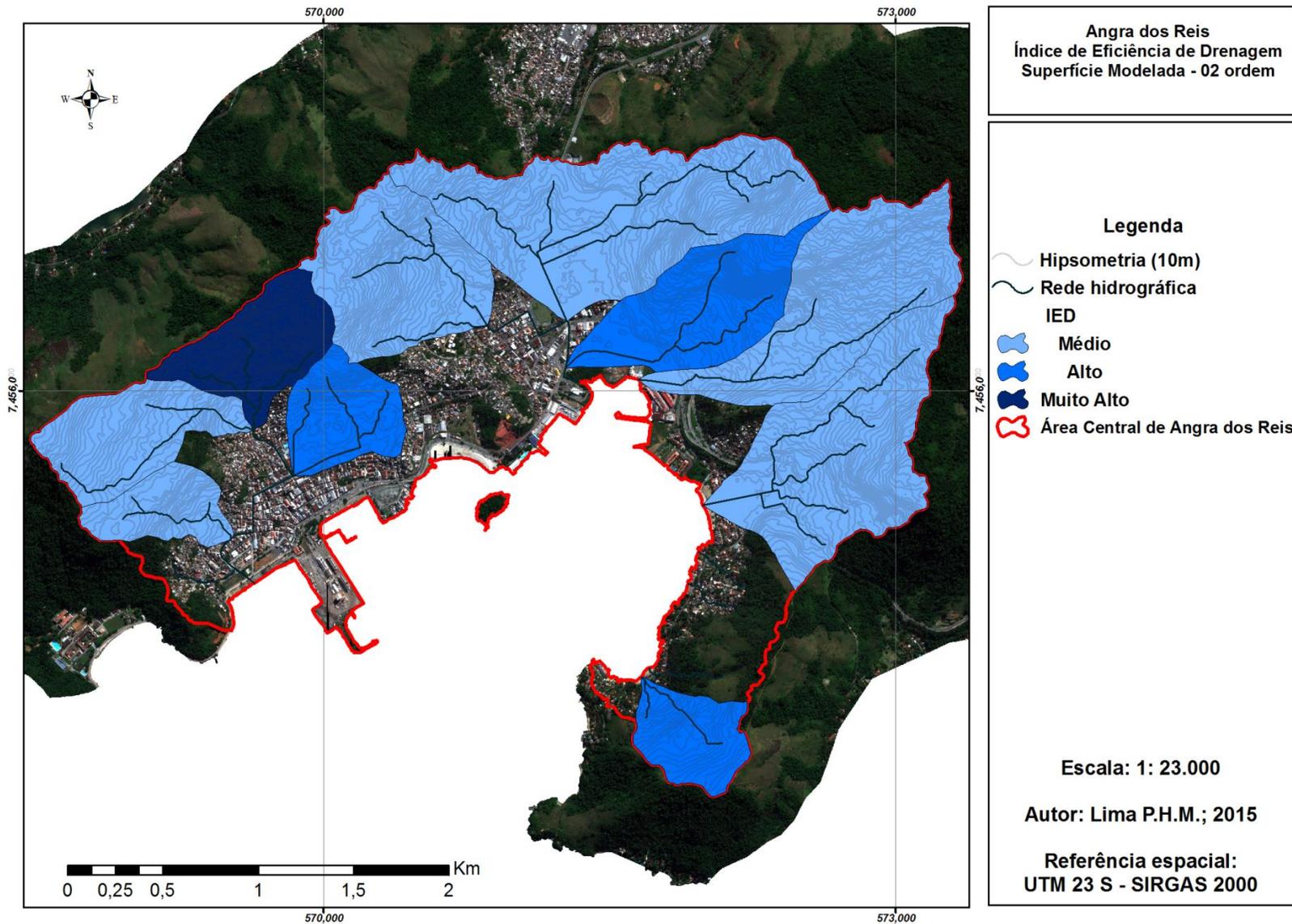


Figura 51: Mapa identificando as bacias de segunda ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Área de contribuição da região Central do município de Angra dos Reis.

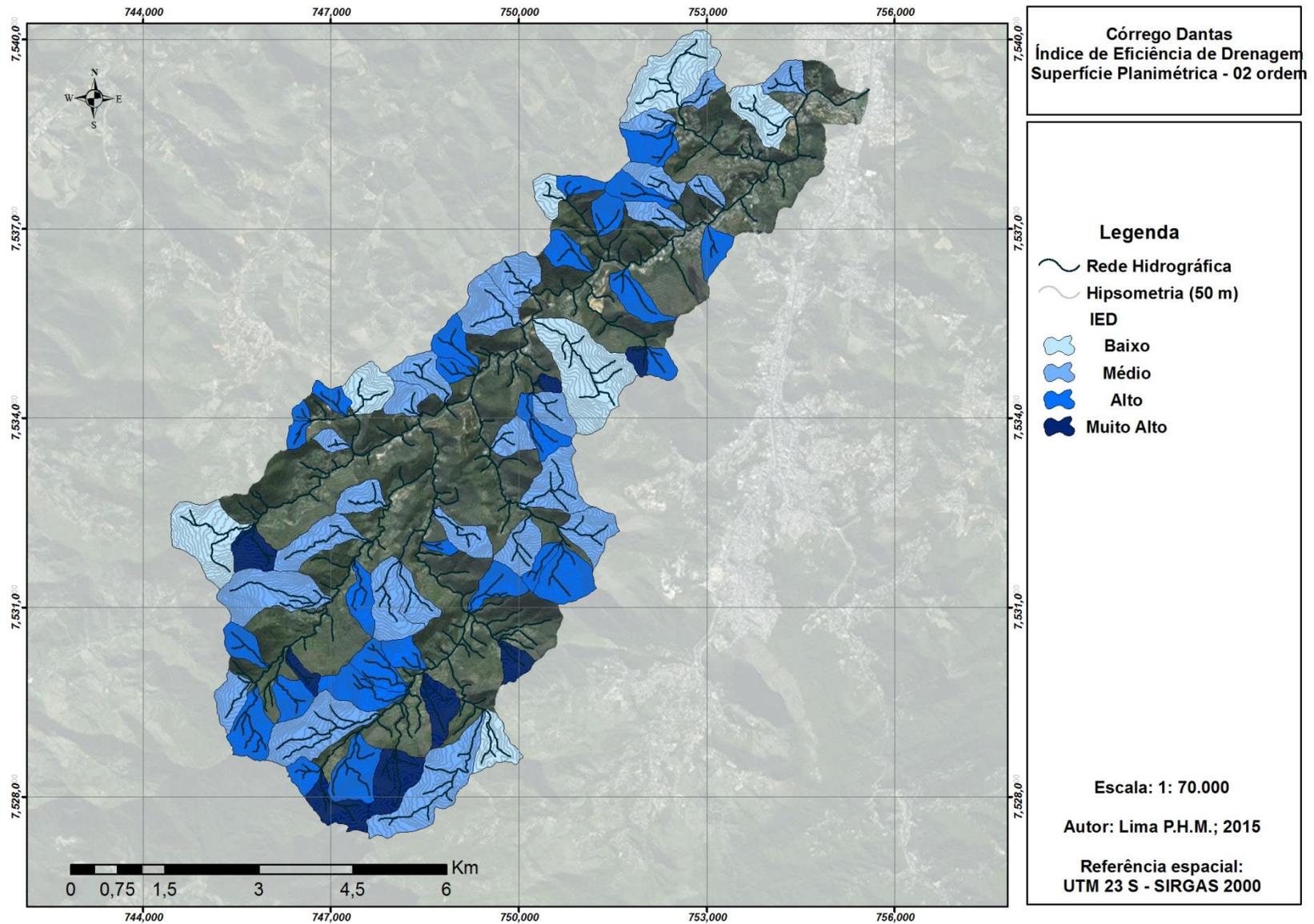


Figura 52: Mapa identificando as bacias de segunda ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Bacia do Córrego Dantas.

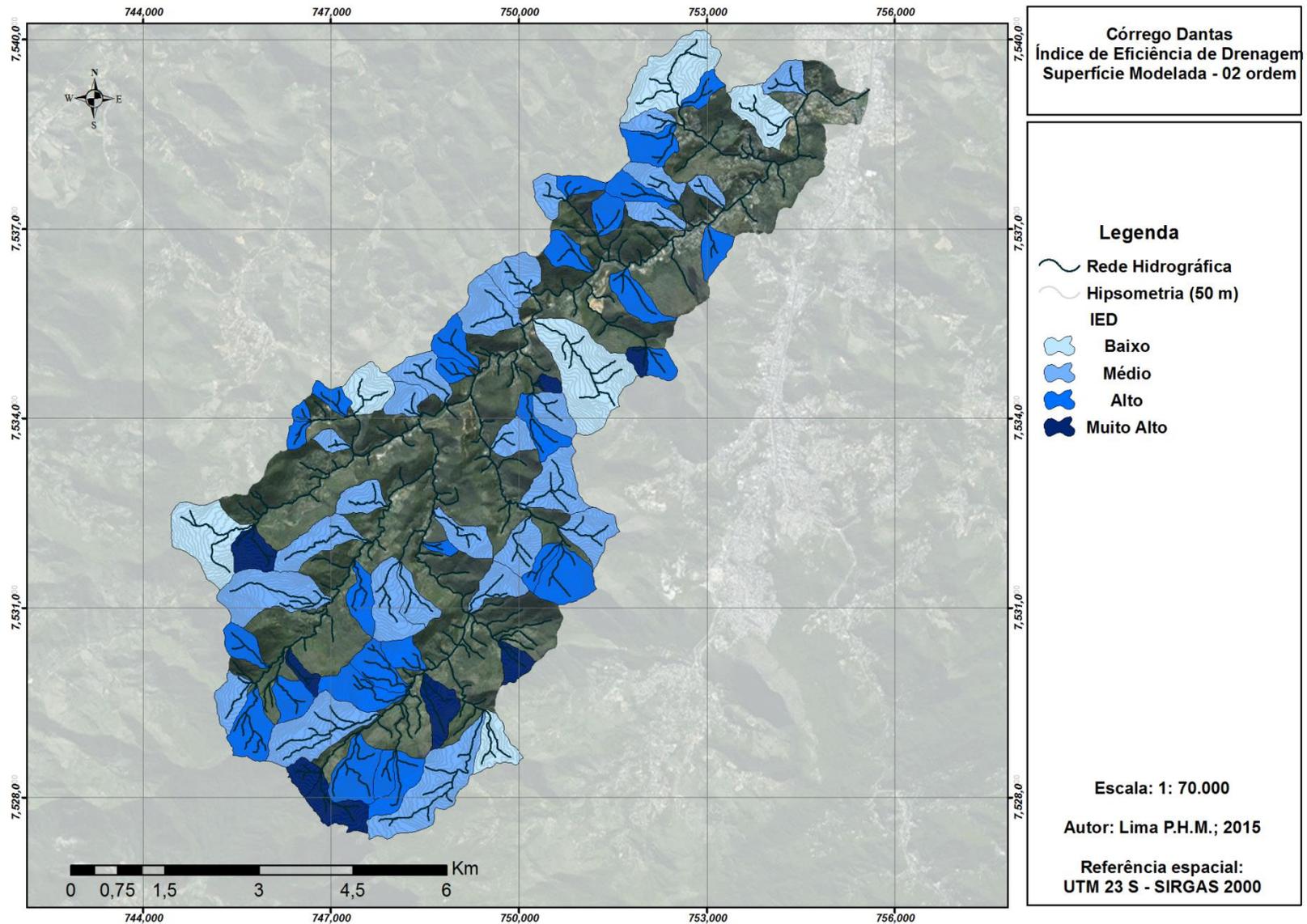


Figura 53: Mapa identificando as bacias de segunda ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Bacia do Córrego Dantas.

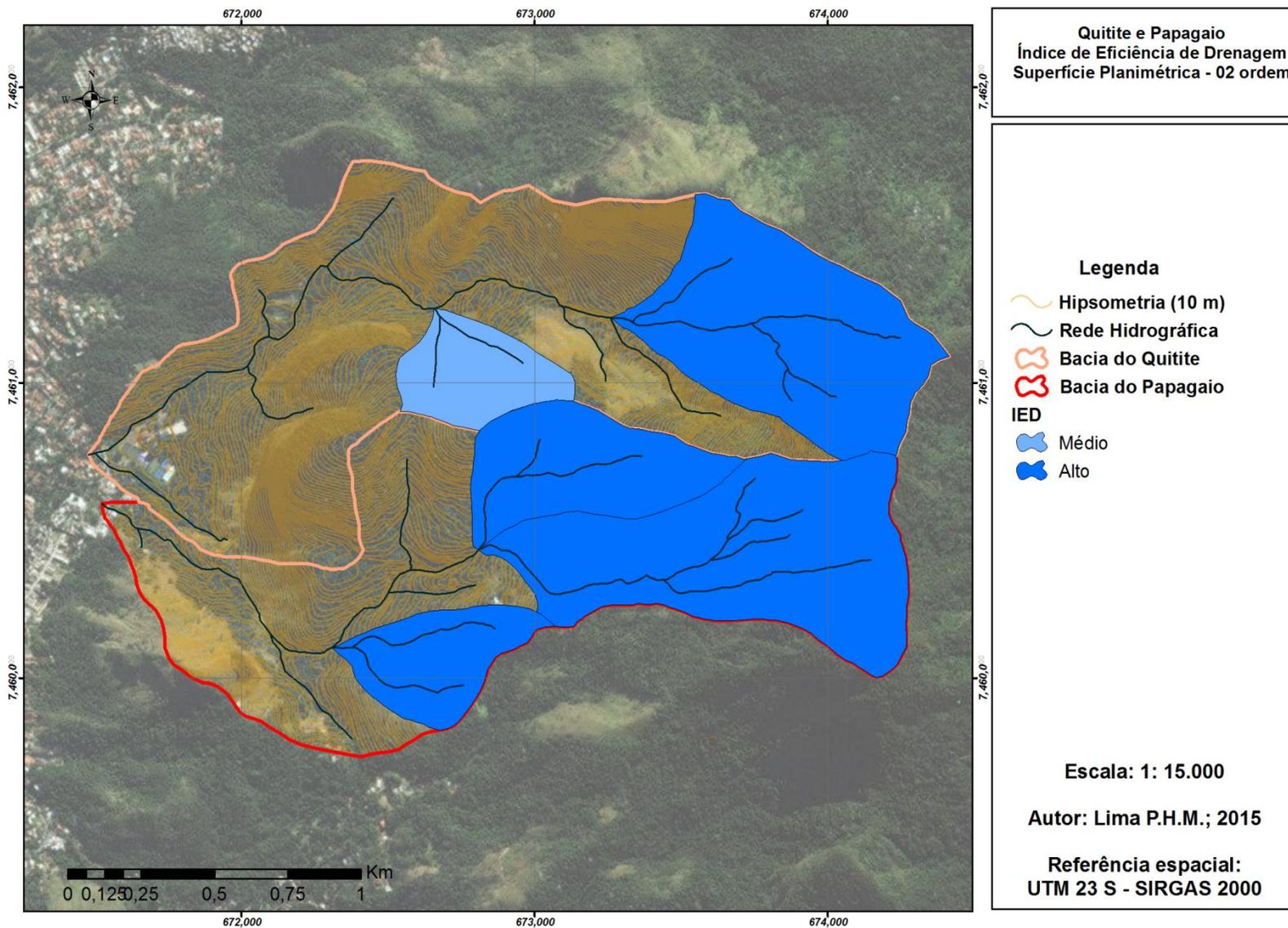


Figura 54: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Planimétrica. Bacias do Quitite e Papagaio.

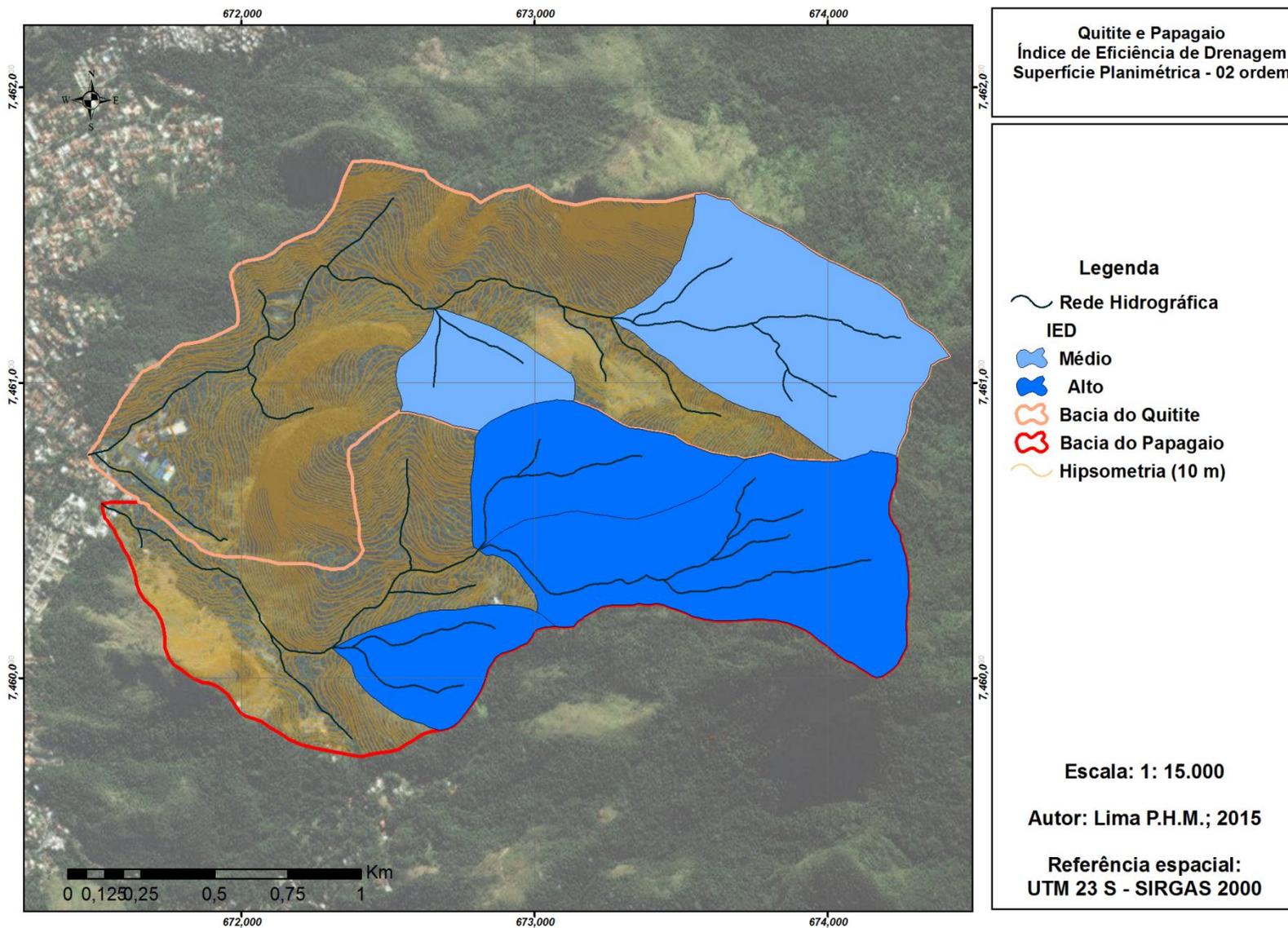


Figura 55: Mapa identificando as bacias de primeira ordem classificadas como Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto IED, para a metodologia de cálculo de Superfície Modelada. Bacias do Quitite e Papagaio.

6.4. Relação entre o Índice de Eficiência de Drenagem e a ocorrência de feições erosivas

Nesta etapa do trabalho, pretende-se investigar a relação entre as categorias qualitativas de IED para bacias de 1º e/ou 2º ordem e a ocorrência de movimentos de massa. Para isso, foi feito o cruzamento das feições erosivas, advindas de inventários de cicatrizes ocorridas em um mesmo evento para duas das quatro áreas de estudo (Maciço da Tijuca, bacias do Quitite e Papagaio e a Bacia do Córrego Dantas). Essas duas áreas foram escolhidas pela disponibilidade e existência desses inventários.

Após a realização dos cruzamentos, foram calculadas as densidades de cicatrizes em cada classe de IED. Essa densidade foi obtida dividindo o número total de bacias com ocorrência de movimentos de massa de certo IED, pelo número total de bacias da mesma classe de IED (com ou sem essas feições erosivas).

6.4.1. As bacias de 1º ordem e a relação com os movimentos de massa

A relação entre as categorias de IED e os movimentos de massa para bacias de primeira ordem, mostrou que na bacia do Córrego Dantas, a incidência de movimentos de massa, foi superior em bacias classificadas como Baixo e Médio IED, tanto para os cálculos feitos sobre a metodologia de superfície Planimétrica ou Modelada (tabela 47). Esses resultados foram evidentes, através do cálculo da densidade de cicatrizes em cada uma das classes.

A ocorrência dos movimentos de massa em bacias de baixo/médio IED (tabela 17) é justificada por evidências de campo, que mostraram que os movimentos de massa tiveram em sua grande maioria a superfície de ruptura rasa e paralela ao topo do solo, o que caracteriza movimentos do tipo translacional. Como dito anteriormente, supõe-se que esse tipo de movimento tenha ligação com reduzidos Índices de Eficiência de Drenagem, ao contrário dos movimentos chamados *debris flows*, que estão diretamente associados com a expansão da rede de drenagem à montante, portanto mais ligados à bacias de alto e/ou muito alto IED.

Tabela 17: Densidades de movimentos de massa na bacia do Córrego Dantas, em relação a Superfície Planimétrica (acima) e Modelada (abaixo). Bacias de primeira ordem.

Densidade de deslizamentos Sup.Plan - 01 ordem - Córrego Dantas			
Classe	Nº de Movimentos de Massa	Nº de bacias	D
Baixo	47	71	0,66
Médio	56	81	0,69
Alto	29	72	0,40
Muito Alto	8	29	0,28
Total	140	253,0	0,55
Densidade de deslizamentos Sup.Mod - 01 ordem - Córrego Dantas			
Classe	Nº de Movimentos de Massa	Nº de bacias	D
Baixo	50	73	0,68
Médio	54	79	0,68
Alto	31	70	0,44
Muito Alto	5	31	0,16
Total	140	253,0	0,55

Através da observação da ocorrência dessas feições erosivas na outra área de estudo, Maciço da Tijuca, observa-se uma concentração e densidade de movimentos de massa, melhor distribuída, porém com superior incidência dessas feições erosivas em bacias com categorias e valores de IED mais elevados (tabela 18). Isso se justifica pelas observações de campo e pela descrição feita por Oliveira *et al.*(1996), que menciona que nesta região, após os evento pluviométrico de agosto de 1996, prevaleceram movimentos translacionais, assim como muitos *debri flows* de extensões diversas, detonados nas porções superior e média das encostas (Coelho Netto, *et al.* 2012), deixando cicatrizes erosivas desde a zona cumeada e dos interflúvios rebaixados como descrito por Amaral (1996) e Coelho Netto *et al.* (2009), além de uma superfície erosiva exposta de cerca de 150,08 ha (Coelho Netto, *et al.* 2012). Muitas das vezes, as cicatrizes mapeadas, chegavam até o canal, caracterizando um movimento de massa com maior velocidade, além de superior poder incisivo, como proposto nas hipóteses iniciais, como característicos de áreas de IED mais elevados.

Tabela 18: Densidades de movimentos de massa nas bacias do Quitite e Papagaio, em relação a Superfície Planimétrica (acima) e Modelada (abaixo). Bacias de primeira ordem.

Densidade de deslizamentos Sup.Plan - 01 ordem - Quitite e Papagaio			
Classe	Nº de Movimentos de Massa	Nº de bacias	D
Baixo	8	8	1,00
Médio	13	8	1,63
Alto	11	3	3,67
Muito Alto	9	2	4,50
Total	41	21	1,95
Densidade de deslizamentos Sup.Mod - 01 ordem - Quitite e Papagaio			
Classe	Nº de Movimentos de Massa	Nº de bacias	D
Baixo	11	9	1,22
Médio	8	6	1,33
Alto	13	4	3,25
Muito Alto	9	2	4,50
Total	41	21	1,95

6.4.2. As bacias de 2º ordem e a relação com os movimentos de massa

Em relação das bacias de 2º ordem com os movimentos de massa para ambas as áreas de estudo, em geral, o comportamento é semelhante ao descrito e observado para as bacias de 1º ordem. Da mesma forma, existe pequena variação quando comparados à Superfície Planimétrica ou Modelada. Vale ressaltar que no Maciço da Tijuca, essas feições apenas ocorreram estritamente em bacias de médio e alto IED, não ocorrendo nas demais categorias (tabela 19). Para esta mesma área de estudo, acredita-se que a justificativa é mais uma vez pela presença marcante dos movimentos *debris flows*, associados normalmente a valores e categorias de IED mais altos.

Tabela 19: Densidades de movimentos de massa nas bacias no Maciço da Tijuca (Quitite e Papagaio), em relação a Superfície Planimétrica (acima) e Modelada (abaixo). Bacias de segunda ordem.

Densidade de deslizamentos Sup.Plan - 02 ordem - Maciço da Tijuca			
Classe	Nº de Movimentos de Massa	Nº de bacias	D
Baixo	0	0	0,00
Médio	1	1	1,00
Alto	39	4	9,75
Muito Alto	0	0	0,00
Total	40	5	8,00
Densidade de deslizamentos Sup.Mod - 02 ordem - Maciço da Tijuca			
Classe	Nº de Movimentos de Massa	Nº de bacias	D
Baixo	0	0	0,00
Médio	14	2	7,00
Alto	26	3	8,67
Muito Alto	0	0	0,00
Total	40	5	8,00

Já para o Córrego Dantas, assim como na análise de bacias de 1º ordem, as maiores densidades de deslizamentos também foram em bacias de Baixo e Médio IED. A justificativa também se relaciona à tipologia dos deslizamentos que ocorreram nesta área de estudo, que foi acometida por muitos deslizamentos do tipo translacional raso, mais característico de bacias com Baixo ou Médio IED.

Tabela 20: Densidades de movimentos de massa na bacia do Córrego Dantas, em relação a Superfície Planimétrica (acima) e Modelada (abaixo). Bacias de segunda ordem.

Densidade de deslizamentos Sup.Plan - 02 ordem - Córrego Dantas			
Classe	Nº de Movimentos de Massa	Nº de bacias	D
Baixo	21	7	3,00
Médio	58	25	2,32
Alto	50	27	1,85
Muito Alto	1	9	0,11
Total	130	68	1,91
Densidade de deslizamentos Sup.Mod - 02 ordem - Córrego Dantas			
Classe	Nº de Movimentos de Massa	Nº de bacias	D
Baixo	18	7	2,57
Médio	63	25	2,52
Alto	48	27	1,78
Muito Alto	1	9	0,11
Total	130	68	1,91

O artigo de Coelho Netto *et al.* (2007), usa na composição básica para a elaboração do mapa de suscetibilidade a deslizamentos, o Índice de Eficiência de Drenagem, que conjugado à outros parâmetros geológicos e de uso e cobertura. Analisando a pertinência deste mesmo índice na resposta e relação com a ocorrência de movimentos de massa, os autores chamam atenção para a elevada associação de áreas de alta susceptibilidade a deslizamentos (não classificados em relação à sua tipologia) permanecerem relacionados à elevados índices de eficiência de drenagem calculados neste trabalho para bacias e 2º ordem.

Este mesmo artigo é o principal norteador deste presente trabalho, visto que usa exatamente a mesma metodologia de cálculo do presente índice, além de aplica-lo para uma área de estudo parcialmente em comum, apenas diferenciando-se por não ter feito a aplicação para bacias de 1º ordem.

É interessante notar que neste artigo de 2007, Coelho Netto e colaboradores, descrevem exatamente o resultado encontrado neste presente estudo:

“É importante notar que o Maciço da Tijuca apresenta uma grande quantidade de bacias com valores de médio IED, prioritariamente concentrados nos subsistemas de Jacarepaguá e Zona Sul. O subsistema de Jacarépaguá também apresenta bacias com valores de altos IED, concentrados nas bacias hidrográficas do Quitite e Papagaio e suas adjascências. Os valores de baixo IED, ocorrem em várias sub-bacias de drenagem que fluem para nordeste, em direção à área da Baía de Guanabara.”

7. CONCLUSÕES

Através dos resultados indicados neste trabalho, indica-se que para uma adequada interpretação da dinâmica hidro-sedimentar possível através da aplicação do referido índice, a adequação das bases cartográficas, principalmente referentes à escala e rigor da elaboração da rede de drenagem. Em relação à escala, aconselha-se o uso de uma base cartográfica de detalhe, onde seja possível reconhecer parâmetros e aspectos inerentes à bacias de drenagem de baixa ordem hierárquica. Um desses aspectos é a densidade de hollows ou eixos de concavidades, que em escalas mais gerais, por conta das generalizações cartográficas são negligenciadas, em relação a sua existência no mundo real. Indica-se, portanto, escalas próximas ou superiores à 1:10.000, além de um rígido controle visando a adequação da rede hidrográfica o mais aproximado da realidade, sendo importante o uso de técnicas como a interpretação de fotografias aéreas detalhadas ou o controle de campo, visto que um dos componentes principais do IED é a Densidade de Drenagem, parâmetro fortemente ligado aos comprimentos dos canais das bacias analisadas.

Apesar de ser componente original do índice, o comprimento dos eixos de concavidades, muitas vezes não foi computado em muitos estudos, talvez devido à dificuldade em delimitá-los. Porém, como discutido acima, a adição do comprimento dessas feições no cálculo do índice, deve ser um fator bastante indispensável. Porém a definição dos tamanhos exatos dos mesmos tem um percentual de subjetividade que deve ser considerado. Nesse sentido, aconselha-se o uso de bases topográficas capazes de revelar a existência e permitir o mapeamento dos mesmos, visto que o índice, para ter uma resposta adequada ao que se propõe, deve ser aplicado à bacias de reduzida ordem hierárquica.

A interpretação deste índice frente a dinâmica hidrológica e sedimentar das bacias hidrográficas é inicialmente subsidiada por Chorley (1972), quando menciona que os geomorfólogos são propensos a desenvolver índices ou coeficientes para mensurar conceitos. Além disso, este índice carrega uma bagagem teórico-científica, que se inicia desde a relação da densidade de drenagem e a resposta dos canais (Horton, 1932 e 1945), e comprovada por diversos outros autores; a adição do

comprimento de eixos de concavidades ao comprimento dos canais, visto que são áreas de convergência de fluxos para o sistema de drenagem (Anderson e Burt, 1978; Tsukamoto *et al.* 1973; Dietrich *et al.*, 1986; Coelho Netto, 1988; dentre outros); além de conjugar à esses parâmetros o gradiente topográfico das bacias, parâmetro topográfico também relacionado à resposta hidrológica das bacias.

Vale ressaltar que a diferença metodológica aplicada aos outros estudos que também usaram o IED, tornam difíceis ou quase impossível a comparação entre os dados gerados por esse trabalho, desta forma, reduzindo as possibilidades de comparações com outros trabalhos e também limitando a discussão.

O entendimento dos parâmetros morfológicos, reveladores da dinâmica hidroerosiva e sedimentar por natureza possuem importantes características tridimensionais atreladas a eles, como a densidade de drenagem, o gradiente e o IED, avaliados no presente trabalho. Neste sentido, julga-se importante, que o manuseio e cálculo desses parâmetros leve em consideração as diferenças altimétricas da melhor forma possível. Neste sentido, aconselha-se a aplicação dos referidos índices e parâmetros, através de uma rotina de observação em superfície modelada, assim como proposto por Fernandes (2004). Isso se justifica pela leitura mais apropriada da morfologia da superfície da paisagem, podendo revelar de forma mais clara as funcionalidades e dinâmicas das unidades de análise da paisagem, em detrimento das observações em superfície planimétrica, que tem reduzido caráter tridimensional; por consequência, subestimando interpretações de parâmetros geomorfológicos.

Como discutido no início do presente trabalho, mesmo que todos os trabalhos que usem tanto o IED quanto qualquer índice, sejam iguais na metodologia e escala de aplicação, os seus intervalos de valores, podem ser divididos estatisticamente de formas distintas, impossibilitando comparações entre eles. Nesse sentido, indica-se o uso da ferramenta denominada “Natural breaks – Jenks”, visto que ela tem o poder estatístico de agrupar em classes, valores parecidos dentro do universo amostral, diminuindo, portanto a variabilidade intra-classe e aumentando as variações inter-classes. Além da classificação dos valores ser algo importante, previamente, é necessário uma análise geral dos dados, que possa identificar possíveis dados anômalos dentro do conjunto amostral. Esses dados (outliers) normalmente são frutos de erros de medição ou de dados básicos, que aparecem normalmente quando o

conjunto amostral é muito grande, podendo ser bacias naturais que devem ser analisadas separadamente. A exclusão desses valores, desde que não tenham grande representatividade numérica no total amostral, deve ser feita através da metodologia do gráfico de boxplot.

O fato de o presente trabalho explorar uma grande quantidade de bacias hidrográficas situadas em diferentes áreas, porém todas em ambiente montanhoso faz com que se torne uma referência em relação aos valores bases que foram calculados. Vale ressaltar, que esses valores apenas tem validade como parâmetros de comparação, se a metodologia usada pelos trabalhos futuros for igual, desde que respeitando também a hierarquia das bacias tratadas. Porém, a real compreensão do significado do IED, apenas será possível quando forem escolhidas algumas bacias para serem instrumentadas e monitoradas, a partir de critérios específicos, afim de, possibilitar a comparação entre elas, além do seu real comportamento hidrológico.

Assim como apontado por Coelho Netto *et al.* 2007, o índice mostrou uma grande relevância e relação a ocorrência de certos tipos de movimentos de massa, podendo ser aplicado como visto neste trabalho como indicador de certos tipos de movimentos de massa em regiões montanhosas. Como indicado nas etapas iniciais do trabalho, o índice qualificado como Alto e Muito alto, teve uma grande correspondência em relação a ocorrência de movimentos de massa do tipo *debrisflows*, como ocorreu em grande maioria na região do Maciço da Tijuca, em 1996, mais especificamente nas bacias do Quitite e Papagaio. Essa exata relação, foi exposta pelo artigo de 2007. Bacias qualificadas como Baixo ou Médio IED, foram mais acometidas com deslizamentos translacionais rasos, por apresentarem uma maior dificuldade ou potencial de drenagem) evento característico da maioria dos casos ocorridos na bacia do Córrego Dantas, em Nova Friburgo.

Porém, em ambas as áreas de estudo supracitadas, ocorreram outros tipos de movimentos de massa. Nesse sentido, observa-se como uma perspectiva de evolução do trabalho, um refinamento baseado em observações de campo dos inventários de cicatrizes, a fim de dar maior clareza e comprovar a relação das categorias de IED com as tipologias de movimentos de massa.

Apesar desta relevante relação com as feições erosivas, o índice requer uma melhor investigação, através do monitoramento hidrológico de campo e de laboratório, que serão melhor explicados nos desdobramentos do trabalho.

8. DESDOBRAMENTOS

8.1. Relação estatística entre os componentes do IED

Pretende-se inicialmente, avançar nas análises estatísticas relacionadas ao conjunto geral de dados, a fim de se compreender melhor as relações entre os componentes do índice. Julga-se necessário, um avanço nas técnicas estatísticas, principalmente capazes de estabelecer quantitativamente qual é a contribuição de cada um dos parâmetros nos resultados finais de IED. Nesse sentido, acredita-se que o cálculo do coeficiente de variação calculado, por exemplo, entre o Gradiente topográfico e a Densidade de drenagem (somada aos eixos de canais) seria capaz de revelar qual dos parâmetros usados contribuiu mais para o resultado final do índice, ou seja, qual teve maior relevância.

8.2. Monitoramento hidrológico das bacias-laboratório

A partir deste estudo, futuramente, pretende-se avaliar o índice de eficiência de drenagem de forma experimental usando instrumentação de campo. A princípio, pretende-se escolher pelo menos duas bacias para serem instalados sensores de nível, automáticos, que permitam o cálculo da vazão, refletindo na prática, o verdadeiro potencial de drenagem de cada bacia instrumentada. Faz-se necessário a avaliação técnica das características dos canais a serem monitorados frente à necessidade de ser construída uma infraestrutura que possibilite o monitoramento, no caso a construção de vertedouros, juntamente com a instalação de réguas linimétricas. Além de equipamentos de mensuração hidrológica, também serão instalados pluviômetros próximo às bacias escolhidas, a fim de caracterizar melhor as entradas de chuvas.

As bacias escolhidas deverão possuir os seguintes critérios básicos: gradientes topográficos semelhantes, porém distintas densidades de drenagens/eixos de concavidades. Além disso, as bacias a serem instrumentadas, deverão ser as mais homogêneas possíveis em relação as suas áreas, cobertura, forma, presença ou não de cicatrizes de deslizamentos e geologia, como representado na figura 56.

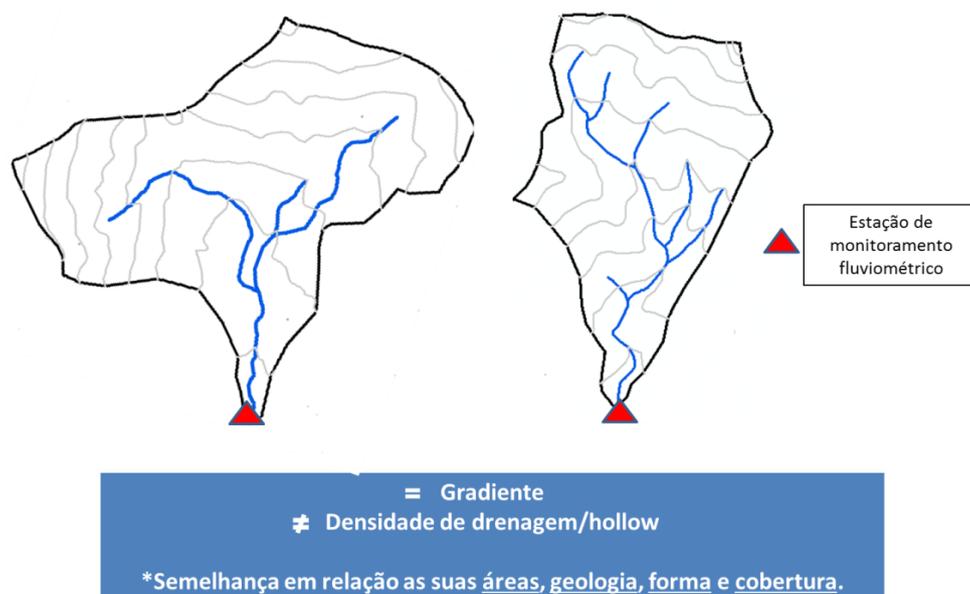


Figura 56: Representação da terceira etapa do trabalho, que seria a escolha das bacias a serem monitoradas.

Além do monitoramento de campo, pretende-se também a construção de uma caixa experimental em laboratório, a fim de realizar experimentos sob a condição de chuvas artificiais, onde fosse possível controlar variáveis integrantes do índice, e a alteração de outras. A criação desta caixa experimental permitiria revelar o papel de parâmetros como o gradiente, densidade de eixos de concavidades, densidade de drenagem e ordem das bacias. A construção desse experimento laboratorial terá como subsídios trabalhos como o de Rorke B. Bryan (2000), denominado *“Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope”*; que simulava condições e processos de erosão dos solos em parcelas experimentais e com chuva artificial.

8.3. Reclassificação dos inventários de cicatrizes frente as diferentes tipologias de movimentos de massa

Como explicitado anteriormente, os inventários de cicatrizes referentes às bacias do Córrego Dantas, além do Quitite e Papagaio, não estão definidos em relação às diferentes tipologias de movimentos de massa ocorridos na região, apenas em relação a uma caracterização geral baseada em referências bibliográficas e comprovações de campo.

Porém, é sabido que em ambas as bacias, apesar da caracterização geral demonstrar a predominância de movimentos tipo *“debrisflows”* nas bacias do Quitite e

Papagaio, e movimentos tipo translacionais rasos na bacia do Córrego Dantas, houve certa heterogeneidade em relação aos movimentos de massa em cada área.

Apesar de este estudo apresentar nítida relação entre os valores qualitativos de IED (Baixo, Médio, Alto e Muito Alto), a reclassificação destes inventários permitiria refinar ainda mais esta relação.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, M.G.; BURT, T.P. (1978) The role of topography in controlling throughflow generation. *Earth Surface Processes*, vol.3, p.331-344.

AMARAL, C.P. (1996) Escorregamentos no Rio de Janeiro: inventário, condicionantes geológicos e redução do risco. Tese de Doutorado, Engenharia Civil/PUC, Rio de Janeiro, 284 p.

ARAÚJO R. de SÁ (2014) Avaliação de índices geomorfológicos em Superfície Planimétrica (SP) e Superfície Modelada (SM), Vale do Cuiabá, Petrópolis – Rio de Janeiro, Brasil. Dissertação de Mestrado – Gestão do Território e Sistema de Informações Geográficas - UNL-PORTUGAL

AUGUSTO FILHO, O. (1992), Caracterização Geológica-geotécnica voltada à Estabilização de Encostas: Uma proposta Metodológica. In Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. ABMS-ABGE-ISSMGE, Vol. 2, pp.721-733.

ARCGIS HELP 10.1. Disponível em: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//00s50000001r000000>. Acesso em 30/01/2015

BAULIG, H. (1950). *Essais de géomorphologie*. Les Belles Lettres in Paris. x, 161p.

BARBOSA, Z.N.T.; OLIVEIRA, NO; ALVES, P.R. (2011). Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de riscos. Estudo de caso: Angra dos Reis -RJ. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4940

BENSON, M. A. (1960) Areal flood frequency analyses in a humid region: *Internat. Assoc. Sci. Hydrology Bull.*, No. 19, pp. 5-15.

BRYAN R. B. (2000). Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology* 32, pp 385-415.

BURGMAN, J.O., CALLES, B., WESTMAN, F., (1987) Conclusions from a ten year study of oxygen-18 in precipitation and runoff in Sweden, *Isotope Techniques in Water Resources Development*. In: *Proceedings of an International Symposium of the International Atomic Energy Agency, SM-299, March 30–April 3, 1987*. International Atomic Energy Agency, Vienna, Vienna, Austria, pp. 579–590.

CENDERELLI D. A.; STEVEN KITE J.(1998) Geomorphic effects of large debris flows on channel morphology at North Fork mountains, Eastern west Virginia, USA. Earth Surface processes and landforms, vol 23, p.19

CHORLEY, R.J. e MORGAN, M.A. (1962) Comparison of morphometric features, Unaka Mountains, Tennessee and North Carolina, and Dartmoor, England: Geol. Soc. America Bull., v. 73, pp. 17-34.

CHORLEY, R.J. (1972) spatial analysis in geomorphology. London, Methuen

CHRISTOFOLETT, A. (1969). Análise morfométrica de bacias hidrográficas. Notícia Geomorfológica, v. 18, n. 9, p. 35-64.

CHRISTOFOLETT, A. (1980) Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP. 150p.

COELHO NETTO, A. L. (1979) O processo erosivo nas encostas do maciço da Tijuca, RJ, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, UFRJ, 112 p.

COELHO NETTO, A. L.; FERNANDES, N. F. & DEUS, C. E. (1988) Gullying in the southeastern Brazilian Plateau, SP. In: Sediment Budgets. IAHS Publ.. 174, 35-42

COELHO NETTO, A. L. (1990) Hillslope erosion – sedimentation and relief inversion. In: Bananal, SP, IAHS Publication, 192, Proc. of the Intern. Symp. on – Research Needs and Applications to Reduce Erosion & Sedimentation in Tropical Steeplands- Suva, Fiji, 192.

COELHO NETTO, A.L.; FERNANDES. N.F.; DANTAS, M.E.; DIETRICH, W.E. MONTGOMERY,D.; DAVIS. J. C.. 14 PROCTOR, I. VOGGEL, J. AND SOUTHON, J. (1994) C AMS evidences of two Holocene erosionsedimentation cycles in SE Brasil: stratigraphy and stratigraphic inversions; 14th Intern. Sedimentary Congress, IAS-Internat. Association of Sedimentologists, Recife: 28- 30.

COELHO NETTO, A.L. (1996) Produção de Sedimentos em Bacias Fluviais Florestadas do Maciço da Tijuca, RJ: respostas aos eventos extremos de fevereiro de 1996. Anais do II Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Rio de Janeiro. p. 209-227

COELHO NETTO, A.L. (2003). Evolução de cabeceiras de drenagem no médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): bases para um modelo de formação e

crescimento da rede de canais sob controle estrutural.. Revista Brasileira de Geomorfologia, 4(2), p. 69-100.

COELHO NETTO A. L. (2005) A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no maciço da Tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio ambiental, in: Revista do Departamento de Geografia, 16, pp. 46-60.

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; FERNANDES, M. C.; LACERDA, W. A. (2007). Landslide susceptibility in a mountainous geocosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role of morphometric subdivision of the terrain. Geomorphology 87, pp 120-131.

COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S.; D'ORSI R. (2008) Domínio do ecossistema da floresta atlântica de encosta. In: Rio o Aquecimento Global e a Cidade, próximos 100 anos, Gusmão, P.P. et al (Org.), Rio de Janeiro: Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos, IPP/SMU, p. 147-163.

COELHO NETTO, A.L; AVELAR, A.S; LACERDA, W.A. (2009) "Landslides and Disasters in Southeastern and Southern Brazil". In: Edgardo Latrubesse. (Org.). Natural hazards and human-exacerbated disasters in Latin America. 1 ed. Amsterdam: Elsevier, v. 13, p. 223-243.

COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S.; MULULO SATO A.; ACCIOLY DIAS.M.; BAHIA SCHLEE M.; NEGREIROS A.B. (2012) Vulnerabilidade em Geoecossistemas montanhosos e Desastres causados por deslizamentos na Interface Floresta-Urbana: Controles Geológicos Geomorfológicos e Geoecológicos. In Desastres Naturais – Suscetibilidade e Riscos – Mitigação e Prevenção – Gestão e Ações Emergenciais. COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, Lacerda W.A., et al.(Org.) Cap.5, p.63-80.

COELHO NETTO, A. L.; SATO, A. M.; AVELAR, A. S.; Vianna, L. G. G.; ARAÚJO, I. S.; FERREIRA, D. L. A.; LIMA, P. H; SILVA, A. P. A.; SILVA, R. P. (2013). January 2011: The Extreme Landslide Disaster in Brazil. In: Claudio Margottini; Paolo Canuti; Kyoji Sassa. (Org.). Landslide Science and Practice. 1ed.Berlin: Springer Berlin Heidelberg, v. 6, 377-384p.

COUTINHO B. H. (2015 - inédito) Indicadores Geo-Hidroecológicos de suscetibilidade das encostas frente a erosão e movimentos de massa em região montanhosa tropical úmida: suporte metodológico para zoneamentos de riscos em diferentes escalas de análise espacial. Relatório final de bolsa de Pós Doutorado. FAPERJ/UFRJ

CRUZ, E. S.; VILELA C. & COELHO NETTO, A L. (1999) Spatial distribution of the 1996 - Landslide scars at the Tijuca Massif and subsequent erosion: the influence of topography and vegetation changes. In: Proceed. IGU - GERTEC Meeting on Geomorphic Responses to Vegetation Changes, Rio de Janeiro: pág. 118-128

DANTAS, M.E. (2000). Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro, In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília/CPRM. Mapa. CDROM. 63p.

DAVIS, W. M. (1899) The Geographical Cycle. Geogr. Journ., London, v. 14, n. 5, p. 481-504.

DEWALLE, D.R., EDWARDS, P.J., SWISTOCK, B.R., ARAVENA, R., DRIMMIE, R.J., (1997) Seasonal isotope hydrology of three Appalachian forest catchments. Hydrological Processes 11 (15), 1895– 1906

DEFESA CIVIL ANGRA DOS REIS-RJ. Tragédias que abalaram Angra dos Reis. <http://www.defesacivil.angra.rj.gov.br/asp/tragedia.asp#top>, acessado em 29 de janeiro de 2015.

DIAS, M. A. (2011) INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NA DINÂMICA DE BORDAS FLORESTA-GRAMÍNEA EM UM RELEVO MONTANHOSO MACIÇO DA TIJUCA, RJ. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências – Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGG/ UFRJ.

DIETRICH W., E.; WILSON C., J.; RENEAU, S.,L. (1986) Hollows, Coluvium and landslides. In Soil-mantled landscapes, in Hillslope Processes, edited by A.D. Abrahams, pp.361-288. Allen and Unwin, London.

DIETRICH W., E; DUNNE, T. (1993) The channel head in Channel Network Hydrology. Edited by K. Beven and M. J. Kirkby, pp. 176-219, John Willey, New York, 1993

DUNNE, T. (1970) Runoff production in a humid área. U. S Dept. Agriculture Report. ARS 41-160.

DUNNE, T. AND BLACK, R.D. (1970) Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. WaterResour.Res. 6(5): 1296-1311.

DUNNE, T. (1980) Formation and controls of channel networks. Progin Phys. Geography. 4 (2).

DRUMMOND, J.A. (1997). Devastação e preservação ambiental no Rio de Janeiro. Niterói: EDUFF. 306p.

ELETROBRAS/COPPETEC. (2012). Atualização do mapeamento Geológico-Geotécnico e avaliação dos elementos de estabilização das encostas da CNAAA, Angra dos Reis. Laboratório de Geo-Hidroecologia/ UFRJ; Fundação COPPETEC.

FERNANDES, M.C. (1998) "Geologia do maciço da Tijuca: uma abordagem geohidroecológica". Depto. de Geografia/PPGG/UFRJ, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 141 p.

FERNANDES, M. C. (2004). Desenvolvimento de rotina de obtenção de observações em superfície real: uma aplicação em análises geoecológicas. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências – Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGG/ UFRJ.

FERNANDES, M.C. (2009) - Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análises geoecológicas In: Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica. 1a ed. Rio de Janeiro: Publit, p. 280-299.

FERNANDES, M. C.; AVELAR, A. S.; MENEZES, P. M. L.; COELHO NETTO, A.L. (2012). 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, v. 13, p. 29-37.

FERNANDES, N.F. (1990). Hidrologia Subsuperficial e Propriedades Físico Mecânicas dos "Complexos de Rampa". Rio de Janeiro. 160 p. (Dissertação de Mestrado, IG/UFRJ).

FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. (1996) Movimentos de massa: uma abordagem geológicogeomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro. p. 123-194.

FLORENZANO, T.G. Iniciação em Sensoriamento Remoto, 3. Ed., Ampliado e Atualizado, São Paulo: Oficina de Textos, 129 p. 2011.

FRITZ, P. (1981) River waters. In: Gat, J., Gonfiantini, R. (Eds.), Stable Isotope Hydrology: Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle, Technical Report Series No. 210. International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 177–201.

GANDOLFI, N. (1968) Bacia do Rio Mogi-Guaçu: morfometria da drenagem, sedimentologia e investigações físico-químicas. Ph. D. thesis, EESC-USP, São Carlos, SP, 124p.

GEOHECO/ SEA. (2012). Mapeamento (Escala 1:5 000) de Áreas de Riscos, Frente aos Deslizamentos de Encostas no Município de Angra Dos Reis, RJ. Laboratório de Geo-Hidroecologia/ UFRJ; Fundação COPPETEC; Secretaria de Estado de Ambiente – Governo do Estado do Rio de Janeiro.

GILBERT, G. K. (1877) The Geology of the Henri Mountains. Washington: United States Geographical and Geological Survey.

GRAY, D. M. (1965) Physiographic characteristics and the runoff pattern: Proc. of Hydrol. Symp. No.4, Research Watersheds, National Research Council of Canada, pp. 147-164.

GREGORY K. J. & WALLING D. E. (1968) The Variation of Drainage density within a catchment, International Association of Scientific Hydrology. Bulletin, 13:2, 61-68, DOI: 10.1080/02626666809493583

GREGORY, K.J. AND WALLING, D.E. (1973), Drainage Basin Form and Process: A Geomorphological Approach, Edward Arnold, London, 456pp.

GREGORY, K.J. and GARDINER, V. (1975) Drainage density and climate. Zeitschrift for Geomorphology, v.19, pp.287-298.

GREGORY, K. J. (1992) A Natureza da Geografia Física. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

GUERRA, A.J.T.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. C. O. ; FULLEN, M. A. . (2013) The Geomorphology of Angra dos Reis and Paraty municipalities, Southern Rio De Janeiro State. Revista Geonorte, v. 9, p. 1-21, 2013

GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T.; FERNANDES, N.F. Movimentos de Massa. (2008) In: FLORENZANO, T.G. (Org.). Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos. p. 159-184.

HACK, J. T. AND GOODLETT J. C. (1960): Geomorphology and Forest Ecology of a Mountain Region in the Central Appalachians. Geological Survey Professional paper, v. 347; 1960; 65 pp.

HADLEY, R.F. and SCHUMM, S.A. (1961) Sediment sources and drainage basin characteristics in Upper Cheyenne River Basin: U. S. Geol. Survey Water Supply Paper 1531, part B, pp. 137-196.

HAGGETT P. AND CHORLEY, R.J.; (1969) Network Analysis in Geography, London: Edward Arnold

HICKOK, R. B., KEPPEL, R. V. and RAFFERTY, B! R. (1959) Hydrograph synthesis for small arid-land watersheds: Agricultural Engineering, Oct. 1959, pp. 608-611 and 615.

HORTON, R.E. (1945): "Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative geomorphology". Geological Society American Bulletin, 56(3): 275-370.

INEA. (2012) O estado do ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro. Editors: J. Bastos and P. Napoleão, Rio de Janeiro, INEA, 147-265, Rio de Janeiro, Brazil.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>

JARA, S. D. (2014) Análise das mudanças espaço-temporais na lagoa da Tijuca e o papel da faixa marginal de proteção Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências – Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGG/UFRJ.

JENKS, GEORGE F. (1967) "The Data Model Concept in Statistical Mapping", International Yearbook of Cartography 7: 186–190.

KOBIYAMA, M. et al. (2006) Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos. Editora Organic Trading. pp. 110

KIRKBY, M.J. and CHORLEY, R.J. (1967) Throughflow, overland flow and erosion: Internat. Assoc. Sci. Hydrol. Bull., v. 12, No.3, pp. 5-21.

LACERDA, W.A.; PALMEIRA, E.M.; COELHO NETTO, A.L.; ERLICH, M. (2012). Desastres Naturais – Suscetibilidade e Riscos – Mitigação e Prevenção – Gestão e Ações Emergenciais. COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro.

LEOPOLD, LUNA B., AND MILLER, J.P. (1956) Ephemeral Streams: Hydraulic Factors and Their Relation to Drainage Net, U.S. Geological Survey Professional Paper 282-A, 38p.

LEOPOLD, LUNA B., and Marchand, M.O. (1968) On the Quantitative Inventory of the Riverscape, in *Water Resources Research*, v.4, no.4, p.709-717.

MARK, D. M. (1983), Relations Between Field-surveyed Channel Networks and Map-based Geomorphometric Measures, Inez, Kentucky. *Annals of the Association of American Geographers*, 73: 358–372. doi: 10.1111/j.1467-8306.1983.tb01422.x

MAROCO, J. (2003), *Análise Estatística - Com Utilização do SPSS*, Edições Sílabo, Lisboa.

MAXWELL, B. E. (1956) Hydrobiological observations for Wellington Harbour. *Transactions of the Royal Society of N.Z.* 83: 493-503.

MCGLYNN, B., MCDONNELL, J., STEWART, M., SEIBERT, J., (2003) On the relationships between catchment scale and streamwater mean residence time. *Hydrological Processes* 17 (1), 175–181.

MCGUIRE, K.J., DEWALLE, D.R., GBUREK, W.J., (2002) Evaluation of mean residence time in subsurface waters using oxygen-18 fluctuations during drought conditions in the mid-Appalachians. *Journal of Hydrology* 261 (1–4), 132–149.

MCGUIRE, K.J., MCDONNELL, J.J., WEILER, M., KENDALL, C., WELKER, J.M., MCGLYNN, B.L., SEIBERT, J., (2005) The role of topography on catchment-scale water residence time. *Water Resources Research* 41 (5), W05002. doi:10.1029/2004WR00365.

MEIS, M. R. M; MIRANDA, L. G. H.; FERNANDES, N. F. (1982) Desnivelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do Médio Vale do rio Paraíba do Sul. *Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia*. Salvador 4: 1489-1509.

MELTON, M.A., (1957) An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology: Technical Report 11, Department of Geology, Columbia University.

MILLER, V. C. (1953) A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain area. New York, Columbia University, Dept. of Geology, Tec. Report, 3, 30 p.

MONTGOMERY, D. R., & DIETRICH, W. E. (1989). Source areas, drainage density, and channel initiation. *Water Resources Research*, 25(8), 1907-1918.

MORETT, A T.; MAYER, J. M. (2003). A Questão Ambiental em Nova Friburgo. In: ARAÚJO, J. R. de. & MAYER, J. M. Teia Serrana: Formação Histórica de Nova Friburgo. Rio de Janeiro: Livro Técnico. 320p.

OLIVEIRA, R. R., ZAÚ, A. S., LIMA, D. F., SILVA, M. B. R., VIANNA, M. C., SODRÉ, D. O. E SAMPAIO, P. D. (1995) Significado ecológico da orientação de encostas no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. *Oecologia Brasiliensis*, PPGG-UFRJ, v. 1.

OLIVEIRA, R.R; AVELAR, A. S.; OLIVEIRA, C. A.; ROCHA LEÃO. O. M; FREITAS, M. M.; COELHO NETTO, A. L. (1996) Degradação da floresta e desabamentos ocorridos em fevereiro de 1996 no maciço da Tijuca, RJ, In: Anais de Resumos do XLVII congresso nacional de Botânica, Nova Friburgo.

PENCK, W. (1924) Die morphologische analyse. Ein kapitel der physikalischen geologie. J. Engelhorn's Nachf. Stuttgart.

PIKE R.J.; EVANS I.S.; HENGL, T.; (2009). *Geomorphometry—Concepts, Software, Applications, Developments in Soil Science*, vol. 33, Elsevier, Amsterdam,, pp. 3–30

PLAYFAIR J. (1802). *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*. Dover: London.

RODGERS, P., SOULSBY, C., WALDRON, S., TETZLAFF, D., (2005) Using stable isotope tracers to assess hydrological flow paths, residence times and landscape influences in a nested mesoscale catchment. *Hydrology and Earth System Sciences* 9, 139–155.

SCHUMM, S. A. (1956) Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Geol. Soc. Amer. Bulletin*, 67, 597 - 646.

SEA/COPPETEC. (2010). Mapeamento (Escala 1:5 000) de Áreas de Riscos, Frente aos Deslizamentos de Encostas no Município de Angra Dos Reis, RJ. Laboratório de Geo-Hidroecologia/ UFRJ; Fundação COPPETEC; Secretaria de Estado de Ambiente – Governo do Estado do Rio de Janeiro.

SCHLEE, M. B. (2002) Landscape change along the carioca river, Rio de Janeiro, Brazil. *Landscape Architecture Thesis*. University Park: The Pennsylvania State University.

SELBY, M.J. (1993) *Hillslope materials & processes*. Oxford University Press, New York, 1993. 450 pp.

SILVA, R.P. (2013) Comportamento hidrológico de encosta em substrato rochoso granítico sob influência de deslizamento raso - Nova Friburgo, Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências – Programa de Pós-graduação em Geologia – UFRJ.

SMAC-RJ/COPPETEC. (2000). Diagnóstico/Prognóstico sobre a Qualidade Ambiental do Geocossistema do Maciço da Tijuca - subsídios à regulamentação da APARU do Alto da Boa Vista. Relatório Técnico. Laboratório de Geo-Hidroecologia/ UFRJ; Fundação COPPETEC; Secretaria Municipal do Meio Ambiente; Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

SMITH, K. G. (1950) Standard for grading texture of erosional topography. Amer. Journal of Science, 248, p. 655 – 668.

SMITH, K. G. (1958) Erosional process and landforms in Badlands National Monument South Dakota. Geol. Soc. Amer. Bulletin, 69, p. 975 – 1008.

STRAHLER, A.N. (1952): Dinamic basis of geomorphology. Geological Society American Bulletin, 63: 923-938.

STRAHLER, A. N. (1954) Statistical Analysis in Geomorphic Research. Journ. Geol., Chicago: v. 3, 62, n. 1, p. 1-25.

STRAHLER, A. N. (1957) Quantitative analysis of watershed Geomorphology. Trans. Amer. Geophys. Union, 38, p. 913 – 920.

STRAHLER, A. N. (1958) Dimensional analysis applied to fluvial eroded landforms. Geol. Soc. Amer. Bulletin, 69, p.279 – 300.

SOULSBY, C., MALCOLM, R., FERRIER, R.C., HELLIWELL, R.C., JENKINS, A., (2000) Isotope hydrology of the Allt a'Mharcaidh catchment, Cairngorms, Scotland: implications for hydrological pathways and residence times. Hydrological Processes 14, 747–762.

TOMINAGA, LÍDIA KEIKO; SANTORO, JAIR; AMARAL, ROSANGELA DO (2009) Desastres naturais: conhecer para prevenir / Lídia Keiko Tominaga, Jair Santoro, Rosangela do Amaral (orgs.) – São Paulo : Instituto Geológico, 2009. – 196 p. : il. ; color. ; 24 cm. ISBN 978-85-87235-09-1

TSUKAMOTO, Y.; OTHA, T; NOGUCHI, H. (1982) Hydrological and geomorphological studies of debris slides on forested hillslopes in Japan. In: EXTER SYMPOSIUM. Exter, 1982. Proceedings... Exter, IAHS. (137):89-98.

USGS (2004). Landslide Types and Processes. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf> (Acesso em 15/02/2014)

VARNES, D. J. (1978) Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.

VIEIRA, C. S.; Silva, R. R.; FERNANDES, M. do C.; MENEZES, P. M. L. de. (2010). Análise da Relação entre Superfície Real e Superfície Planimétrica de Variáveis em Favelas no Maciço da Tijuca/RJ. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010, Recife (PE). III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

VIERA, A.C. (2001) Lazer e Cultura na Floresta da Tijuca: Historia Arte, Religião, Fauna, Flora e literatura. São Paulo: MAKRON Books. 74 p.

VERSTAPPEN H. (1983) The applied geomorphology. International Institute for Aerial Survey and Earth Science (I.T.C), Enschede, The Netherlands, Amsterdam, Oxford, New York

VOLOTÃO, C. N. (2007) Deslizamentos de terra no município de Nova Friburgo: histórico e interpretação estatística dos dados. Tese de Doutorado. Instituto de Matemática – UERJ.

ZEE-RJ. (2009) Análise e Qualificação Sócio-Ambiental do Estado do Rio de Janeiro (Escala 1:100.000) subsídios ao Zoneamento Ecológico-Econômico.

Wilson, C. J., and W. E. Dietrich (1987) The contribution of bedrock groundwater flow to storm runoff and high pore pressure development in hollows, IAHS Publ., 165, 49-59.

WOODING, R. A. (1966) A hydraulic model for the catchment stream problem. III Comparison with runoff observations: Journ. Hydrol., v. 4, pp. 21-37.

10.APÊNDICES

Angra dos Reis - Primeira ordem						
Código da bacia	Superfície Planimétrica			Superfície Modelada		
	DH_hollows	G	IED_hollows	DH_hollows	G	IED_hollows
1	0,004934945	0,277019586	0,001367076	0,004582561	0,259311606	0,001188311
2	0,007159566	0,237679892	0,001701685	0,006973004	0,229775783	0,001602228
3	0,003772032	0,387619251	0,001462112	0,00337885	0,342316421	0,001156636
4	0,005854234	0,283438376	0,001659314	0,005514822	0,266348218	0,001468863
5	0,005799617	0,34879633	0,002022885	0,005476674	0,321045924	0,001758264
6	0,004841592	0,324404195	0,001570633	0,004766455	0,299740725	0,001428701
7	0,006482455	0,369627235	0,002396092	0,005996358	0,334189527	0,00200392
8	0,004409486	0,414547817	0,001827943	0,003829116	0,362788223	0,001389158
9	0,004785316	0,463278493	0,002216934	0,004368057	0,403585193	0,001762883
10	0,004463371	0,313558681	0,001399529	0,004388581	0,292679796	0,001284449
11	0,007722522	0,323394595	0,002497422	0,00721163	0,29639394	0,002137483
12	0,0078059	0,356907556	0,002785985	0,00727954	0,328646687	0,002392397
13	0,006089724	0,307017801	0,001869654	0,005848829	0,275690518	0,001612467
14	0,006955242	0,373839585	0,002600145	0,006495033	0,337322313	0,002190919
15	0,007321972	0,248266282	0,001817799	0,006900142	0,235095036	0,001622189
16	0,005479723	0,374154259	0,002050262	0,005413843	0,336471909	0,001821606
17	0,008894399	0,384682629	0,003421521	0,008439865	0,351355068	0,002965389
18	0,004883551	0,156637581	0,000764948	0,00469911	0,152293918	0,000715646
19	0,004114325	0,331085308	0,001362193	0,003876533	0,303618215	0,001176986
20	0,00728004	0,385799806	0,002808638	0,006855584	0,350421666	0,002402345
21	0,005751597	0,448926003	0,002582042	0,005249174	0,39575767	0,002077401
22	0,006288158	0,451076417	0,00283644	0,005708887	0,395167784	0,002255968
23	0,005112409	0,536868389	0,002744691	0,004928961	0,451326562	0,002224571
24	0,010095716	0,35558625	0,003589898	0,009623462	0,327492951	0,003151616
25	0,009242353	0,35619401	0,003292071	0,00883333	0,329222947	0,002908135
26	0,006806543	0,357561973	0,002433761	0,006377106	0,324688624	0,002070574
27	0,005104011	0,187279746	0,000955878	0,004816193	0,180907295	0,000871284
28	0,004967961	0,365274241	0,001814668	0,004597134	0,331721212	0,001524967
29	0,00822656	0,365008967	0,003002768	0,007826715	0,33118823	0,002592116
30	0,00858891	0,446755028	0,003837139	0,008408231	0,385917515	0,003244884
31	0,002401781	0,170930993	0,000410539	0,002335611	0,166530502	0,00038895
32	0,003967934	0,450368833	0,001787034	0,003818547	0,399261082	0,001524597
33	0,007603358	0,446338444	0,003393671	0,007516266	0,385133176	0,002894763
34	0,005307336	0,381244526	0,002023393	0,004935098	0,347156703	0,001713252
35	0,011205262	0,308398501	0,003455686	0,010523661	0,281729	0,002964821
36	0,006683406	0,193129943	0,001290766	0,006591166	0,186715306	0,001230672
37	0,009345444	0,398396809	0,003723195	0,008732749	0,358566608	0,003131272

Córrego Dantas - Primeira ordem

Código da bacia	Superfície Planimétrica			Superfície Modelada		
	DH_hollows	G	IED_hollows	DH_hollows	G	IED_hollows
1	0,00212	0,349295	0,000741	0,001955	0,32229	0,00063
2	0,003529	0,336851	0,001189	0,003172	0,307864	0,000977
3	0,007719	0,301433	0,002327	0,007033	0,278906	0,001962
4	0,007835	0,342614	0,002684	0,007353	0,314812	0,002315
5	0,006261	0,395979	0,002479	0,005658	0,356187	0,002015
6	0,00635	0,532419	0,003381	0,005739	0,451826	0,002593
7	0,002163	0,828782	0,001793	0,001662	0,610813	0,001015
8	0,004632	0,236273	0,001094	0,004221	0,224681	0,000948
9	0,005535	0,397045	0,002198	0,005205	0,363159	0,00189
10	0,015152	0,459491	0,006962	0,014653	0,40666	0,005959
11	0,004491	0,313505	0,001408	0,004196	0,290699	0,00122
12	0,008132	0,289274	0,002352	0,007759	0,273853	0,002125
13	0,006246	0,372927	0,002329	0,005803	0,340811	0,001978
14	0,005128	0,404338	0,002073	0,004804	0,364801	0,001752
15	0,006404	0,271584	0,001739	0,006043	0,257509	0,001556
16	0,005299	0,188683	0,001	0,004941	0,181958	0,000899
17	0,007248	0,279203	0,002024	0,006887	0,26448	0,001822
18	0,00549	0,258909	0,001421	0,005228	0,246668	0,001289
19	0,004231	0,247586	0,001048	0,003828	0,236987	0,000907
20	0,005312	0,523953	0,002783	0,004948	0,453244	0,002243
21	0,006172	0,470584	0,002905	0,005528	0,411064	0,002272
22	0,005051	0,436322	0,002204	0,00468	0,385417	0,001804
23	0,005468	0,362436	0,001982	0,005214	0,330106	0,001721
24	0,008017	0,267776	0,002147	0,007692	0,253305	0,001948
25	0,004082	0,429154	0,001752	0,003796	0,379481	0,001441
26	0,004585	0,36375	0,001668	0,004431	0,338719	0,001501
27	0,004727	0,277714	0,001313	0,004441	0,261733	0,001162
28	0,005542	0,385527	0,002136	0,005028	0,34575	0,001739
29	0,003474	0,404525	0,001405	0,002946	0,360973	0,001063
30	0,007033	0,103151	0,000725	0,006908	0,101715	0,000703
31	0,008198	0,504291	0,004134	0,007565	0,431979	0,003268
32	0,007091	0,467095	0,003312	0,006024	0,399048	0,002404
33	0,009757	0,340243	0,00332	0,009433	0,316049	0,002981
34	0,004227	0,224631	0,00095	0,003953	0,214953	0,00085
35	0,004041	0,342371	0,001384	0,003803	0,316727	0,001205
36	0,00467	0,278606	0,001301	0,004432	0,262644	0,001164
37	0,005457	0,440688	0,002405	0,005066	0,386013	0,001956
38	0,005594	0,539124	0,003016	0,005324	0,46027	0,002451
39	0,01026	0,377055	0,003869	0,010072	0,346195	0,003487
40	0,007397	0,47437	0,003509	0,006813	0,405664	0,002764
41	0,008207	0,315187	0,002587	0,007821	0,291134	0,002277
42	0,007706	0,65475	0,005045	0,007127	0,509691	0,003633

43	0,005207	0,620818	0,003233	0,004542	0,507009	0,002303
44	0,002428	0,343689	0,000834	0,002259	0,321205	0,000726
45	0,005659	0,332449	0,001881	0,005105	0,308515	0,001575
46	0,002924	0,363948	0,001064	0,002506	0,329811	0,000827
47	0,005749	0,341701	0,001965	0,005195	0,312085	0,001621
48	0,011848	0,247147	0,002928	0,011489	0,235883	0,00271
49	0,007022	0,444318	0,00312	0,006628	0,395083	0,002619
50	0,015358	0,420791	0,006463	0,014924	0,373961	0,005581
51	0,006924	0,347806	0,002408	0,006317	0,319719	0,00202
52	0,003698	0,46973	0,001737	0,003392	0,411843	0,001397
53	0,006574	0,351243	0,002309	0,006129	0,322753	0,001978
54	0,006324	0,294278	0,001861	0,006063	0,277252	0,001681
55	0,005204	0,298585	0,001554	0,005074	0,278517	0,001413
56	0,003632	0,439958	0,001598	0,002978	0,383376	0,001142
57	0,004611	0,447438	0,002063	0,004311	0,39274	0,001693
58	0,007232	0,377591	0,002731	0,006829	0,345203	0,002358
59	0,008167	0,288281	0,002355	0,007893	0,270137	0,002132
60	0,004745	0,31012	0,001471	0,004369	0,287208	0,001255
61	0,006573	0,313105	0,002058	0,006301	0,288824	0,00182
62	0,007354	0,301302	0,002216	0,007127	0,280111	0,001996
63	0,006843	0,31401	0,002149	0,00646	0,291451	0,001883
64	0,005493	0,241844	0,001328	0,005087	0,228376	0,001162
65	0,007043	0,404472	0,002849	0,006715	0,367446	0,002468
66	0,004979	0,448961	0,002235	0,004665	0,402546	0,001878
67	0,004057	0,112515	0,000456	0,00375	0,110548	0,000415
68	0,002889	0,218634	0,000632	0,002695	0,208385	0,000561
69	0,003923	0,417021	0,001636	0,003655	0,375606	0,001373
70	0,005366	0,449116	0,00241	0,005017	0,404759	0,002031
71	0,002388	0,435627	0,00104	0,002188	0,393014	0,00086
72	0,007318	0,447975	0,003278	0,006748	0,401037	0,002706
73	0,009276	0,28823	0,002674	0,008854	0,273362	0,00242
74	0,003805	0,259048	0,000986	0,003525	0,245346	0,000865
75	0,013112	0,465357	0,006102	0,012725	0,40932	0,005209
76	0,004396	0,383831	0,001687	0,003888	0,344552	0,00134
77	0,008071	0,436077	0,00352	0,007584	0,384705	0,002918
78	0,006617	0,301838	0,001997	0,006167	0,282443	0,001742
79	0,005693	0,420913	0,002396	0,005235	0,376657	0,001972
80	0,010803	0,443591	0,004792	0,009949	0,389223	0,003872
81	0,005279	0,52985	0,002797	0,004345	0,445255	0,001935
82	0,007095	0,501813	0,00356	0,006582	0,439136	0,00289
83	0,006422	0,351055	0,002254	0,006177	0,325718	0,002012
84	0,004278	0,449538	0,001923	0,004073	0,403764	0,001645
85	0,00295	0,44581	0,001315	0,002686	0,402562	0,001081
86	0,006589	0,408169	0,002689	0,006119	0,367675	0,00225
87	0,006783	0,252852	0,001715	0,006409	0,24083	0,001544
88	0,005308	0,441457	0,002343	0,004808	0,389144	0,001871

89	0,003752	0,390643	0,001466	0,003649	0,357962	0,001306
90	0,004765	0,455843	0,002172	0,004219	0,397984	0,001679
91	0,005876	0,485875	0,002855	0,005586	0,418423	0,002337
92	0,006321	0,34022	0,002151	0,005785	0,310797	0,001798
93	0,007174	0,322264	0,002312	0,006843	0,300992	0,00206
94	0,007987	0,339645	0,002713	0,007691	0,313682	0,002413
95	0,004322	0,581964	0,002516	0,003871	0,494207	0,001913
96	0,007784	0,551223	0,004291	0,007432	0,472066	0,003509
97	0,006476	0,47922	0,003103	0,006142	0,426957	0,002623
98	0,008129	0,547297	0,004449	0,007757	0,468481	0,003634
99	0,003953	0,459903	0,001818	0,003975	0,412137	0,001638
100	0,006528	0,328956	0,002148	0,006094	0,30376	0,001851
101	0,004524	0,176749	0,0008	0,004294	0,172382	0,00074
102	0,007322	0,707789	0,005182	0,006244	0,553625	0,003457
103	0,00349	0,704071	0,002457	0,002922	0,558564	0,001632
104	0,007225	0,403952	0,002918	0,006741	0,366132	0,002468
105	0,006122	0,4805	0,002942	0,005485	0,429176	0,002354
106	0,005537	0,442274	0,002449	0,004971	0,395097	0,001964
107	0,005669	0,499931	0,002834	0,005159	0,441939	0,00228
108	0,015925	0,391163	0,006229	0,015117	0,360992	0,005457
109	0,003782	0,396811	0,001501	0,003484	0,356872	0,001243
110	0,00458	0,425768	0,00195	0,004628	0,386792	0,00179
111	0,008013	0,637838	0,005111	0,007575	0,531228	0,004024
112	0,004213	0,557533	0,002349	0,003951	0,477915	0,001888
113	0,008818	0,505762	0,00446	0,00816	0,441415	0,003602
114	0,008896	0,638181	0,005677	0,007886	0,523787	0,004131
115	0,004676	0,438403	0,00205	0,004437	0,39616	0,001758
116	0,006184	0,388362	0,002402	0,005672	0,353656	0,002006
117	0,010313	0,283579	0,002925	0,010043	0,267179	0,002683
118	0,012076	0,483163	0,005835	0,011713	0,424723	0,004975
119	0,009347	0,546907	0,005112	0,008656	0,471899	0,004085
120	0,011853	0,440225	0,005218	0,011326	0,397192	0,004499
121	0,006689	0,463768	0,003102	0,006399	0,414526	0,002653
122	0,006992	0,395926	0,002768	0,006564	0,361193	0,002371
123	0,0052	0,303459	0,001578	0,005007	0,284448	0,001424
124	0,006677	0,241302	0,001611	0,006314	0,232549	0,001468
125	0,0029	0,455864	0,001322	0,002776	0,412225	0,001144
126	0,004916	0,526171	0,002586	0,004359	0,44862	0,001955
127	0,010128	0,537042	0,005439	0,00936	0,461625	0,004321
128	0,008692	0,399485	0,003472	0,008357	0,363863	0,003041
129	0,005218	0,491021	0,002562	0,004895	0,432826	0,002119
130	0,005473	0,395407	0,002164	0,005122	0,361065	0,001849
131	0,006046	0,507243	0,003067	0,005636	0,440896	0,002485
132	0,005411	0,647266	0,003502	0,004487	0,529671	0,002377
133	0,004362	0,271807	0,001186	0,0043	0,259112	0,001114
134	0,004483	0,612966	0,002748	0,004187	0,511533	0,002142

135	0,007221	0,384062	0,002773	0,007113	0,35367	0,002516
136	0,007139	0,255496	0,001824	0,006902	0,244268	0,001686
137	0,004484	0,544737	0,002443	0,004292	0,466522	0,002002
138	0,004969	0,446026	0,002216	0,004638	0,401062	0,00186
139	0,007505	0,273825	0,002055	0,007246	0,260467	0,001887
140	0,008759	0,284763	0,002494	0,008341	0,268685	0,002241
141	0,007792	0,231905	0,001807	0,007709	0,219893	0,001695
142	0,004158	0,274623	0,001142	0,003805	0,258667	0,000984
143	0,007887	0,386687	0,00305	0,00771	0,355923	0,002744
144	0,007858	0,242511	0,001906	0,0073	0,232617	0,001698
145	0,004933	0,225668	0,001113	0,004832	0,218588	0,001056
146	0,006081	0,300036	0,001825	0,005683	0,28145	0,001599
147	0,011028	0,505089	0,00557	0,010179	0,445872	0,004539
148	0,003072	0,470183	0,001445	0,002865	0,420972	0,001206
149	0,002319	0,47442	0,0011	0,0021	0,420063	0,000882
150	0,006119	0,448892	0,002747	0,00562	0,40151	0,002257
151	0,003269	0,558069	0,001824	0,003011	0,478061	0,001439
152	0,007936	0,491593	0,003901	0,007588	0,434879	0,0033
153	0,005935	0,2797	0,00166	0,00579	0,26776	0,00155
154	0,002809	0,542666	0,001524	0,002303	0,46553	0,001072
155	0,006028	0,346018	0,002086	0,005862	0,322569	0,001891
156	0,009178	0,63048	0,005786	0,008689	0,521062	0,004528
157	0,005793	0,298988	0,001732	0,005463	0,281072	0,001535
158	0,004382	0,301853	0,001323	0,004221	0,284476	0,001201
159	0,004626	0,431459	0,001996	0,004377	0,389707	0,001706
160	0,004026	0,520729	0,002097	0,003603	0,449966	0,001621
161	0,005257	0,489271	0,002572	0,004916	0,430523	0,002117
162	0,007793	0,355337	0,002769	0,007213	0,329486	0,002377
163	0,007708	0,252107	0,001943	0,007378	0,239771	0,001769
164	0,00624	0,50536	0,003153	0,005787	0,441965	0,002558
165	0,006093	0,299503	0,001825	0,005756	0,283542	0,001632
166	0,004555	0,2895	0,001319	0,004172	0,274331	0,001145
167	0,001375	0,40001	0,00055	0,001253	0,363408	0,000455
168	0,006336	0,348217	0,002206	0,006111	0,320323	0,001958
169	0,011264	0,297195	0,003348	0,010796	0,281309	0,003037
170	0,004351	0,242039	0,001053	0,004091	0,231713	0,000948
171	0,013953	0,454259	0,006338	0,012564	0,392618	0,004933
172	0,004645	0,202931	0,000943	0,0043	0,19498	0,000839
173	0,005562	0,669822	0,003725	0,004856	0,539937	0,002622
174	0,007845	0,680364	0,005337	0,006988	0,518887	0,003626
175	0,004261	0,574847	0,002449	0,004086	0,487823	0,001993
176	0,007009	0,566537	0,003971	0,006379	0,485746	0,003099
177	0,007868	0,294378	0,002316	0,007716	0,277559	0,002142
178	0,008645	0,369394	0,003193	0,00867	0,341964	0,002965
179	0,005799	0,370863	0,002151	0,005232	0,338718	0,001772
180	0,005259	0,541875	0,00285	0,004863	0,463444	0,002254

181	0,003726	0,405189	0,00151	0,003578	0,366028	0,00131
182	0,008366	0,489935	0,004099	0,007761	0,429955	0,003337
183	0,004904	0,467337	0,002292	0,004434	0,411829	0,001826
184	0,005848	0,446714	0,002613	0,005772	0,394607	0,002278
185	0,005841	0,428505	0,002503	0,005335	0,384732	0,002053
186	0,009457	0,568939	0,00538	0,008949	0,484879	0,004339
187	0,01041	0,353512	0,00368	0,009825	0,329186	0,003234
188	0,004217	0,394243	0,001662	0,003803	0,351839	0,001338
189	0,005889	0,512714	0,003019	0,005382	0,433973	0,002336
190	0,005954	0,655254	0,003902	0,005039	0,530093	0,002671
191	0,007937	0,352797	0,0028	0,00735	0,323671	0,002379
192	0,003208	0,379425	0,001217	0,002891	0,342677	0,000991
193	0,009671	0,396678	0,003836	0,009397	0,362261	0,003404
194	0,007412	0,237387	0,00176	0,007053	0,227355	0,001604
195	0,007579	0,197144	0,001494	0,007327	0,190903	0,001399
196	0,006073	0,208729	0,001268	0,005864	0,202316	0,001186
197	0,003822	0,361221	0,001381	0,00353	0,333297	0,001177
198	0,006459	0,509724	0,003292	0,006049	0,445992	0,002698
199	0,002845	0,465909	0,001326	0,00256	0,412871	0,001057
200	0,004008	0,539897	0,002164	0,003709	0,461386	0,001711
201	0,005865	0,447626	0,002625	0,005481	0,398745	0,002185
202	0,00445	0,488358	0,002173	0,004152	0,43256	0,001796
203	0,005979	0,422699	0,002528	0,005661	0,381946	0,002162
204	0,004489	0,322831	0,001449	0,004351	0,300394	0,001307
205	0,005355	0,314972	0,001687	0,004989	0,296746	0,00148
206	0,005554	0,437331	0,002429	0,005667	0,393344	0,002229
207	0,004979	0,316269	0,001575	0,004811	0,295073	0,00142
208	0,004618	0,342538	0,001582	0,004313	0,317694	0,00137
209	0,004713	0,260454	0,001228	0,004479	0,245914	0,001102
210	0,004257	0,26369	0,001123	0,004103	0,247757	0,001017
211	0,001596	0,426125	0,00068	0,001395	0,383452	0,000535
212	0,003885	0,397897	0,001546	0,003511	0,36163	0,00127
213	0,004824	0,415583	0,002005	0,004485	0,377899	0,001695
214	0,003737	0,328265	0,001227	0,003486	0,306124	0,001067
215	0,006442	0,351457	0,002264	0,006047	0,323495	0,001956
216	0,00607	0,162022	0,000983	0,005829	0,15832	0,000923
217	0,005327	0,317375	0,001691	0,005206	0,298576	0,001554
218	0,003944	0,277271	0,001094	0,003715	0,260873	0,000969
219	0,002494	0,283772	0,000708	0,002357	0,267167	0,00063
220	0,003253	0,412021	0,00134	0,003075	0,370473	0,001139
221	0,00244	0,302722	0,000739	0,002264	0,282377	0,000639
222	0,005063	0,41184	0,002085	0,004734	0,373365	0,001767
223	0,00582	0,207832	0,00121	0,005549	0,200376	0,001112
224	0,002259	0,383955	0,000868	0,002128	0,353099	0,000752
225	0,006248	0,427572	0,002671	0,006175	0,38791	0,002395
226	0,006137	0,446266	0,002739	0,005994	0,402658	0,002414

227	0,004218	0,513617	0,002166	0,003233	0,44699	0,001445
228	0,002918	0,357237	0,001042	0,002696	0,32828	0,000885
229	0,003204	0,282218	0,000904	0,002964	0,266488	0,00079
230	0,003546	0,388787	0,001379	0,003242	0,350278	0,001136
231	0,006077	0,325914	0,001981	0,005711	0,304554	0,001739
232	0,005841	0,39311	0,002296	0,005257	0,358518	0,001885
233	0,006072	0,313124	0,001901	0,005757	0,294378	0,001695
234	0,0057	0,350762	0,001999	0,005551	0,326959	0,001815
235	0,006038	0,280407	0,001693	0,005715	0,26491	0,001514
236	0,008486	0,426231	0,003617	0,008058	0,3818	0,003077
237	0,005691	0,472676	0,00269	0,005285	0,417587	0,002207
238	0,003668	0,476855	0,001749	0,003311	0,412092	0,001364
239	0,005841	0,411992	0,002407	0,005329	0,374237	0,001994
240	0,00812	0,40846	0,003317	0,007664	0,373897	0,002866
241	0,006235	0,336809	0,0021	0,005657	0,309632	0,001752
242	0,005606	0,350873	0,001967	0,005214	0,324041	0,001689
243	0,005597	0,459911	0,002574	0,005386	0,411985	0,002219
244	0,005568	0,399744	0,002226	0,005317	0,356931	0,001898
245	0,004969	0,425842	0,002116	0,004489	0,38145	0,001712
246	0,007229	0,321694	0,002325	0,007119	0,29424	0,002095
247	0,004896	0,3435	0,001682	0,004519	0,316676	0,001431
248	0,005214	0,518981	0,002706	0,004988	0,44773	0,002233
249	0,003733	0,406649	0,001518	0,00347	0,37116	0,001288
250	0,007386	0,39467	0,002915	0,006978	0,356322	0,002486
251	0,006339	0,218571	0,001385	0,005931	0,209353	0,001242
252	0,004797	0,229068	0,001099	0,004361	0,218104	0,000951
253	0,005091	0,194794	0,000992	0,004875	0,18945	0,000924
254	0,005201	0,229942	0,001196	0,004912	0,220468	0,001083
255	0,009824	0,363545	0,003572	0,009769	0,330462	0,003228
256	0,003217	0,346215	0,001114	0,003184	0,324206	0,001032
257	0,004303	0,297531	0,00128	0,003942	0,276256	0,001089
258	0,004942	0,299416	0,00148	0,004546	0,279108	0,001269
259	0,005686	0,217713	0,001238	0,005429	0,210972	0,001145
260	0,005676	0,384006	0,00218	0,00553	0,352123	0,001947
261	0,005185	0,246193	0,001276	0,00481	0,236	0,001135
262	0,003307	0,39891	0,001319	0,002933	0,359253	0,001054
263	0,007605	0,333727	0,002538	0,007136	0,310055	0,002212
264	0,004216	0,322434	0,001359	0,00389	0,301849	0,001174
265	0,007841	0,241237	0,001892	0,007433	0,232182	0,001726
266	0,005007	0,270368	0,001354	0,004712	0,255764	0,001205
267	0,005227	0,308721	0,001614	0,004738	0,289558	0,001372
268	0,008038	0,320413	0,002575	0,007647	0,297846	0,002278
269	0,00602	0,415149	0,002499	0,005552	0,370437	0,002057
270	0,004385	0,484973	0,002127	0,003868	0,419608	0,001623
271	0,005197	0,367564	0,00191	0,004957	0,338455	0,001678

CNAAA - Primeira ordem

Código da bacia	Superfície Planimétrica			Superfície Modelada		
	DH_hollows	G	IED_hollows	DH_hollows	G	IED_hollows
1	0,002717	0,366562	0,000996	0,00265	0,340245	0,000902
2	0,005662	0,500107	0,002832	0,005414	0,439338	0,002379
3	0,005477	0,492681	0,002699	0,005274	0,429761	0,002267
4	0,006401	0,392263	0,002511	0,006015	0,354968	0,002135
5	0,00408	0,561755	0,002292	0,003827	0,484674	0,001855
6	0,002107	0,517132	0,00109	0,001894	0,438167	0,00083
7	0,004532	0,406145	0,001841	0,004159	0,366305	0,001523
8	0,002133	0,528261	0,001127	0,001831	0,45293	0,000829
9	0,003246	0,508891	0,001652	0,002899	0,443635	0,001286
10	0,005466	0,342511	0,001872	0,005281	0,322076	0,001701
11	0,004503	0,40042	0,001803	0,004314	0,361357	0,001559
12	0,006255	0,356943	0,002233	0,005959	0,32764	0,001952
13	0,003856	0,42113	0,001624	0,003716	0,384532	0,001429
14	0,003873	0,260328	0,001008	0,003612	0,248729	0,000899

Quitite e Papagaio - Primeira ordem

Código da bacia	Superfície Planimétrica			Superfície Modelada		
	DH_hollows	G	IED_hollows	DH_hollows	G	IED_hollows
1	0,007867	0,204913	0,001612	0,007682	0,196213	0,001507
2	0,005827	0,205562	0,001198	0,005482	0,198134	0,001086
3	0,007365	0,259008	0,001908	0,00699	0,241827	0,00169
4	0,008666	0,262614	0,002276	0,00838	0,251049	0,002104
5	0,004971	0,547857	0,002724	0,004524	0,463257	0,002096
6	0,003674	0,293292	0,001078	0,003301	0,274672	0,000907
7	0,003118	0,272347	0,000849	0,002977	0,258622	0,00077
8	0,007136	0,449572	0,003208	0,006997	0,393372	0,002752
9	0,005789	0,685198	0,003966	0,005175	0,549126	0,002842
10	0,005254	0,723857	0,003803	0,004719	0,560702	0,002646
11	0,003615	0,644543	0,00233	0,003503	0,537263	0,001882
12	0,002936	0,478825	0,001406	0,002594	0,427921	0,00111
13	0,008456	0,61014	0,005159	0,007716	0,505429	0,0039
14	0,004503	0,528493	0,00238	0,004422	0,449289	0,001987
15	0,00631	0,343404	0,002167	0,005986	0,317257	0,001899
16	0,003092	0,402736	0,001245	0,003031	0,36825	0,001116
17	0,005148	0,27625	0,001422	0,00494	0,262183	0,001295
18	0,003048	0,272671	0,000831	0,002742	0,261505	0,000717
19	0,003327	0,487305	0,001621	0,003015	0,420191	0,001267
20	0,003188	0,660254	0,002105	0,002739	0,507535	0,00139
21	0,003894	0,410996	0,0016	0,003586	0,37374	0,00134
22	0,005717	0,396149	0,002265	0,005435	0,363428	0,001975
23	0,011057	0,503575	0,005568	0,01016	0,43756	0,004446
24	0,002489	0,448948	0,001117	0,002486	0,405969	0,001009

Angra dos Reis - Segunda ordem

Código da bacia	Superfície Planimétrica			Superfície Modelada		
	DH_hollows	G	IED_hollows	DH_hollows	G	IED_hollows
1	0,005757	0,238205	0,001371	0,005615	0,223447	0,001255
2	0,006494	0,276914	0,001798	0,00627	0,258923	0,001623
3	0,006796	0,254809	0,001732	0,006423	0,236267	0,001518
4	0,010032	0,30144	0,003024	0,009583	0,281171	0,002694
5	0,004622	0,266971	0,001234	0,004555	0,253585	0,001155
6	0,007119	0,259668	0,001849	0,006372	0,237813	0,001515
7	0,0068	0,217934	0,001482	0,006441	0,204832	0,001319
8	0,00489	0,239488	0,001171	0,004491	0,226286	0,001016
9	0,00675	0,166682	0,001125	0,006392	0,1618	0,001034
10	0,006658	0,221654	0,001476	0,006342	0,209399	0,001328

Córrego Dantas - Segunda ordem

Código da bacia	Superfície Planimétrica			Superfície Modelada		
	DH_hollows	G	IED_hollows	DH_hollows	G	IED_hollows
1	0,004845	0,297619	0,001442	0,004345	0,275513	0,001197
2	0,005853	0,228937	0,00134	0,005361	0,216331	0,00116
3	0,008347	0,293464	0,00245	0,00788	0,274586	0,002164
4	0,004568	0,415225	0,001897	0,004022	0,372877	0,0015
5	0,006173	0,316531	0,001954	0,005718	0,293245	0,001677
6	0,007193	0,275295	0,00198	0,006842	0,256694	0,001756
7	0,008363	0,264273	0,00221	0,007847	0,246939	0,001938
8	0,005651	0,220002	0,001243	0,005238	0,20953	0,001097
9	0,003637	0,315461	0,001147	0,003363	0,293724	0,000988
10	0,004225	0,188836	0,000798	0,003937	0,180984	0,000713
11	0,004217	0,16635	0,000701	0,003908	0,160113	0,000626
12	0,005052	0,232841	0,001176	0,004714	0,220336	0,001039
13	0,006375	0,409489	0,00261	0,005815	0,365198	0,002124
14	0,007295	0,305097	0,002226	0,006858	0,282753	0,001939
15	0,004797	0,380458	0,001825	0,004505	0,34126	0,001537
16	0,004725	0,37094	0,001753	0,004278	0,337222	0,001443
17	0,005774	0,208516	0,001204	0,005421	0,199274	0,00108
18	0,005521	0,243334	0,001343	0,00521	0,230422	0,0012
19	0,006109	0,225612	0,001378	0,005806	0,215162	0,001249
20	0,008667	0,525824	0,004557	0,008077	0,453305	0,003661
21	0,008884	0,548585	0,004873	0,008564	0,463694	0,003971
22	0,004941	0,513163	0,002535	0,00424	0,436629	0,001851
23	0,003237	0,410938	0,00133	0,002946	0,367536	0,001083
24	0,006796	0,401626	0,00273	0,00635	0,365753	0,002322
25	0,004528	0,263342	0,001192	0,004249	0,247078	0,00105
26	0,005113	0,210825	0,001078	0,004885	0,201389	0,000984
27	0,005191	0,309821	0,001608	0,004949	0,288429	0,001427
28	0,005364	0,372895	0,002	0,005079	0,34223	0,001738
29	0,005637	0,230122	0,001297	0,005301	0,21865	0,001159
30	0,004673	0,454645	0,002125	0,004218	0,396492	0,001672
31	0,005618	0,255216	0,001434	0,005344	0,241787	0,001292
32	0,004976	0,174799	0,00087	0,004634	0,167815	0,000778
33	0,005269	0,285549	0,001504	0,00491	0,267379	0,001313
34	0,005105	0,312904	0,001597	0,004743	0,291797	0,001384
35	0,006995	0,324343	0,002269	0,00674	0,301997	0,002035
36	0,006186	0,221168	0,001368	0,005816	0,209876	0,001221
37	0,006567	0,27157	0,001783	0,00612	0,255561	0,001564
38	0,009456	0,390252	0,00369	0,008834	0,349564	0,003088
39	0,007273	0,466656	0,003394	0,006424	0,403857	0,002594
40	0,005919	0,320612	0,001898	0,005666	0,296527	0,00168
41	0,006105	0,396593	0,002421	0,005318	0,34967	0,00186

42	0,007375	0,30263	0,002232	0,006966	0,276685	0,001927
43	0,004735	0,194756	0,000922	0,00445	0,187681	0,000835
44	0,006519	0,391748	0,002554	0,006144	0,354662	0,002179
45	0,004226	0,314544	0,001329	0,003914	0,291889	0,001143
46	0,005105	0,418672	0,002137	0,004788	0,371031	0,001777
47	0,005387	0,255651	0,001377	0,00485	0,240455	0,001166
48	0,006417	0,218119	0,0014	0,006079	0,207948	0,001264
49	0,005668	0,116822	0,000662	0,005355	0,114737	0,000614
50	0,00771	0,453883	0,003499	0,006834	0,389771	0,002664
51	0,005627	0,383069	0,002156	0,005478	0,349406	0,001914
52	0,004151	0,308925	0,001282	0,003844	0,287286	0,001104
53	0,004959	0,482783	0,002394	0,004506	0,41756	0,001882
54	0,005942	0,416611	0,002476	0,005404	0,37519	0,002028
55	0,004608	0,14743	0,000679	0,004267	0,142726	0,000609
56	0,007718	0,421121	0,00325	0,007304	0,381725	0,002788
57	0,006739	0,286127	0,001928	0,006368	0,267977	0,001707
58	0,004255	0,452694	0,001926	0,003835	0,398261	0,001527
59	0,005427	0,318443	0,001728	0,005097	0,294806	0,001503
60	0,004552	0,324634	0,001478	0,004205	0,299602	0,00126
61	0,005657	0,406216	0,002298	0,005148	0,362636	0,001867
62	0,007437	0,405039	0,003012	0,006983	0,365005	0,002549
63	0,007853	0,256604	0,002015	0,007487	0,243277	0,001821
64	0,005627	0,402163	0,002263	0,005444	0,367623	0,002001
65	0,006116	0,26589	0,001626	0,005893	0,251695	0,001483
66	0,004069	0,343448	0,001397	0,003712	0,31688	0,001176
67	0,004828	0,400813	0,001935	0,00452	0,365837	0,001654
68	0,006843	0,243431	0,001666	0,006478	0,233164	0,001511
69	0,00724	0,242614	0,001756	0,0067	0,232939	0,001561
70	0,005564	0,198815	0,001106	0,005217	0,191263	0,000998
71	0,00613	0,549732	0,00337	0,005507	0,46085	0,002538
72	0,004271	0,344257	0,00147	0,004019	0,31834	0,001279

Quitite e Papagaio - Segunda ordem

Código da bacia	Superfície Planimétrica			Superfície Modelada		
	DH_hollows	G	IED_hollows	DH_hollows	G	IED_hollows
1	0,007941	0,257169	0,002042	0,007355	0,240619	0,00177
2	0,005619	0,419519	0,002357	0,004704	0,366393	0,001724
3	0,005799	0,373813	0,002168	0,00533	0,334041	0,001781
4	0,003852	0,419871	0,001617	0,003426	0,381292	0,001306
5	0,003945	0,490074	0,001934	0,003065	0,403545	0,001237