



Ana Paula Morais de Lima

**Distribuição Espacial dos processos
de voçorocamento no Médio Vale do
Rio Paraíba do Sul-RJ**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia do departamento de Geografia e Meio Ambiente da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Marcelo Motta de Freitas

Rio de Janeiro

Maio de 2019



Ana Paula Morais de Lima

**Distribuição Espacial dos processos
de voçorocamento no Médio Vale do
Rio Paraíba do Sul-RJ**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de mestre pelo programa De
Pós-Graduação em Geografia da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Marcelo Motta de Freitas

Orientador
Departamento de Geografia PUC-Rio

Prof. Julio Cesar Horta de Almeida

Departamento de Geologia- UERJ

Dr. Rosângela Garrido Machado Botelho

Geógrafa IBGE

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Ana Paula Morais de Lima

Bacharel e licenciada em Geografia e Meio Ambiente pela PUC-Rio em 2016, atuou em projetos de pesquisa da Embrapa Solos voltados para pagamentos por serviços ambientais (PSA) hídricos no Brasil, e atuando na criação de um banco de dados bibliográficos sobre o tema. Iniciou mestrado em Geografia na PUC-Rio na linha de Transformação da paisagem em 2017, iniciando um novo tema de pesquisa voltado para a compreensão do processo de voçorocamento no médio Vale do rio Paraíba do Sul (RJ) e sua importância na evolução da paisagem geomorfológica dessa região.

Ficha Catalográfica

Lima, Ana Paula Morais de

Distribuição espacial dos processos de voçorocamento no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul-RJ / Ana Paula Morais de Lima ; orientador: Marcelo Motta de Freitas. – 2019.

97 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia e Meio Ambiente, 2019.

Inclui bibliografia

1. Geografia e Meio Ambiente – Teses. 2. Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. 3. Voçorocas. 4. Knickpoints. 5. Evolução da paisagem. I. Freitas, Marcelo Motta de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Geografia e Meio Ambiente. III. Título.

CDD: 910

Para meu pai, Dorgival Lima, por todo apoio e incentivo
aos estudos.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela oportunidade de chegar até aqui, pela graça concedida, sem a qual nada seria possível, a ele toda glória.

À CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao meu orientador, Marcelo Motta, que idealizou este trabalho e confiou a mim a responsabilidade de colocar em prática, orientando e não medindo esforços para me ajudar a entender a paisagem sempre além do óbvio.

Ao professor Rodrigo Paixão que acompanhou todo desenvolvimento do trabalho, realizando grandes contribuições e sanando milhares de dúvidas no decorrer do desenvolvimento da dissertação.

Aos meus pais que não mediram esforços para investir em meu crescimento para que eu pudesse chegar até aqui e ir além.

Ao meu noivo por sempre me incentivar e sonhar os meus sonhos, fazendo de tudo para me ajudar alcançar os objetivos estabelecidos.

À minha irmã por me fazer sorrir e enxergar meu potencial nos dias mais difíceis de prosseguir.

Ao meu sobrinho Augusto César por me proporcionar tantas alegrias com seus sorrisos que curam.

Às colegas do grupo de pesquisa MorfoTektos, que forneceram ajuda e bases essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa. Rafaela Almeida, que me auxiliou diversos momentos em minhas dúvidas no geoprocessamento e contribuiu para a produção de mapas, Stephanie que acompanhou os campos da pesquisa e contribuiu fornecendo dados importantes para a pesquisa, Letícia que sempre acreditou neste trabalho e prontamente se dispôs a ajudar na plotagem de voçorocas juntamente com Nicole, Thayná que me ensinou procedimentos importantes no Arc Gis.

A todos os companheiros de curso e todos os professores que brilhantemente enriqueceram meu olhar sobre as questões estudadas e desempenharam um papel fundamental na minha formação.

“O Presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. ”

RESUMO

Lima, Ana Paula Morais de; Freitas, Marcelo Motta de. **Distribuição Espacial dos processos de voçorocamento no médio vale do rio Paraíba do Sul-RJ**. Rio de Janeiro, 2019. 97p. Dissertação de Mestrado- Departamento de Geografia e Meio Ambiente , Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O processo de voçorocamento é apontado em muitas pesquisas como consequência do uso do solo, sobretudo da ação antrópica. Entretanto, no médio vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP), tem se observado que áreas sob o mesmo tipo de cobertura e uso do solo apresentam comportamentos diferentes quanto a ocorrência de voçorocas, indicando que existem outros fatores que determinam, de forma mais intensa, a ocorrência desse processo. Desta forma, esse trabalho se propôs a investigar os fatores que podem influenciar a distribuição diferencial do processo de voçorocamento nesta paisagem. Foram selecionadas as bacias mais próximas à calha principal do rio Paraíba do Sul e foram plotadas (em imagem de satélite, com método de fotointerpretação) todas as voçorocas identificadas nesta área. A distribuição espacial de voçorocas foi comparada com outros dados da região (unidades litológicas, cobertura e uso e aspectos morfométricos do relevo). Ao todo foram plotadas 671 voçorocas. Destas 671, 99 (14,7%) foram identificadas como resultado de cortes de estrada e 572 (85,3%) sem aparente relação direta com os cortes de estrada. O resultado da análise evidenciou a predominância deste processo sobre a unidade metassedimentar do gnaisse Paraíba do Sul, caracterizado por um material bastante friável quando decomposto. Além disso, a proximidade da calha principal do rio Paraíba do sul também exerce influência como nível de base regional, determinando o limite do processo erosivo.

PALAVRAS-CHAVE

Médio Vale do rio Paraíba do Sul; Voçorocas; Knickpoints; Evolução da Paisagem.

Abstract

Lima, Ana Paula Morais de; Freitas, Marcelo Motta de (Advisor). **Spatial Distribution of the Gully Processes in the Middle Valley of Paraíba do Sul River-RJ**. Rio de Janeiro, 2019. 97p. Dissertação de Mestrado- Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Gully erosion have been indicated in many researches as a consequence of the use of land use and land cover. However, it has been observed, in middle Paraíba do Sul river valley, that areas on the same type of current and past land use cover presents different behaviors regarding the occurrence of gullies. This indicates that there are other factors that determine the occurrence of this process. The factors that may influence the differential distribution of the gully erosion process in this landscape were investigated. Initially, the watersheds closest to the main waterway of the Paraíba do Sul river were selected and all gullies were identified in this area. The spatial distribution of gullies was compared with other data of the region (lithologic units structure, land use cover and morphometric aspects of relief). In all, 671 gullies were plotted. Of these 671, 99 (14,7%) were identified as result of roads, and 572 (85,3%) with no apparent direct relation to this. The result of the analysis evidenced that the predominance of gully erosion is on the metasedimentary lithologic unit of the Paraíba do Sul gneiss. This lithologic unit is characterized by a very friable material when decomposed. In addition, the proximity of the main channel of the Paraíba do Sul river also exerts influences as a regional base level, determining the limit of the erosive process.

Keywords

Middle Paraíba do Sul river valley; Gullies; Knickpoints; Landscape evolution.

Sumário

1.Introdução	15
2.Objetivos	17
3.Revisão Bibliográfica	18
3.1. As transições de paisagem no Médio vale do rio Paraíba do Sul e suas implicações hidroerosivas	18
3.2. Voçorocas: definições e abordagens	22
3.3.Fatores desencadeadores do processo de voçorocamento.	27
3.4. Evolução da Paisagem do vale do rio Paraíba do Sul: o papel Dos níveis de base (Knickpoints).	29
3.5.Aspectos da Geomorfologia do Vale do rio Paraíba do Sul	33
4. Procedimentos Metodológicos	36
4.1. Levantamento bibliográfico e revisão sistemática	36
4.2. Identificação de voçorocas por imagem de satélite e mapeamento	37
4.3. Elaboração de Mapas no Arc Gis	38
4.3.1. Mapa de distribuição espacial de voçorocas	38
4.3.2. Mapa de cobertura e uso	38
4.3.3. Mapa de unidades litológicas	38
4.3.4. Modelo digital de elevação	38
4.3.5. Rosetas	39
4.4. Análise de voçorocas em campo	39
4.5. Cruzamento de dados	40
5. Caracterização da área de estudo	41
5.1. Bacia do Paraíba do Sul: aspectos gerais	41
5.2. Cobertura e uso no Médio Vale do rio Paraíba do Sul	43
5.3. Padrão climatológico do Médio Vale do rio Paraíba do Sul (RJ)	44

6. Resultados e discussões	47
6.1. Distribuição espacial e padrões de voçorocas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul.	47
6.2. Padrões de voçorocamento	49
6.2.1. Padrões de voçorocamentos em Três Rios (RJ)	49
6.2.2. Padrões de voçorocamentos em Barra do Piraí (RJ)	53
6.2.3. Padrões de voçorocamentos em Bananal (SP)	56
6.3. Análise de Padrões Morfométricos dos pontos de concentração de voçorocamento	58
6.3.1. Sub bacias de Três Rios (RJ)	60
6.3.2. Sub bacias de Vassouras (RJ)	65
6.3.3. Sub bacias de Barra do Piraí (RJ)	69
6.3.4. Sub bacias de Barra Mansa (RJ) e Bananal (SP)	73
6.3.5. Hipsometria na perspectiva regional.	76
6.4. Cobertura e uso do solo e voçorocas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul	78
6.5. O papel da litologia na distribuição de voçorocas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul.	82
7. Considerações Finais	86
8. Referências Bibliográficas	89

Lista de Siglas

ANA- Agência Nacional de Águas

AGEVAP- Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

GPS- Global Position System

INEA- Instituto Estadual do Ambiente

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

KML- Keyhole Markup Language

MDE- Modelo Digital de Elevação

NW- Northwest (Noroeste)

NE- Northeast (Nordeste)

PIB- Produto Interno Bruto

SRTM- Shuttle Radar Topography Mission

UTM- Universal Transversa de Mercator

Lista de Ilustrações

Figura 1- Imagem de Satélite de Voçorocas em Barra do Piraí (RJ). Data: 18/05/2005.	25
Figura 2- Imagem de Satélite de Voçorocas em Barra do Piraí (RJ). Data: 29/02/2012.	26
Figura 3- Imagem de Satélite de Voçorocas em Barra do Piraí (RJ). Data: 10/01/2019.	26
Figura 4- Desenho esquemático de captura fluvial lateral, onde o nível de base 1 (NB1) é mais baixo que o nível de base 2 (NB2).	31
Figura 5- Esquema metodológico da pesquisa.	36
Figura 6- Voçorocas em imagem de satélite do Google Earth.	37
Figura 7- Mapa de microbacias analisadas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP).	42
Figura 8- Precipitação anual acumulada em Pinheiral (RJ) entre 1961 e 1990.	45
Figura 9- Precipitação anual acumulada em Piraí (RJ) entre 1961 e 1990.	45
Figura 10- Precipitação Anual Acumulada em Resende (RJ) entre 1931 e 1990.	46
Figura 11- Precipitação anual acumulada em Vassouras (RJ) entre 1931 e 1990.	46
Figura 12- Mapa da distribuição espacial de voçorocas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP).	48
Figura 13- Mecanismo de voçorocamento em alta encosta de solos rasos gerando voçorocas rasas que entalham os eixos de drenagem	50
Figura 14- Aspecto dos processos de voçorocamento seguindo a rede de drenagem (destacadas nas linhas laranja) em encostas íngremes nas bacias do entorno da cidade de Três Rio (RJ).	51
Figura 15- Voçoroca em processo de expansão, entalhando o canal até o novo nível de base, deixando terraços fluviais do antigo nível de base suspensos (Três Rios, RJ).	52
Figura 16- Casas na área de expansão de voçorocas em Barra do Piraí (RJ).	53

Figura 17- Cenário de Instabilidade com Casas próximas às voçorocas na área de expansão urbana de Barra do Piraí (RJ).	54
Figura 18- Relevo predominantemente colinoso em Barra do Piraí (RJ).	54
Figura 19- Mecanismo de voçorocamento na média encosta de colinas associadas a formas côncavas do relevo em Barra do Piraí (RJ).	55
Figura 20- Mecanismo de voçorocamento no fundo de vale, associado ao rebaixamento de nível de base na drenagem principal.	56
Figura 21- Voçoroca da Fazenda Bela Vista (Bananal-SP) em processo de recobrimento vegetal.	57
Figura 22- Pontos de concentração de voçorocas no Médio vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP).	59
Figura 23- Imagem de Satélite de concavidades e aparentes voçorocas estabilizadas em Paraíba do Sul (RJ).	60
Figura 24- Roseta dos lineamentos de voçorocas em Três Rios (RJ) e Rio das Flores (RJ).	61
Figura 25- Gráfico das altitudes dos pontos de voçoroca em Três Rios.	61
Figura 26- Altimetria e voçorocas em Três Rios (RJ) e Rio das Flores.	63
Figura 27- Declividade e voçorocas em Três Rios (RJ) e Rio das Flores (RJ).	64
Figura 28- Altitude dos pontos de voçorocas em Vassouras (RJ).	65
Figura 29- Roseta dos lineamentos de voçorocas em Vassouras (RJ).	66
Figura 30- Hipsometria e voçorocas em Vassouras (RJ).	67
Figura 31- Mapa da relação entre voçorocas e a declividade em Vassouras (RJ).	68
Figura 32- Roseta dos lineamentos de voçorocas em Barra do Piraí (RJ).	69
Figura 33- Altitudes dos pontos de voçorocas em Barra do Piraí (RJ).	70

Figura 34- Voçorocas e altitude em Barra do Piraí (RJ).	71
Figura 35- Voçorocas e declividade em Barra do Piraí (RJ).	72
Figura 36- Roseta dos lineamentos de voçorocas em Barra Mansa (RJ).	73
Figura 37- Altitude dos pontos de voçorocas em Barra Mansa (RJ) e Bananal (SP).	74
Figura 38- Hipsometria e voçorocas em Barra Mansa e Bananal.	75
Figura 39- MDE do Médio Vale do rio Paraíba do Sul.	77
Figura 40- Mapa de voçorocas relacionadas a Cobertura e uso no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (Trecho 1).	79
Figura 41- Mapa de voçorocas e Cobertura e uso no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (Trecho 2).	80
Figura 42- Mapa de voçorocas e Cobertura e uso no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (Trecho 3).	81
Figura 43- Compartimentos do relevo em Barra do Piraí-RJ.	82
Figura 44- Mapa de Unidades litológicas relacionado a distribuição de voçorocas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul.	84

“A pressa é inimiga da paisagem”

Roberto Netto

1. Introdução

O processo de voçorocamento atua na transformação da paisagem, estando associado à evolução da rede de drenagem (Coelho Netto, 2003; Silva & Santos, 2010). Muitas vezes o voçorocamento é considerado um processo associado apenas ao uso do solo, entretanto se trata de um processo natural cuja ocorrência envolve uma série de fatores que juntos podem potencializar ou não sua ocorrência em determinada paisagem. Entretanto, o voçorocamento pode ser, também, tratado como um sério problema ambiental, pois é um processo que gera a degradação de terras produtivas e gera uma carga de sedimentos que pode ser extremamente prejudicial à qualidade da água nos locais próximos a sua ocorrência (Viero, 2004).

Os processos de erosão e sedimentação são uma séria ameaça aos recursos hídricos brasileiros (ANA, 2009), pois esses processos geram perdas significativas dentro das propriedades e com “externalidades ambientais e socioeconômicas significativas” (Santos *et al.*, 2010). Em estimativas da GEO Brasil (2002, *apud* SANTOS *et.al.*, 2010) o somatório de prejuízos gerados pela erosão chegou a cerca de 13,3 bilhões de reais por ano. Dado o potencial agrícola brasileiro, essa é uma questão para a qual se deve atentar. O desgaste do solo pelos processos erosivos e a falta de práticas corretas de manejo tornam os solos improdutivos, afetando, principalmente os pequenos produtores rurais.

O voçorocamento pode gerar perda de solo, provocando impactos econômicos. Há (em média) uma taxa de tolerância entre 9 e 12 toneladas de perda de solo por hectare por ano (ANA, 2009). No Brasil a média das taxas de erosão estão na faixa de 25 toneladas por hectare por ano (ANA, 2009). Isso representa prejuízos associados à perda de nutrientes dos solos e a qualidade das águas que sofrem intensa sedimentação.

O processo de voçorocamento tem sido intensamente associado ao uso do solo, sobretudo no que tange as ações antrópicas e remoção de cobertura vegetal (Guerra, 2011). Entretanto, tem se observado que áreas sob o mesmo tipo de uso do solo reagem de forma diferente quanto ao processo de voçorocamento (Freitas, 2007). Tal realidade nos leva a questionar se, de fato, o uso do solo é o fator de maior peso nesse processo e quais outros fatores influenciam essa distribuição diferencial do processo de voçorocamento.

O Médio Vale do rio Paraíba do Sul é um lugar emblemático em termos da ação antrópica, remoção de cobertura vegetal e mudanças no uso do solo. O ciclo do café que marcou a economia Brasileira nos séculos XIX e XX se concentrou no Vale do Paraíba, gerando profundas transformações na paisagem (Dean, 1996). Este foi, portanto, o lugar escolhido para este estudo, por reunir uma diversidade de voçorocas, traços históricos e geomorfológicos que possibilitam uma análise integrada da questão a ser investigada.

2.OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo geral avaliar a ocorrência dos processos de voçorocamento, entendendo-os como parte do processo de evolução do relevo no médio vale do rio Paraíba do Sul, e identificar, dentre os fatores analisados, os que exercem maior influência na ocorrência de voçorocas e sua distribuição espacial.

O objetivo principal é realizar uma abordagem regional da ocorrência de voçorocas, buscando compreender como elas se distribuem na paisagem estudada e como esse conjunto de feições erosivas pode se tornar um tipo de “indicador de resposta” a condições específicas da litologia e da geomorfologia da área estudada, ou seja, o estudo de voçorocas como indicadores de um processo maior que deflagra sua ocorrência.

Entre os objetivos específicos, destacamos:

*Analisar a distribuição espacial das voçorocas no médio Vale do rio Paraíba do Sul, no trecho de Três Rios (RJ) a Itatiaia (RJ), abrangendo Bananal (SP) e Areais (SP).

*Identificar os fatores influentes no desencadeamento da ocorrência de voçorocas.

*Analisar a relação entre o uso do solo e a ocorrência de voçorocas.

* Analisar a relação entre as unidades litológicas e a distribuição espacial das voçorocas.

* Analisar a influência do efeito do rebaixamento de nível de base e recuo erosivo das drenagens por voçorocamento.

Por fim, este trabalho também visa contribuir para o avanço do entendimento da evolução da paisagem do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, complementando pesquisas anteriores e dando abertura para pesquisa futuras.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. As transições de paisagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul e suas implicações hidroerosivas

Os primeiros habitantes do Vale do rio Paraíba do Sul foram os índios Puris, que faziam parte dos Tupinambá (Brasil *et al.*, 2018). A chegada dos europeus no século XVI e suas primeiras empreitadas nesta região motivadas pela busca de pedras preciosas, fizeram os índios fugirem para as áreas montanhosas da Serra do Mar e Mantiqueira (Brasil *et al.*, 2018).

Segundo Brasil *et al.* (2018, p.46):

“Até o início do século XVIII, as terras do Vale do Paraíba do Sul eram consideradas pouco exploradas, de ocupação limitada. A região era dominada por matas nativas, sob relevo acidentado. As elevadas e íngremes escarpas das vertentes sul da Serra do Mar conjugadas com uma extensa e densa floresta, tornavam difícil sua transposição.”

Segundo Dean (1996), o século XIX foi o século do café no Brasil. O ciclo do café gerou diversas mudanças na região do vale do rio Paraíba do Sul. Com a apropriação dessas terras para o café, os índios foram dizimados (Ruiz *et al.*, 2018). Dean (1996) relata detalhadamente a história da devastação da Mata Atlântica que atingiu esta região com a explosão da atividade econômica do plantio de café. O plantio de café exigia solos úmidos, nem encharcados e nem secos, exigindo um regime de chuvas de 1300 a 1800 mm. O vale do rio Paraíba do Sul foi o lugar ideal para seu plantio, pois além das condições necessárias para a plantação tinha proximidade dos grandes centros urbanos de Rio de Janeiro e São Paulo (Ruiz *et al.*, 2018).

Acreditava-se que o café precisava ser plantado em solo coberto por floresta virgem, pois o café, sendo uma planta perene, levava 4 anos para poder assumir a maturidade, podendo permanecer produtiva por 30 anos (Dean, 1996). Com isso, diversos trechos de floresta foram queimados. Essa prática da queimada foi baseada na apropriação da coivara, “uma técnica indígena que utiliza o fogo para queimar a vegetação nativa e assim disponibilizar nutrientes para o plantio de variedades agrícolas” (Brasil *et al.*, 2018, p.149). Entretanto, diferente dos indígenas, não foi respeitado o tempo de pousio para regeneração natural, e também não usaram rotação de cultivos em sistemas diversificados (Brasil *et al.*, 2018). As plantações velhas eram abandonadas e mais faixas de florestas primárias eram removidas para

estabelecer nossos plantios de café. “Os incêndios de muitas clareiras elevavam imensas nuvens cinzentas de fumaça. O vale do Paraíba deve ter parecido infernal ao final das estações secas, com centenas de fogos se espalhando por todos os lados” (Dean, 1996, p.199).

Ruiz *et al.* (2018, p.34) descrevem esse processo de intensa produção de café no Médio Vale do rio Paraíba do Sul:

“Na região, as lavouras que mais se sobressaiam localizavam-se em Vassouras, Valença, Resende, São João Marcos (atual distrito de Rio Claro, no Rio de Janeiro), Bananal e Areias (ambas em São Paulo), formando-se, portanto, uma área onde a cultura cafeeira atingiu os seus maiores índices de produção em meados do século XIX. O estado do Rio de Janeiro foi durante três quartos de século o principal produtor, passando de 79 arrobas embarcadas para Lisboa e Porto em 1779, para 82.2454 em 1806.”

O domínio do café sobre o Vale do rio Paraíba do Sul, sobretudo o Médio Vale, proporcionou a intensificação da capacidade erosiva das chuvas sobre o solo desnudo, inclusive carreando as pequenas mudas de café, além disso a própria forma de cultivo do café foi prejudicial à proteção dos solos (Ruiz *et al.*, 2018). Dantas & Coelho Netto (2018, p. 77) afirmam que esse período, de aproximadamente cem anos (1780-1880), “representou um período de intensa atividade morfodinâmica”. O alinhamento dos cafezais se tornaram rampas para o carregamento de sedimentos por erosão laminar. A intensidade desse processo teria levado a perda do horizonte A (rico em matéria orgânica deixada pela floresta), gerando o esgotamento desses solos (Dantas & Coelho Netto, 2018; Ruiz *et al.*, 2018).

Cabral (2014) afirma que a retirada da floresta gerou um desequilíbrio ecossistêmico dando abertura para proliferação de pragas, como a formiga Saúva, que gerou grandes prejuízos aos cafezais. É provável que essas pragas não tivessem existência ou proliferação no ambiente florestal devido à presença de predadores que controlavam sua reprodução.

O autor supracitado afirma que os proprietários de terra na região do vale do Paraíba não possuíam dinheiro suficiente para fazer o plantio em 100% de suas terras simultaneamente. Com isso, o vale do Paraíba se tornou uma “colcha de retalhos” de cafezais e florestas primárias. Brasil *et al.* (2018) afirmam que essa paisagem se tornou um mosaico de vegetação secundária, vegetação conservada e

plantações em solo nu. Os locais onde os pés de café já não conseguiam mais produzir eram abandonados e invadidos pelo mato que crescia e atraía o gado.

Para Dean (1996), os traços que restaram do café foram apagados pelo gado, bem como a possibilidade de um reflorestamento secundário. Brasil *et al.* (2018) realizaram entrevistas a fazendeiros antigos da região do Médio Vale do rio Paraíba do Sul, e, segundo o relato dos entrevistados, as terras arrasadas pelo café e a abolição da escravatura provocaram o esgotamento desse modelo e sua insustentabilidade econômica. Com isso, muitas terras foram barateadas e muitos pecuaristas do sul de Minas Gerais, que faziam pecuária em terras com um relevo parecido com o do Vale do Paraíba, compraram essas terras e estabeleceram esse novo tipo de uso. Os ex proprietários deixaram terras e propriedades estruturadas com estradas e sistemas de captação de águas entre outras benfeitorias. Toda essa infraestrutura facilitou a inserção da pecuária nesta região, modificando as relações de trabalho. Por ser uma atividade que demanda menos mão de obra, acabou por impulsionar o êxodo rural na região (Brasil *et al.*, 2018).

Essa paisagem se tornou um ambiente de pecuária extensiva, com cobertura de gramíneas e ocorrências isoladas de mata secundária (Avelar & Coelho Netto, 1992; Dantas & Coelho Netto, 2018)¹. Nas áreas de pastagem recobertas por gramíneas houve uma mudança radical na dinâmica hidrológica, pois essa vegetação apresenta densa malha de raízes que dificultam o escoamento superficial e aumentam a infiltração de água no solo semelhante ao ambiente florestal, mas de forma muito rápida, pois não apresenta obstáculo para a entrada da água (Dantas & Coelho Netto, 2018). Além disso, há também a ação da formiga saúva que exerce um papel de escavação do solo em profundidade favorecendo a geração de pipeflow e gerando recarga das zonas de saturação em subsuperfície facilitando a ocorrência de processos erosivos e gerando voçorocas (Coelho Netto et al., 1988; Deus, 1991). Estes processos marcam a atual paisagem do Médio Vale do rio Paraíba do Sul, se concentrando, sobretudo, nas áreas de convergência de fluxos (hollows) (Dantas & Coelho Netto, 2018). Brasil *et al.*, (2018) chegam a afirmar que os campos de gramíneas se tornaram a matriz da paisagem dessa região.

¹ O mapa de uso e cobertura da bacia do rio Paraíba do Sul (de 2015, elaborado pelo INEA) ratifica a atualidade desta configuração. Informações disponíveis em: <<https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=00cc256c620a4393b3d04d2c34acd9ed>>. Acesso em 20.Jan.2018.

Para Dantas & Coelho Netto (2018) é o processo de voçorocamento que mantém evidente os processos erosivos no Médio Vale do rio Paraíba do Sul. Segundos os autores, estudos pretéritos evidenciam que o mecanismo de erosão linear acelerada é ativado pela recarga subsuperficial de água nos períodos mais chuvosos, ressaltando que a formiga Saúva desempenha um papel expressivo nas escavações de dutos que potencializam a infiltração de água no solo. Houve um intenso processo de erosão laminar nas vertentes e selagem dos solos, de forma que a grande quantidade de sedimentos carregada para os fundos de vale foi superior a capacidade de transporte dos canais, gerando desequilíbrios fluviais e promovendo agradação regional dos vales (Dantas & Coelho Netto, 2018).

O Vale do Paraíba é, portanto, uma região que sofreu intensas transformações e mudanças de uso cobertura do solo. Dunne (1979) aponta que o uso da terra é o fator dominante na produção de sedimentos. Somado ao uso da terra o autor lembra que existem variáveis importantes como o clima, topografia e as particularidades de cada lugar. Em áreas rurais, por exemplo, a presença de estradas é um fator que contribui para produção de sedimentos em larga escala, e não deve ser ignorado. No que tange ao Médio Vale do rio Paraíba do Sul, tem se observado um marcante controle litoestrutural da rede de canais, influenciando mecanismos de erosão diferencial (Almeida *et al.*, 1989; Lopes *et al.*, 1989; Avelar & Coelho Netto, 1992; Dantas *et al.*, 2015). A variável geológica, é, portanto, imprescindível para a compreensão dos processos erosivos no Médio Vale do rio Paraíba do Sul.

Apesar do papel do uso do solo em processos erosivos, como o processo de voçorocamento, é preciso atentar para os demais elementos (ou variáveis) que estão associados (Dunne, 1979), para que esse processo não seja reduzido à consequência de ações antrópicas, mas compreendido na complexidade de fatores que influenciam sua ocorrência.

Neste sentido, acredita-se que o processo de voçorocamento que tem marcado a evolução da paisagem do Médio Vale do rio Paraíba do Sul seja impulsionado por mecanismos complexos que não se resumem ao uso pretérito do solo, pois o voçorocamento se manifesta de forma diferencial em áreas sob o mesmo tipo de uso pretérito do solo. Freitas (2007, p.109) afirma para a Região de Três Rios que “sob o mesmo histórico de ocupação os vales dessa região apresentam

comportamento diferenciado quanto ao processo erosivo, tendo relação direta com os níveis de base locais rebaixados em relação a cota 300m”.

Estas constatações levam ao questionamento sobre o peso da influência do uso do solo no processo de voçorocamento, e sobre quais os fatores, somados à ele, influenciam esse mecanismo de erosão diferencial e distribuição espacial heterogênea de voçorocas. Alguns estudos pretéritos no Médio Vale do rio Paraíba do Sul indicam um forte papel dos *knickpoints* na evolução dessa paisagem (Castanheira *et al.*, 2006; Freitas, 2007), somado a influência da litologia local (Coelho Netto, 2003). Freitas (2007) chama atenção para o fato de que é preciso ter flexibilidade metodológica na investigação deste processo, dada a complexidade do espaço geográfico e a multiplicidade de fatores que nele operam em diferentes escalas. Essa flexibilidade metodológica é essencial, pois a erosão por voçorocas não é um processo homogêneo no tempo e espaço (Castillo & Gómez, 2016).

3.2. Voçorocas: definições e abordagens

As voçorocas são definidas como “características erosivas relativamente permanentes nas encostas, possuindo paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os eventos chuvosos” (Guerra, 2011, p.183). O dicionário geológico do CPRM define voçoroca como: “ravina geralmente muito funda, desenvolvida por rápida e acentuada erosão que atinge o lençol freático, podendo ter mais de 10 m de profundidade”². Karmam (2009, p.200) define voçoroca como “fendas e cortes disseminados nas vertentes[...], feições erosivas altamente destrutivas, que rapidamente se ampliam, ameaçando campos, solos cultivados e zonas povoadas”.

A diferença entre ravinas e voçorocas se encontra nos mecanismos de formação e no próprio aspecto da feição erosiva, pois enquanto as ravinas são feições erosivas resultantes de processos erosivos em superfície, as voçorocas são resultantes dos processos erosivos em subsuperfície somados à erosão em superfície. Além disso, as voçorocas apresentam maior profundidade e expressão que as ravinas, que são feições erosivas com menor profundidade, classificadas como feições efêmeras nas encostas (Guerra, 2011). Resumidamente, as ravinas são definidas por:

² Informações disponíveis em: < <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/> > Acesso em 13.Mar.2018.

“Apresentar profundidade maior que 0,5 metros, diferenciando-se dos sulcos por não serem obliteradas pelas operações normais de preparo do solo. Ocorrem quando a água do escoamento superficial escava o solo atingindo seus horizontes inferiores e, em seguida, a rocha. Também ocorrem movimentos de massa devido ao abatimento de seus taludes. Possuem forma retilínea, alongada e estreita. Raramente se ramificam e não chegam a atingir o nível freático. Apresentam perfil transversal em "V" e geralmente ocorrem entre eixos de drenagens, muitas vezes associadas a estradas, trilhas de gado e carreadores” (Unesp/IGCE, 1999)³.

Para Guerra (2011, p.181), as ravinas são, geralmente, “características efêmeras nas encostas”, não tendo relação com a rede de drenagem, exceto quando evolui para um estágio erosivo mais avançado, se tornando uma voçoroca.

A origem do termo boçoroca ou voçoroca, está ligada ao tupi-guarani: “ybi”, significa terra, e “sorok” significa rasgar ou romper (Karmann,2009). Ybisorok significa, então, “terra rasgada”, que é a feição de uma voçoroca. Considera-se que as voçorocas sejam o estágio mais avançado e complexo do processo erosivo, envolvendo uma série de processos como: erosão superficial e interna (pipings), escorregamentos e desmoronamento de paredes laterais (São Paulo, 1990; Viero, 2004).

No Brasil o processo de voçorocamento ocorre em diversas regiões, havendo diversos estudos sobre o tema. Em levantamento bibliográfico das publicações referentes ao termo voçoroca, entre 2004 e 2014, Marchioro *et al.*, (2016) identificaram que não há um consenso entre os autores sobre os critérios utilizados para definição de uma voçoroca. Castillo & Gómez (2016) chegam a afirmar que são necessárias séries de dados mais longas e consistentes, fornecendo diretrizes mais padronizadas para interpretação. De forma geral, os autores associam a origem das voçorocas ao uso do solo, clima, tipo de solo e morfologia do terreno. Nesta revisão os autores identificaram que a atividade agrícola é citada como uma das que mais afetam a retirada de vegetação e fomentam a formação de sulcos, ravinas e voçorocas. E sobre o diâmetro das voçorocas analisadas no Sudeste brasileiro, são relatadas variadas dimensões com feições de 10m até centenas de metros de comprimento, larguras até 118m e profundidades que atingem os 25m.

³Informações disponíveis em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter08b.html>> Acesso em 25.set.2018.

Castillo & Gómez (2016) apontam que o estudo das voçorocas tem se tornado um campo que desperta o interesse de muitos pesquisadores, entretanto existem muitas lacunas de conhecimento que precisam ser apontadas e estudadas. Os autores realizaram uma revisão sistemática na base bibliográfica “web of Science”, analisando um século de estudos sobre voçorocas e apontando as principais discussões levantadas sobre o tema. Segundos os mesmos, 10% das pesquisas de erosão do solo apontam o voçorocamento como o pior estágio de degradação do solo em áreas de agricultura. A influência antrópica é tipicamente apontada como o principal motor da evolução de voçorocas. Os autores apontam também que estudos de longo prazo das voçorocas ainda são escassos, dificultando uma avaliação confiável desse fenômeno, que, de acordo com eles, é extremamente variável no tempo e no espaço. Quanto à litologia, Castillo & Gómez (2016) apontam que as rochas sedimentares são, sem dúvidas, as mais propensas ao voçorocamento, pois estão em maior parte na crosta terrestre e são as rochas menos resistentes à erosão. No entanto, a erosão de barrancos também ocorre em litologias plutônicas e metamórficas embora tenha sido descrita com menor frequência (3,0% e 7,3%, respectivamente).

Sobre os fatores que atuam no desencadeamento do processo de erosão linear acelerada, não há um consenso entre os autores (Marchioro *et al.*, 2016), havendo diversas interpretações (Selby 1982; Chorley *et al.*, 1984; Guerra, 2011; Dantas e Coelho Netto, 2018). Selby (1982) aponta três fatores que atuam na formação e evolução de voçorocas. São eles: fluxos superficiais, movimentos gravitacionais de massa e erosão em túnel, que, por sua vez, ocorrem em conjunto e não como condicionantes isolados. Há uma diversidade de elementos que podem atuar em conjunto no processo de voçorocamento, sendo alguns em maior ou menor escala, dependendo das características do local de ocorrência.

O retorno de águas subsuperficiais à superfície é um processo de potencial erosivo, chamado de exfiltração (Dune, 1980; Coelho Netto, 2011). Segundo os autores esses pontos de interseção do lençol com a superfície também podem conduzir à formação de canais e vales, que podem evoluir para expansão da rede de drenagem canalizada.

Avelar & Coelho Netto (1992) abordam a influência do aspecto estrutural no processo de voçorocamento. Para os autores, o sistema de fraturas do substrato rochoso exerce um forte papel no desenvolvimento de formas côncavas das

encostas. Segundo os autores, o fraturamento das rochas tende a favorecer a percolação de águas subsuperficiais e seu retorno à superfície, exfiltração, podendo gerar tuneis erosivos e formar canais. Oliveira & Meis (1985) já destacavam que 66% da ocorrência de voçorocas se concentram nas concavidades do relevo, e esse processo está associado à evolução da rede de drenagem. Coelho Netto *et al.* (1988) e Fernandes (1990) também apontam o papel da topografia côncava no desenvolvimento das voçorocas, sobretudo nos eixos dessas concavidades.

Quanto ao estágio de evolução, as voçorocas são classificadas, de forma geral, em ativas ou estabilizadas. Coelho Neto (2003) afirma que existem diferentes estágios de desenvolvimento de uma voçoroca. As voçorocas no estágio estabilizado seriam caracterizadas pela presença de vegetação arbustiva e arbórea no fundo do canal. Já as voçorocas ativas não apresentam essa condição, apenas o solo exposto. Desta forma, a partir dessas características morfológicas e fitofisionômicas é possível identificar a presença de um pulso erosivo ativo ou inativo na paisagem analisada. A partir de imagens de satélite do Google Earth analisamos a evolução dos pontos de concentração de voçorocas, com imagens de 2005 a 2019 (Figuras 1, 2, e 3).

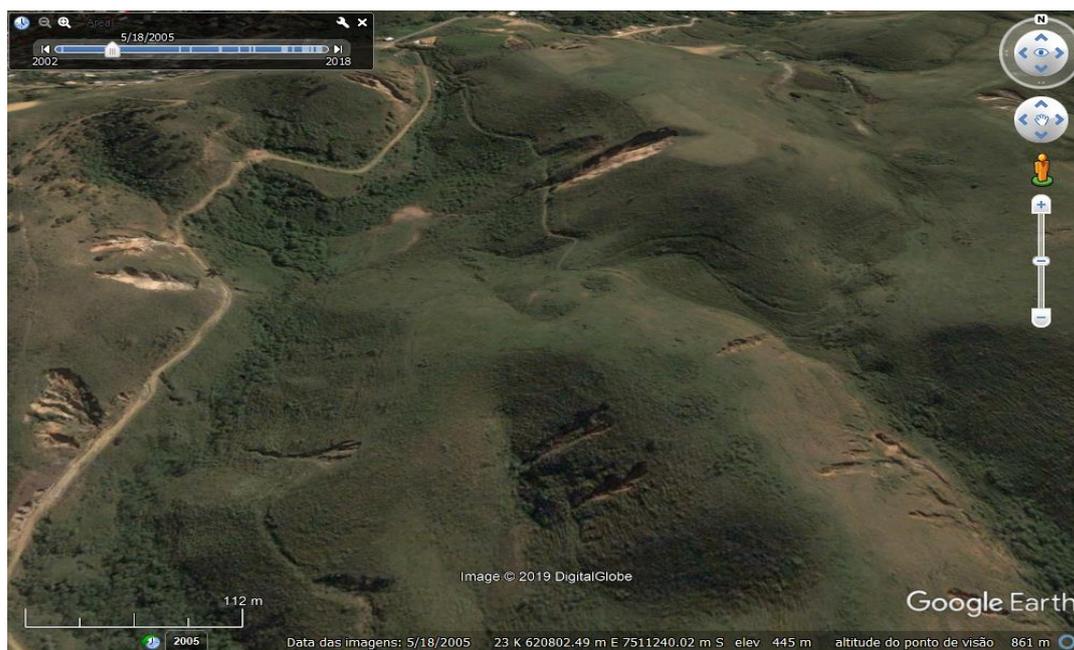


Figura 1: Imagem de Satélite de Voçorocas em Barra do Pirai (RJ). Data: 18/05/2005.

Fonte: Google Earth Pro.

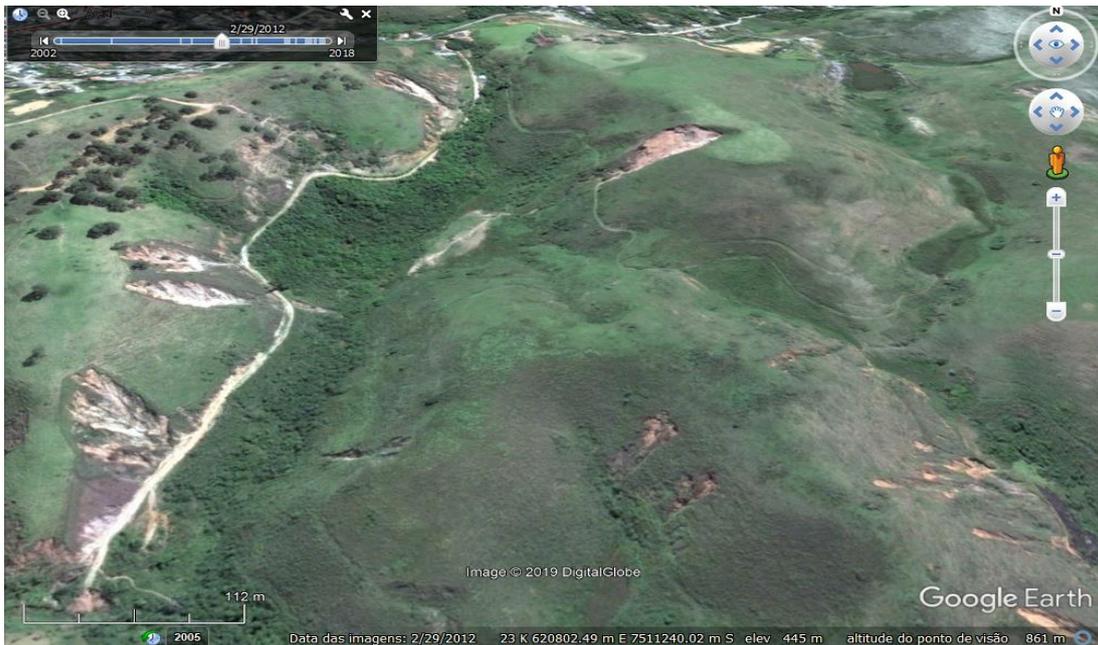


Figura 2: Imagem de Satélite de Voçorocas em Barra do Pirai (RJ). Data: 29/02/2012.

Fonte: Google Earth Pro.

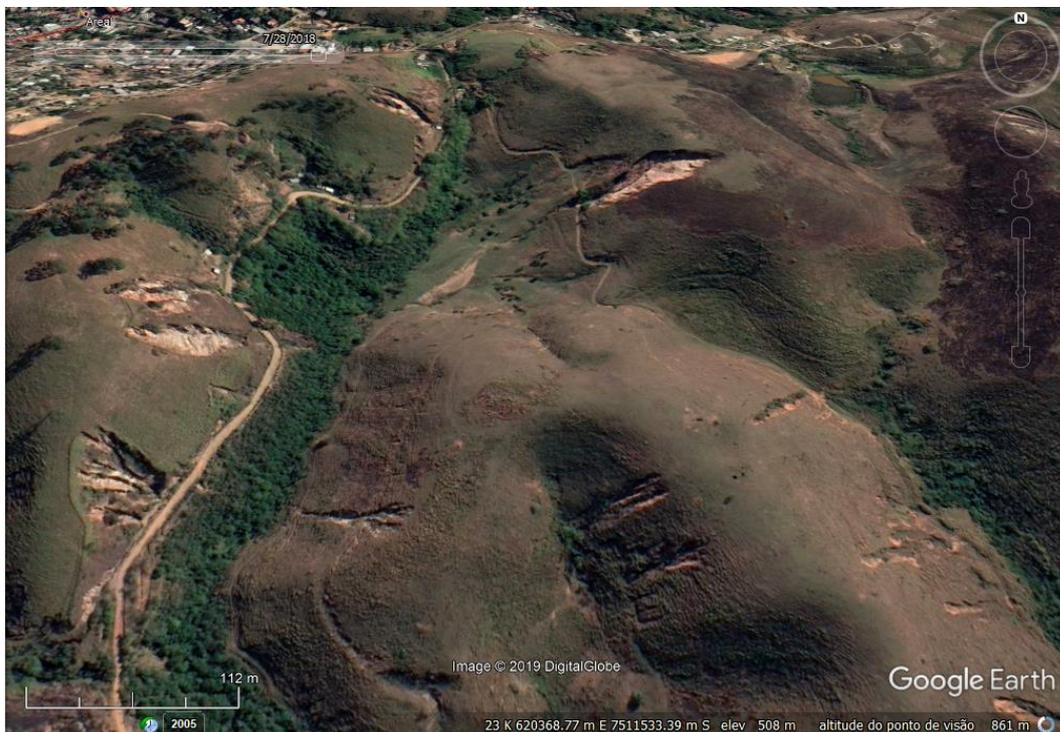


Figura 3: Imagem de Satélite de Voçorocas em Barra do Pirai (RJ). Data: 10/01/2019.

Fonte: Google Earth Pro.

Nas imagens pode-se observar algumas mudanças na paisagem, de forma geral. Entretanto, apesar das mudanças, no aumento de cobertura vegetal por exemplo, esse período de 13 anos é pequeno na escala de evolução da paisagem. É preciso abranger uma escala de tempo maior em estudos que visem acompanhar a evolução significativa desse processo. Viero (2004), ao estudar voçorocas na bacia

do Taboão (RS), apresenta relatos de voçorocas com mais de 100 anos de idade, reforçando que esta é uma feição relativamente permanente e que pode evoluir por um longo período até a estabilização.

Diferentemente da maioria dos autores que abordam o voçorocamento como processo, Meis & Moura (1984) apresentam a evolução de encostas onde os níveis de base locais se destacam nas feições da topografia e sequencia deposicional. As variações do nível de base, sobretudo no Holoceno, impulsionaram variações no direcionamento e intensidade nos processos erosivos. Moura & Mello (1991) reconheceram sucessivos processos erosivos e deposicionais, havendo destaque para um evento holocênico (evento Manso)⁴, caracterizado pelo encaixamento da drenagem, onde houve um intenso processo de voçorocamento de significativa expressão na região. Estes autores trabalham o processo de voçorocamento na perspectiva de evolução da paisagem e destacam o nível de base como fator importante nesta evolução.

Percebe-se então, para tais autores, que o processo de voçorocamento esteve intensamente associado à evolução da rede de drenagem no vale do Paraíba. Moura & Silva (1998) afirmam que notoriamente essa paisagem se reajustou. Leão *et al.* (2003, p.2) apontam que “a propagação de voçorocamento em cabeceiras de drenagem do médio vale do Rio Paraíba do Sul, em muitos casos, associa-se à expansão da rede de canais, sofrendo um forte controle lito-estrutural”.

3.3. Fatores desencadeadores do processo de voçorocamento

Selby (1982) relaciona três principais processos que atuam na formação e evolução de voçorocas: fluxos superficiais, movimentos gravitacionais de massa e erosão em túnel. Guerra (2011) também aponta alguns fatores desencadeadores do processo de voçorocamento. O desmatamento, o uso agrícola da terra, o superpastoreio e as queimadas são alguns dos fatores que associados tendem a impulsionar o voçorocamento, ou gerar o aprofundamento e alargamento de paredes de ravinas que acabam se tornando voçorocas. Outro fator seria o escoamento subsuperficial, que ocorre em dutos (pipes) erodindo e alargando as paredes de passagem da água até gerar o colapsamento da superfície acima. O último fator

⁴ “Relacionado a um episódio de grande instabilidade ambiental ocorrido no Holoceno inicial a médio, que produziu feições deposicionais muito expressivas no relevo atual – as rampas de alúvio-colúvio e o nível de terraço fluvial superior” (PEIXOTO *et al.*, 2012, p.1).

seriam os deslizamentos de terra, pois, após esses eventos, as águas das chuvas tendem a penetrar nas cicatrizes das paredes laterais íngremes do deslizamento e formar voçorocas pelo processo de concentração do escoamento superficial (Vittorini, 1972 *apud* Guerra, 2011).

Coelho Netto (2011) destaca também o papel das fraturas, na potencialização da infiltração e na exfiltração de água, gerando tuneis que avançam a remontante. Leal (2009) acrescenta o fato de que a presença de fratura pode gerar inúmeras resultantes que são decorrentes da exposição contínua dos materiais aos fluxos. Segundo Coelho Netto (2011), o processo erosivo nas faces de exfiltração pode conduzir a formação de canais e vales e conduzir sua evolução para rede de drenagem canalizada.

As pesquisas de Coelho Netto *et. al.* (1988), Coelho Netto & Fernandes (1990) e Avelar & Coelho Netto (1992) no Médio Vale do rio Paraíba do Sul indicam que os mecanismos de erosão subsuperficial exercem grande influência na evolução do relevo nessa região. Outros trabalhos apontam também que os fluxos subsuperficiais são responsáveis pelo voçorocamento no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (Meis *et al.*, 1985; Coelho Netto, 1999; Avelar & Coelho Netto, 1992b; Fernandes *et al.*, 1994). Neste sentido, o desenvolvimento de estudos hidrogeológicos na região são necessários para a compreensão do processo de evolução dessa paisagem. Os fluxos subsuperficiais são apontados diversas vezes como responsáveis pela evolução das encostas pelo recuo remontante de canais de primeira ordem (Dunne, 1970; 1980; 1990; Higgins, 1982; Schumm *et al.*, 1995).

Outro elemento citado na bibliografia são as concavidades, que desempenham um importante papel na modelagem do relevo, pois concentram fluxos e conduzem sedimentos (Leal, 2009). O trabalho de Oliveira & Meis (1985) identificou que na bacia do rio Bananal 66% dos voçorocamentos se concentraram nas concavidades, apesar das concavidades compreenderem apenas 29% da área dessa bacia.

Segundo Rocha Leão (2005), os voçorocamentos conduzem mudanças na topografia, causando reflexos na hidrologia subterrânea de cabeceiras e esse processo acaba por impulsionar a expansão das voçorocas, ou seja, o próprio mecanismo de voçorocamento conduz a expansão do processo.

Os *Knickpoints* também são citados como fatores que exercem grande influência no processo de voçorocamento, pois determinam o limite de erosão em escala local, pois a cada mudança de nível de base a paisagem se adapta (Freitas,

2007). Os processos geológicos de formação litológica também exercem um importante papel no desenvolvimento das voçorocas sobretudo nos lineamentos, que potencializam a erosão e intemperismo (Viero, 2004).

3.4. Evolução da Paisagem do vale do rio Paraíba do Sul: o papel dos níveis de base (*Knickpoints*).

A paisagem está em um contínuo processo de transformação, sendo modelada por forças externas e internas que atuam de acordo com a estrutura geológica preexistente, que pode oferecer maior ou menor resistência aos agentes modeladores da superfície (Silva & Santos, 2010). Sobre a evolução da paisagem geomorfológica, Silva e Santos (2010, p.5) afirmam que:

“Os mecanismos que envolvem a evolução dos sistemas de drenagem ao longo do tempo estão diretamente relacionados à própria compreensão da história evolutiva da paisagem, por estes ambientes trazerem consigo uma série de características em sua conformação, arranjo e distribuição dos canais fluviais que constituem peças fundamentais de um “quebra-cabeças” que envolvem a interpretação evolutiva de uma dada área.”

Desta forma, compreender a evolução de uma paisagem é um trabalho complexo que envolve a investigação dos diversos elementos, que em sua complexidade, constituem a montagem desse “quebra-cabeça” que possibilita a interpretação da paisagem. Silva & Santos (2010) apontam acima que o sistema de canais e sua distribuição e a morfoestrutura são alguns dos elementos relevantes que interagem e se complementam na evolução de determinada paisagem.

Castanheiras *et al.* (2006) apontam que no vale do rio Paraíba do Sul há um controle de sua dissecação e de seus afluentes por *knickpoints*. Neste sentido, os níveis de base locais controlariam toda dinâmica erosiva do entorno, incluindo processos como capturas de drenagem e evolução da rede de canais. Os *Knickpoints* determinam o limite de erosão em escala local, ou seja, a cada mudança de nível de base a erosão se adapta modificando a paisagem e gerando processos erosivos como voçorocas (Freitas, 2007). Ao analisar a sub bacia do rio Piracema, Cambra (1998) identificou esta relação apontando que 83% das voçorocas correspondiam aos canais de primeira ordem, estando topograficamente ajustados ao nível de base local.

O conceito de nível de base foi introduzido por Powell (1875), para quem o mar seria o grande nível de base, para onde todos sedimentos e fluxos são carreados, e os canais locais são níveis de base que atuam na erosão local. “Qualquer mudança na altimetria do nível de base gera uma retomada de erosão que evolui ao longo dos eixos de drenagem em direção remontante para as cabeceiras (Bishop, 1995)”. Para Powell (1875), o nível de base atua como controlador da denudação do relevo, até chegar ao ponto da dinâmica erosiva perder sua eficiência. A paisagem atingiria o equilíbrio de maneira progressiva, a partir do nível de base, de forma que os compartimentos a jusante seriam os primeiros a atingir o equilíbrio e os próximos às cabeceiras são os últimos, ou seja, há uma expansão remontante (Christofolletti, 1981). Toda e qualquer mudança na posição do nível de base gera uma retomada da erosão através de uma nova onda erosiva ou de uma fase de entulhamento que progride gradativamente ao longo dos cursos dos rios em direção de montante.” (Silva e Santos, 2010, p.14).

Para Freitas (2007), o processo de abertura do Oceano Atlântico foi um evento de grande peso na reordenação de toda drenagem da plataforma sul americana, que, possivelmente, tinha suas drenagens voltadas para a bacia do Paraná, no interior do continente. Com a abertura do Atlântico e o soerguimento do continente, um novo nível de base foi estabelecido, reordenando toda drenagem do continente e gerando, com isso, uma série de processos erosivos manifestos em capturas de drenagem e voçorocas. Desta forma, o rio Paraíba do Sul estaria atuando na transformação da paisagem com a energia do pulso erosivo do Atlântico, indo remontante para as cabeceiras.

O processo de captura de drenagem passou a ser reconhecido e estudado no final do século XIX. “A captura fluvial é caracterizada pelo desvio natural das águas de uma bacia hidrográfica para outra, promovendo a expansão de uma drenagem em detrimento da vizinha” (Christofolletti, 1975). Oliveira (2010, p.38) afirma que “a habilidade de um rio capturar outro depende da sua habilidade de manter seu canal em um nível mais baixo que aquele superior”. Essa ação erosiva de um rio sobre outro resulta no desvio de suas águas (ou parte delas) para o rio capturador (Figura 4). Isso reforça mais uma vez o papel do nível de base como controlador da dinâmica erosiva local e agente da própria evolução da rede de drenagem. A autora afirma que há um conjunto de evidências que ratificam a ocorrência de captura de

drenagem, entre elas há o que se chama de “cotovelo de captura” ou “*elbows of capture*”. Esta feição corresponde à mudança brusca no curso de um rio em uma curva de 90°, sendo influenciada por fatores geológicos. As capturas de drenagem são evidências da evolução do relevo.

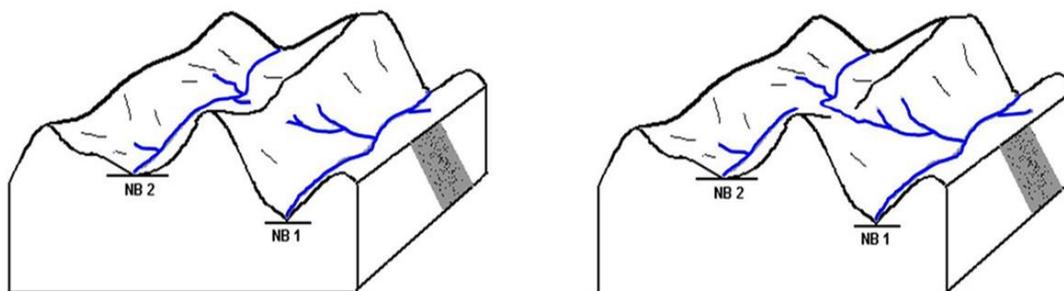


Figura 4: Desenho esquemático de captura fluvial lateral, onde o nível de base 1 (NB1) é mais baixo que o nível de base 2 (NB2).

Fonte: Elaborado por Marcelo Motta de Freitas.

Gilbert (1877) trabalha uma visão sistêmica dos processos geomorfológicos. Para ele a compreensão do processo de desgaste e transformação do relevo conta com a análise de fatores como declividade e estrutura. À medida que a declividade aumenta a erosão é intensificada. Já as estruturas como fraturas e falhas atuam como fatores que proporcionam maior ou menor ação dos fatores erosivos.

De fato, a paisagem geomorfológica é dinâmica, sendo transformada por diversos elementos que atuam de forma sinérgica, como propõe Gilbert. (1877) O peso das estruturas geológicas (falhas, fraturas e foliação) é evidenciado por diversos autores. Souza *et al.* (2017) afirma que as estruturas direcionam fluxos, facilitando ou impedindo a penetração de água e influenciando a forma e intensidade do processo intempérico erosivo.

Coelho Neto (2003) identificou que grande parte dos canais afluentes do rio Paraíba do Sul coincide com o *strike* da foliação, bem como o próprio rio Paraíba do Sul. A autora reforça que as estruturas geológicas exercem elevada influência na evolução do sistema de drenagem dessa região. A maior parte do rio Paraíba do Sul se encaixa em um sistema de “*grabens*” com orientações gerais de falhas ENE, bem como cada um de seus afluentes acompanham fraturas e falhas e aprofundam seus

leitões em litotipos menos resistentes. Outras pesquisas ratificam que o sistema de canais do Vale do Rio Paraíba do Sul é fortemente controlado pelas estruturas do substrato geológico, onde predomina direção NE/SW e NW/SE (Almeida *et al.*, 1989; Lopes *et al.*, 1989; Avelar e Coelho Netto, 1992, entre outros).

Dantas *et al.* (2015, p.2) afirmam que estes “condicionantes litoestruturais exercem um marcante controle sobre a evolução da paisagem geomorfológica no Médio Vale do rio Paraíba do Sul”, pois eles desenvolvem mecanismos erosivos e deposicionais diferenciais. Souza *et al.* (2017) demonstram a influência da litoestrutura do substrato geológico na formação de níveis de base locais (ou *Knickpoints*) no médio vale do rio Paraíba do Sul. De forma geral, há uma relação muito próxima entre a orientação dos canais fluviais e as estruturas litológicas. Segundo Souza *et al.* (2017) “a rede de drenagem apresenta uma expressiva relação com as estruturas do substrato geológico e os *knickpoints* são controlados pela intercalação das estruturas de foliação e fratura, bem como a ocorrência esporádica de diques de diabásio”. Os *Knickpoints* acabam por exercer um controle sobre a evolução da rede de drenagem, definindo os níveis topográficos de evolução do relevo em cada microbacia hidrográfica.

No estudo da evolução da rede de drenagem do rio Paraíba do Sul e seus afluentes, Coelho Netto (2003) afirma que, a partir das cabeceiras de drenagem, se desenvolvem canais erosivos formando uma rede de canais que se interconectam com o sistema fluvial. Na área de cabeceira de drenagem acontece a transição do processo de denudação do relevo para o transporte de sedimentos na direção da rede de canais (Ahnert, 1998). Segundo Coelho Netto (2003), neste processo de evolução da rede de drenagem o ajuste lateral e micropirataria de águas superficiais atuam com uma espécie de competição, gerando aprofundamento dos sulcos de maior concentração de escoamento superficial e formando canais incisivos (voçorocas). “Progressivamente, estes se tornariam mais capazes de absorver seus competidores, por gradação lateral, propiciando a expansão de redes de canais integradas e dendríticas” (Coelho Netto, 2003, p. 70).

Coelho Netto (2003, p.95) concluiu que os canais incisivos evoluem regressivamente. As voçorocas que se formam próximo aos divisores de drenagem tendem a se interconectar “até atingir a extensão máxima sobre toda área de drenagem disponível”. O nível de base é rebaixado por “progressão linear e

remontante da incisão dos canais erosivos (voçorocas) ” (Coelho Netto, 2003, p.97), modificando toda dinâmica erosiva local. Além disso, o recuo de divisores e capturas de drenagem dos vales fluviais suspensos em relação aos vales capturados, como consequência da pirataria de água subterrânea do vale capturado, modificam a drenagem compondo o processo de sua evolução. A autora aponta que a ocorrência de voçorocas também está associada às concavidades estruturais.

Moura (1994) aponta que o processo erosivo atual no vale do rio Paraíba do Sul, manifesto sobretudo em voçorocas, está intimamente associado ao processo de evolução desta paisagem. O processo de voçorocamento atua no reordenamento da rede de drenagem, constituindo esse processo evolutivo da paisagem, e, por isso, precisa ser estudado com mais detalhes

As feições geomorfológicas que marcam o vale do Paraíba indicam a existência de um pulso remontante de dissecação no eixo principal do vale (Castanheira *et al.*, 2005). Desta forma, há indícios de que o processo de voçorocamento, que marca a paisagem do vale do Paraíba, seja um processo natural da evolução dessa paisagem frente aos processos geológicos que a formaram.

3.5. Aspectos da Geomorfologia do Médio Vale do rio Paraíba do Sul

Dantas (2000, p.38) faz uma detalhada caracterização geomorfológica do vale do Paraíba do Sul (no estado do Rio de Janeiro). O autor afirma que essa região:

“Consiste numa extensa zona colinosa, com topografia uniforme e topos nivelados de baixa amplitude de relevo, em cotas que variam de 400 a 600m de altitude. O nível de base regional, caracterizado pelo rio Paraíba do Sul, que corta a depressão longitudinalmente, registra cotas entre 300 e 380m, entre as cidades de Três Rios e Itatiaia. ” .

O autor aponta que a superfície do vale do Paraíba se encontra comprimida entre duas cadeias montanhosas, sendo elas a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar, caracterizando um hemigráben. Na calha do Paraíba do Sul o relevo se apresenta mais arrasado sendo caracterizado por colinas baixas e estreitas e pequenos morrotes alinhados. As zonas mais deprimidas do Vale do Paraíba se encontram nas cotas entre 300m e 500m, abrangendo Vassouras, Andrade Pinto, Paraíba do Sul, Salutaris Wernek e Três Rios. Nas cotas entre 500m e 800m se encontram os núcleos urbanos de Miguel Pereira, Pati dos Alferes, Arcozelo,

Avelar e Inconfidência. Em algumas dessas áreas ocorrem intensos processos geomorfológicos, destacando-se o voçorocamento, geração de concavidades estruturais, capturas de drenagem e inversão de relevo. Essa região apresenta também um elevado potencial erosivo, dada a amplitude de relevo (Dantas, 2000).

Para Heilbron *et al.* (2007, p.6):

“O limite entre as zonas geomorfológicas reflete a influência da geologia sobre a fisiografia local marcando, assim, uma estreita relação entre os compartimentos tectônicos que estão, por sua vez, associados aos processos tectônicos ligados à tectônica mesozóica- cenozóica e a outros eventos, mais modernos considerados como neotectônicos. ”

Segundo Heilbron *et al.* (2007), a paisagem do Sudeste brasileiro seria resultado do processo de separação da placa sul americana no Mesozoico, gerando um soerguimento regional que foi seguido de muitos desnivelamentos de blocos pelas falhas predominantes NE, gerando também a separação da Serra do Mar e Serra da Mantiqueira. Essa região apresenta os maiores índices de sismicidade do Sudeste brasileiro, pois está sob influência de sismicidade residual por estar localizada dentro da Zona Sismogênica de Cunha (Hasui *et al.*, 1982; Mioto, 1993).

Freitas (2007) retoma a evolução da paisagem geomorfológica no Vale do Paraíba destacando os eventos de abertura do oceano Atlântico entre 150 e 120 Ma e sua atividade até 60 Ma, que foram responsáveis pelo reordenamento da rede de drenagem que se deu a partir do rebaixamento dos níveis de base e soerguimento da plataforma Sul Americana. Antes da abertura do oceano essas bacias drenavam para a bacia do Paraná (Riccomini *et al.*, 2010; Cherem *et al.*, 2012). Diferentemente dos ciclos termo tectônicos, de formação da crosta, a abertura do Oceano Atlântico foi um movimento de natureza rúptil, que gerou o rifteamento de toda borda do continente Sul Americano, dando formando os sistemas de horsts e grabens.

A morfologia do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul é caracterizada por apresentar alternância de segmentos alveolares que podem estar preenchidos por planícies de inundação, terraços e *knickpoints* rochosos formados por segmentos estrangulados (Dantas & Coelho Netto, 1991). Heilbron *et al.* (2007, p.10) afirmam que esse relevo é marcado pela alternância de alinhamentos serranos e vales encaixados na direção NE, sendo “fortemente condicionado pelas estruturas da

Faixa Ribeira e pelas unidades litológicas mais resistentes ao intemperismo e erosão”.

A compartimentação tectônica dos terrenos que compõem a geologia do estado do Rio de Janeiro está vinculada à evolução tectono-metamórfica da ‘Faixa’Ribeira” (Pinto, 2015). A Faixa Móvel Ribeira (FR) é composta por um complexo cinturão de dobramentos e empurrões gerados durante a orogênese brasileira (Neoproterozóico/ Cambriano) (Almeida *et al.*, 1977; Heilbron *et al.*, 1995). Heilbron *et al.* (1995, p. 250) apontam que é consenso entre diversos autores que estudaram a Faixa Móvel Ribeira, que esta área “representa uma raiz de um orógeno colisional neoproterozóico, profundamente erodido”. A Faixa Ribeira (Figura 17) é dividida em quatro terrenos tectono-estratigráficos chamados: Terreno Ocidental, Terreno Paraíba do Sul, Terreno Oriental e Terreno Cabo Frio (Tupinambá *et al.*, 2007).

A região do Vale do Paraíba se desenvolveu sobre a faixa móvel Ribeira, com idade pré-cambriana, caracterizada por apresentar rochas de alto grau metamórfico, entre elas granulitos, gnaisses e granitos (Freitas, 2007). As estruturas geológicas dessa região apresentam um alinhamento de orientação, predominantemente, NE (Heilbron, 1993). Segundo Freitas (2007), a compreensão desses aspectos é fundamental para o entendimento de como se dá a evolução geomorfológica da paisagem. A rede de drenagem tende a se encaixar nessas estruturas, buscando caminhos preferenciais, onde as estruturas são menos resistentes à erosão.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa está estruturada em algumas etapas, como mostra o esquema apresentado na Figura 5:

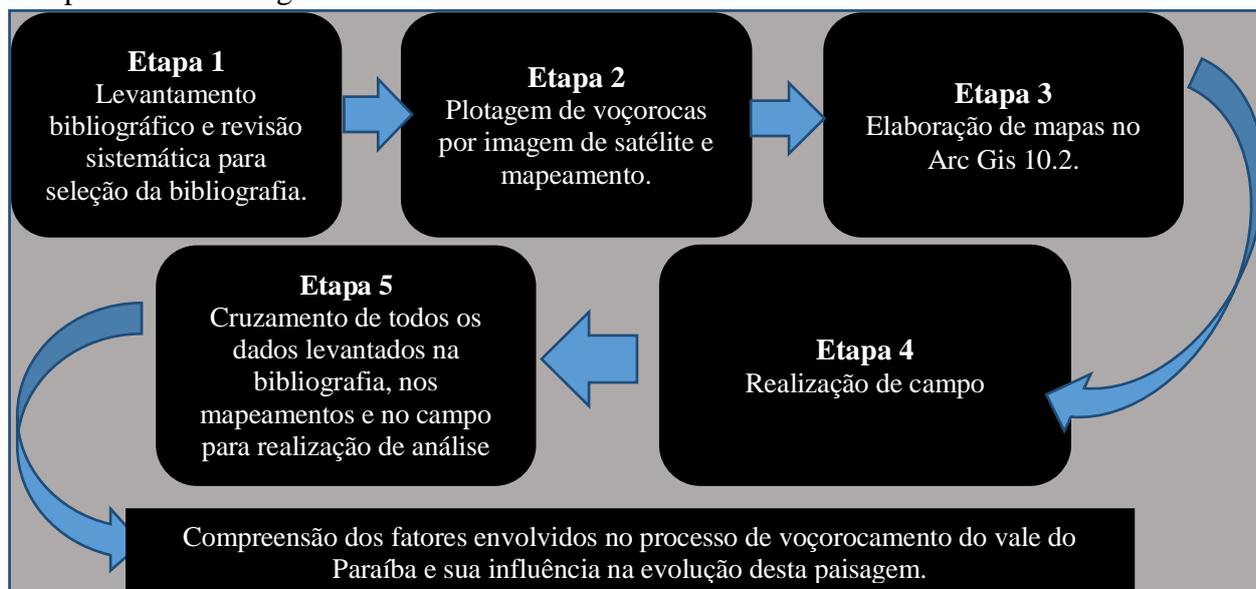


Figura 5: Esquema metodológico da pesquisa.

4.1. Levantamento Bibliográfico e revisão sistemática

A primeira etapa consistiu na revisão sistemática da bibliografia. “Uma revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo de revisão, é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema.” (Sampaio & Mancini, 2007). A revisão sistemática possibilita integrar informações de diversos estudos sobre o tema abordado. Muitas pesquisas têm sido realizadas no vale do rio Paraíba do Sul, por isso através dos métodos de busca e seleção bibliográfica (descritos abaixo) foi selecionada a bibliografia que reúne pesquisas que abordam direta ou indiretamente o processo de voçorocamento nesta área de estudo.

Foi realizado um levantamento bibliográfico nacional e internacional sobre o tema. Para a busca bibliográfica nacional foi utilizado o sistema de bibliotecas da PUC-Rio e o sistema Google acadêmico. As palavras-chave usadas na busca foram “voçorocas”, “erosão por voçorocas” e “voçorocas no vale do rio Paraíba do Sul”.

Para o levantamento internacional foi utilizada a base bibliográfica “Science Direct”, fazendo uso da palavra-chave: “gully” e do termo “gully erosion”. A partir da leitura dos títulos e dos resumos foi feita a seleção dos trabalhos mais apropriados ao tema desta pesquisa.

4.2. Identificação de Voçorocas por imagem de satélite e mapeamento.

A segunda etapa consistiu no mapeamento de voçorocas no Vale do Paraíba. As voçorocas foram identificadas e marcadas em imagem de satélite de alta resolução (Digital Globe 2018 e Digital Globe 2019 do Google Earth). A Figura 6 ilustra esse processo. Cada ponto foi marcado no topo das voçorocas. Adotando a definição do dicionário geológico do CPRM⁵ como critério para o processo de fotointerpretação, considerou-se voçorocas como feições erosivas que apresentam profundidade significativa se comparado a ravinas, que são feições erosivas mais superficiais. Os arquivos com a UTM das voçorocas foram convertidos em KML e foram transformados em shape no programa Arc GIS 10.2.

No processo de fotointerpretação foram definidas duas classes de voçorocas. A primeira denominada “ voçoroca E”, ou, voçorocas de estrada. Essas voçorocas receberam essa classificação por apresentar uma relação direta com cortes de estrada. Essa relação foi identificada de acordo com a proximidade do corte de estrada e a visível propagação desse processo erosivo nas linhas destes cortes. A segunda classe foi denominada “ voçoroca”, envolvendo todos os outros tipos de voçorocas que não apresentaram uma relação direta com cortes de estrada, de acordo com os critérios estabelecidos.

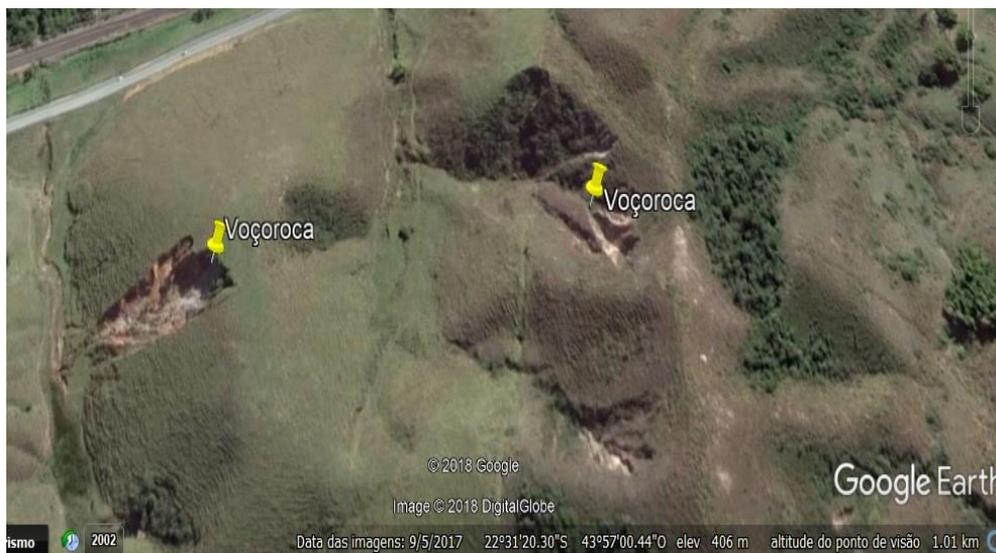


Figura 6: Voçorocas em imagem de satélite do Google Earth.
Fonte: Google Earth Pro.

⁵ Informações Disponíveis em: < <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>> Acesso em 07.Set.2018.

4.3. Elaboração de mapas (no Arc Gis 10.2)

4.3.1. Mapa de distribuição espacial de voçorocas

Para elaboração do mapa de distribuição espacial de voçorocas, os arquivos dos pontos de voçorocas (em KML) foram convertidos em shape no programa Arc Gis 10.2. O shape de pontos de voçorocas foi cruzado com o shape de municípios da área de estudo (que abrange o trecho de Três Rios até Itatiaia), possibilitando a visualização da distribuição de voçorocas e identificação dos pontos de maior e menor concentração.

4.3.2. Mapa de cobertura e uso

Os metadados do mapeamento de cobertura e uso da bacia do rio Paraíba do Sul, realizado pelo INEA (2015) na escala de 1:25.000, foram utilizados para elaboração do mapa no software Arc Gis 10.2. Devido ao elevado nível de detalhamento do mapa, foi preciso dividir a área de estudo em 3 trechos (Três Rios-Vassouras; Vassouras- Barra Mansa e Barra do Piraí- Itatiaia) para melhor visualização dos detalhes das classes de cobertura e uso.

O mapa de cobertura e uso apresenta as seguintes classes: áreas antrópicas agrícolas, áreas antrópicas agrícolas não consolidadas, água, áreas antrópicas não agrícolas, áreas naturais florestadas, áreas naturais não florestadas e silvicultura.

4.3.3. Mapa de Unidades Litológicas

Para a análise da relação entre unidades litológicas e o processo de voçorocamento no médio vale do rio Paraíba do Sul, foram cruzados os dados do shape do mapa geológico do RJ (CPRM, 2017) e o shape dos pontos de voçorocas. Esse cruzamento possibilitou identificar a relação entre as unidades litológicas e a distribuição espacial de voçorocas.

4.3.4. Modelo digital de elevação

Para a análise dos trechos com maior aglomeração de voçorocas, foi realizada a elaboração de modelos digitais de elevação (MDEs) para cada um desses trechos. Para produção dos MDEs foram utilizadas imagens Topodata (que se trata de um projeto que oferece o MDE e suas derivações em âmbito nacional e local a

partir do SRTM) do INPE⁶. As imagens foram transferidas para o Arc Gis 10.2, onde juntamente com as curvas de nível, de cada trecho,⁷ os MDEs foram elaborados.

A partir do MDE, de cada trecho, foram gerados dois tipos de mapas para cada microbacia analisada: mapa de declividade e mapa de altitude. Cada um deles apresentando a relação com a distribuição dos pontos de voçorocas. Cada um desses mapas foi relacionado a distribuição de voçorocas nesses trechos, a fim de identificar as possíveis relações entre esses fatores e a ocorrência de voçorocas.

4.3.5. Rosetas

Além dos mapas gerados para análise de microbacias (dos trechos de maior concentração de voçorocas), foram elaboradas, também, rosetas a partir do lineamento dos eixos das voçorocas. Os lineamentos foram traçados manualmente no programa Google Earth e salvos em KML. Esses arquivos foram lançados no software Arc Gis, onde foi extraído o azimute. Os valores gerados foram lançados no programa Stereonet Online⁸ e foram geradas as rosetas de orientação dos lineamentos de cada microbacia. A partir desses dados buscou-se comparar a orientação predominante dos lineamentos, das microbacias analisadas, a orientação da foliação predominante na área de estudo, que se segundo Heilbron (1993) é predominantemente NE/NW.

4.4. Análise de voçorocas em campo

Após a realização dos mapeamentos foram realizados os campos nos pontos de concentração de voçorocas. O campo foi realizado no mês de setembro, com duração de 3 dias, no ano 2018.

Os materiais utilizados em campo foram: GPS, martelo geológico e câmera fotográfica com zoom óptico de 50x. Cada ponto visitado em campo foi registrado no GPS para obtenção de coordenadas e elevação de cada ponto. Os pontos de visitação em campo foram definidos de acordo com os pontos de voçorocas

⁶ Informações Disponíveis em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>> Acesso em 13.Mai.2019.

⁷ SRTM - Shuttle Radar Topography Mission. Informações disponíveis em : <https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_srtm.html>. Acesso em 13. Fev.2019.

⁸ Informações Disponíveis em: < <https://app.visiblegeology.com/stereonet.html>> Acesso em 10.Mar.2019.

identificadas no mapeamento e a viabilidade de acesso a esses trechos. Buscou-se, preferencialmente, alcançar os pontos de maior aglomeração de voçorocas ou com a presença de voçorocas expressivas (maior área). Cada ponto foi descrito, em caderneta, de acordo com suas características e com os traços da área de entorno. Foram estudados, ao todo, 28 pontos em campo, O mapa abaixo (Figura 16) mostra os pontos analisados em campo.

4.5. Cruzamento de dados

Os dados da bibliografia foram relacionados com os mapeamentos realizados e com a análise em campo. A análise integrada de todas informações direcionou a discussão dos resultados e as considerações finais da pesquisa.

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, onde foi realizado o mapeamento de voçorocas, o campo e as análises em mapeamentos, compreende as bacias delineadas na figura 7. Esta área diz respeito às bacias que estão, em sua maior parte, diretamente ligadas ao rio Paraíba do Sul no trecho de Três Rios (RJ) a Itatiaia (RJ).

5.1. Bacia do rio Paraíba do Sul: Aspectos gerais

O rio Paraíba do Sul se forma a partir da união dos rios Paraibuna e Paraitinga, tendo mais de 1000 km de extensão. A bacia do rio Paraíba do Sul tem uma área de cerca de 55.500 km², abrangendo municípios dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais⁹, compreendendo a região mais industrializada do país e ocupando uma área que representa 0,7% do território brasileiro. Somando-se os principais usos a bacia é responsável por 52% da demanda da região Sudeste, se tornando responsável por 12% do PIB brasileiro¹⁰.

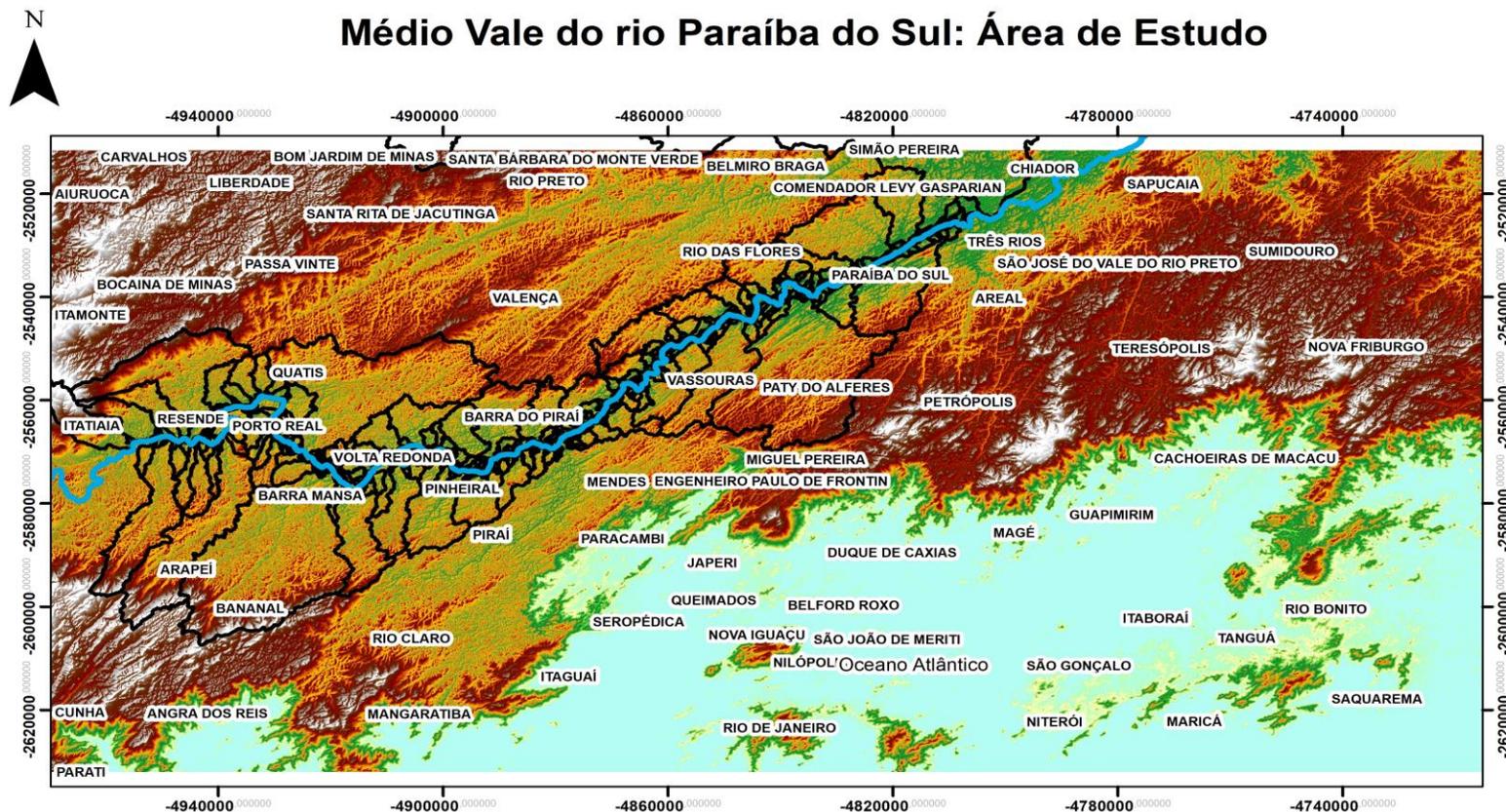
Segundo a Agência Nacional de Águas¹¹, essa é uma bacia de expressiva importância hídrica, pois abastece ao todo cerca de cinco milhões de habitantes divididos entre os três estados. Diversos subsistemas foram implementados nos afluentes do rio Paraíba do Sul, projetados para suprir energia elétrica e água (em especial para cidade do Rio de Janeiro). Os diversos barramentos construídos acabam por modificar as características sedimentológicas e hidráulicas do rio (AGEVAP, 2014). As principais barragens construídas ao longo do rio são: Paraibuna/Paraitinga, Santa Branca, Funil, Santa Cecília e Ilha dos Pombos. A figura 5 mostra a área de estudo, onde foi feito o levantamento.

A pecuária ainda é a principal atividade exercida na bacia do rio Paraíba do Sul, sendo mais de 60% da paisagem recoberta por campos e pastagens (Demanboro, 2015). A bacia apresenta remanescentes florestais de Mata Atlântica, estando metade deles sob a proteção de unidades de conservação, permanecendo, entretanto, vulneráveis a exploração (Demanboro, 2015).

⁹ Informações disponíveis em :< <http://gripbsul.ana.gov.br/ABacia.html>> Acesso em 11.Jun.2018.

¹⁰ Informações disponíveis em < <http://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudios/Reunioes/reunioes-2014/11a-reuniao-14-5-comites-de-bacia-maria-aparecida-e-sergio-razera/apresentacao-maria-aparecida-vargas>> Acesso em 16.Out.2018.

¹¹ Informações disponíveis em :< <http://gripbsul.ana.gov.br/ABacia.html>> Acesso em 11.Jun.2018.



Legenda

-  Rio Paraíba do Sul
-  Bacias Estudadas
-  Maior altitude : 2785
Menor altitude : 0

Fonte: INPE (2008)

Projeção Geográfica
Datum: SIRGAS 2000



Elaborado por Ana Paula Morais de Lima
Em dezembro de 2018

Hipsometria

Figura 7 Mapa de microbacias analisadas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP).

5.2. Cobertura e uso do solo no Médio Vale do rio Paraíba do Sul

A região do médio vale do rio Paraíba do Sul faz parte do Bioma Mata Atlântica. Este bioma é o mais ameaçado do mundo, apresentando apenas 7% de sua cobertura original (COPPETEC, 2006). Entretanto, apesar da intensa degradação, o trecho fluminense da bacia do rio Paraíba do Sul apresenta a maior extensão de remanescentes da mata atlântica (AGEVAP, 2014).

Segundo dados do INEA (2015), a cobertura e uso predominante na área é a de campo/ pastagem. Como visto, a dinâmica hidrológica pode ser intensamente alterada nas áreas de pastagem. O pisoteio do gado gera a compactação dos solos, dificultando a penetração da água e aumentando os processos erosivos em superfície. Por outro lado, a ocorrência de rachaduras em solos nessas condições pode potencializar a infiltração (Coelho Neto, 2011).

Silva & Botelho (2014, p.261) afirmam que:

“a agricultura e pecuária no estado são dois dos principais fatores de degradação do solo no estado do Rio de Janeiro. O uso intensivo promove uma série de modificações nos solos, que envolvem a sua degradação biológica, química e física”.

Quanto aos tipos de solo, a AGEVAP (2014, p.34) afirma que:

“Na bacia do rio Paraíba do Sul, apenas três unidades de mapeamento respondem por mais de 70% da cobertura pedológica dessa região. São elas: Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Cambissolos Háplicos Distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, ocupando 39,3%, 15,2% e 14,5% respectivamente. ”

No vale do Paraíba existem áreas com alta vulnerabilidade à erosão, sobretudo áreas com relevo íngreme, rochas graníticas, solos predominantemente arenosos e com uso de pastagem (AGEVAP, 2014).

O uso do solo nesta região marcou intensos processos de transformação da paisagem. Por mais de 300 anos perpassaram por essa área os ciclos da cana de açúcar, café e pastagem (Dean, 1996). Esse histórico indica o forte papel que a ação antrópica tem exercido na transformação desta paisagem. Entretanto, tem se observado que em espaços que estão sob o mesmo uso do solo há processos de voçorocamento diferenciados.

5.3. Padrão climatológico do Médio Vale do rio Paraíba do Sul (RJ)

Devide (2013) afirma que o clima predominante no vale do Paraíba é subtropical quente, apresentando verões chuvosos e invernos secos. As chuvas de verão têm um importante papel na formação da rede hidrográfica, gerando alagamentos de várzeas e processos erosivos que atuam na expansão da drenagem.

Segundo relatório da AGEVAP (2014, P.14):

“Predomina na região o clima Subtropical quente e úmido, com variações determinadas pelas diferenças de altitude e entradas de ventos marinhos. Verificam-se os maiores índices pluviométricos nas regiões do Maciço do Itatiaia e seus contrafortes, no trecho paulista da Serra do Mar e na Serra dos Órgãos, onde a precipitação anual ultrapassa 2.000 mm. Essas regiões de elevadas altitudes apresentam também as temperaturas mais baixas, com a média das mínimas chegando a menos de 10°C. As menores pluviosidades ocorrem em uma estreita faixa do Médio Paraíba entre Vassouras e Cantagalo, e no curso inferior da Bacia nas regiões Norte e Noroeste fluminense, com precipitação anual entre 1.000 mm e 1.250 mm. As mais altas temperaturas ocorrem na região Noroeste, especialmente em Itaocara, na confluência dos rios Pomba e Paraíba do Sul, com média das máximas entre 32°C e 34°C.”

Os gráficos de precipitação anual acumulada do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) evidenciam estas elevadas taxas de precipitação nos meses de verão e baixas taxas no inverno em municípios do Vale do rio Paraíba do Sul (Figura 8, 9, 10 e 11). Eles são referentes as estações que existem no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (RJ) nos municípios: Pinheiral, Pirai, Vassouras e Resende. Os gráficos que apresentam apenas a linha azul, indicam precipitação anual acumulada do ano de 1961 ao ano de 1990 e os gráficos que apresentam, além da linha azul, a linha vermelha indicam a precipitação anual acumulada do ano de 1930 ao ano de 1960. De forma geral, o padrão é o mesmo em toda esta região.

Gráfico de Precipitação Anual Acumulada- Pinheiral (Vale do Paraíba -RJ)

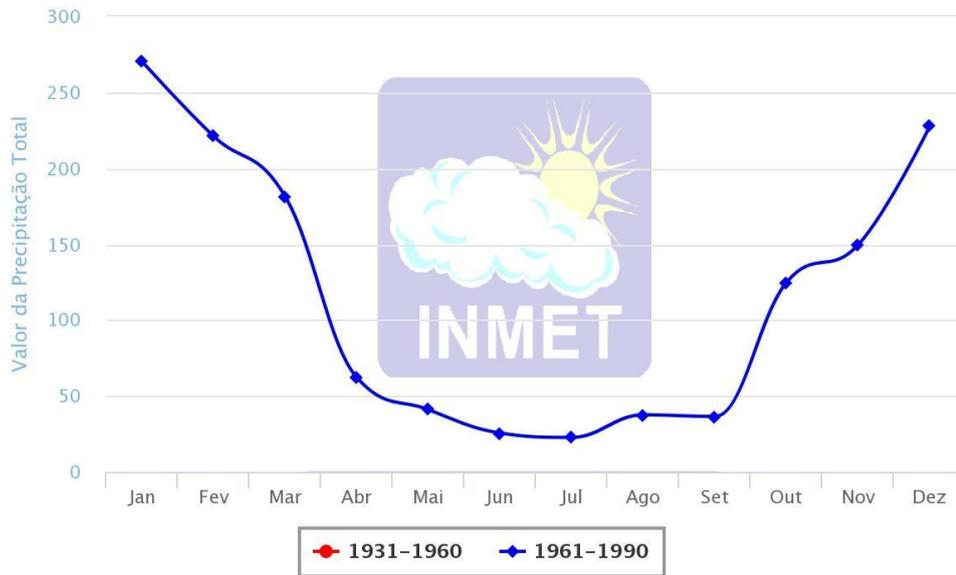


Figura 8: Precipitação anual acumulada em Pinheiral (RJ) entre 1961 e 1990.
Fonte: INMET (2018).

Gráfico de Precipitação Anual Acumulada- Pirai (Vale do Paraíba -RJ)

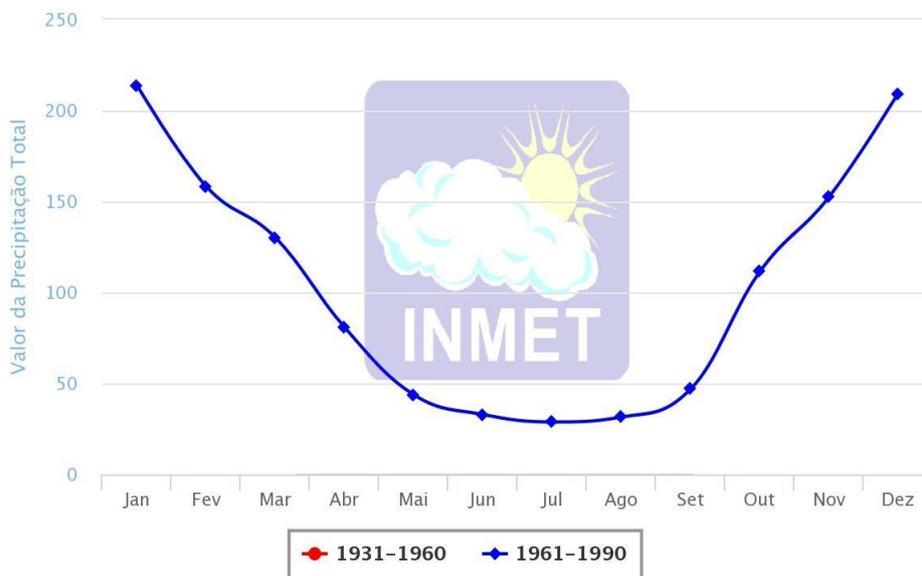


Figura 9: Precipitação anual acumulada em Pirai (RJ) entre 1961 e 1990.
Fonte: INMET (2018).

Gráfico de Precipitação Anual Acumulada(mm)- Resende (Vale do Paraíba- RJ)

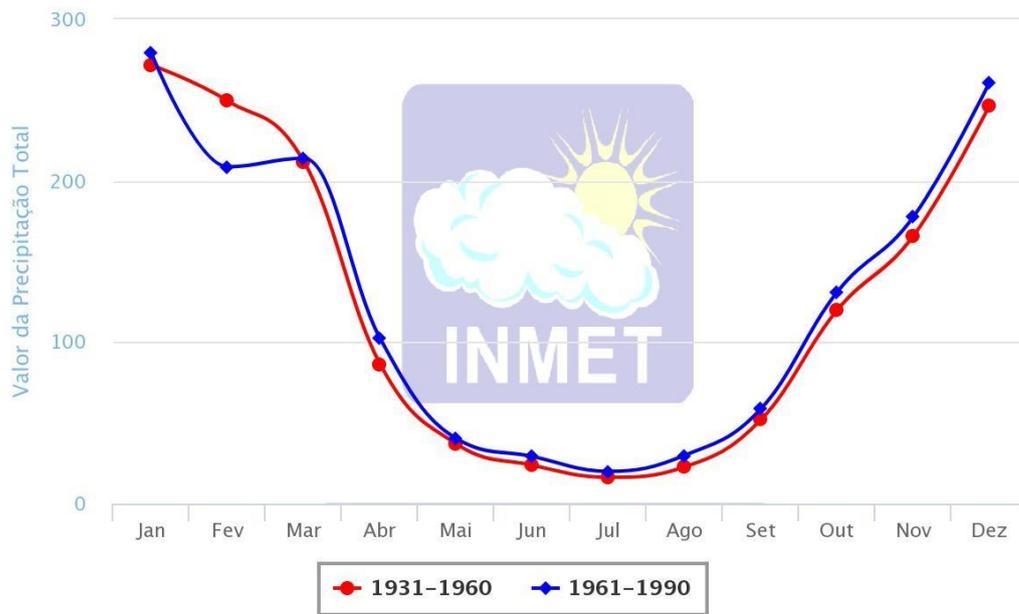


Figura 10: Precipitação Anual Acumulada em Resende (RJ) entre 1931 e 1990.
Fonte: INMET (2018).

Gráfico de Precipitação Anual Acumulada (mm)- Vassouras (Vale do Paraíba -RJ)

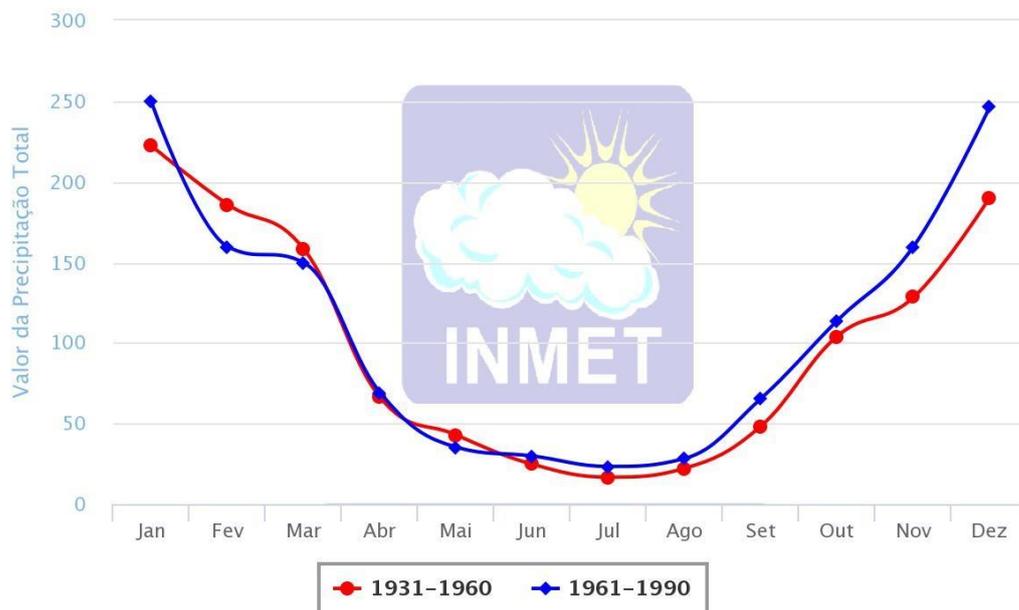


Figura 11: Precipitação anual acumulada em Vassouras (RJ) entre 1931 e 1990.
Fonte:INMET (2018).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Distribuição espacial e padrões de voçorocas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul

O mapa da Figura 12 indica a distribuição atual de voçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul. Foram plotadas por imagem de satélite 671 voçorocas (entre os anos de 2017 e 2018, entre os municípios de Três Rios-RJ- e Bananal-SP), sendo apenas 99 (14,7%) delas associadas a cortes de estrada, e 572 (85,3%) associadas a outros fatores. No mapeamento da área de estudo foram plotados apenas os pontos de voçorocas ativas e em aparente processo de estabilização, não sendo consideradas voçorocas já estabilizadas, totalmente cobertas por vegetação.

No mapa da distribuição espacial de voçorocas (Figura 12), pode-se perceber a presença de pontos de concentração do processo de voçorocamento e pontos que não apresentam ocorrência desse processo, nem mesmo de forma dispersa. Esse padrão de distribuição indica que existem fatores específicos que controlam a ocorrência desse processo, fazendo determinados lugares muito mais suscetíveis que outros.

As voçorocas espraiam-se principalmente em torno da calha do rio Paraíba do Sul e apresentam uma concentração em algumas nuvens de pontos que guiaram as investigações de campo e trabalho em gabinete. Estas áreas de concentração se encontram sobretudo nas regiões do entorno das cidades de Três Rios, Barra do Pirai, Vassouras, Barra Mansa e Bananal.

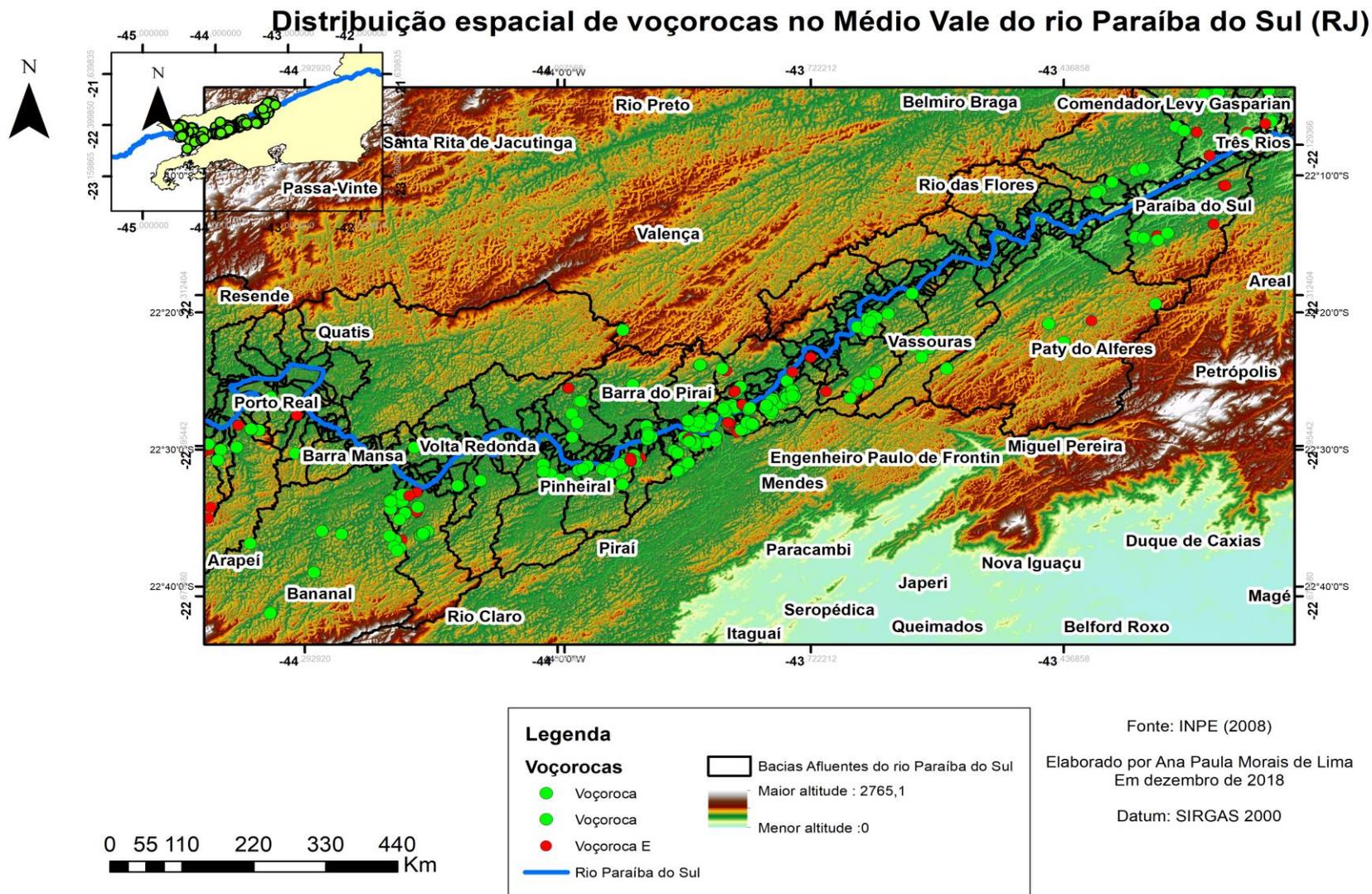


Figura 12: Mapa da distribuição espacial de voçorocas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP).

6.2. Padrões de Voçorocamento

As análises em campo evidenciaram três principais padrões de voçorocas, que se diferenciam de acordo com as condições litológicas de cada ambiente, respondendo de forma diferenciada ao processo erosivo. Estas três principais tipologias serão representadas nos voçorocamentos em Três Rios, Barra do Piraí e Bananal, onde os padrões se diferem de forma clara na paisagem.

6.2.1. Padrões de Voçorocamentos em Três Rios (RJ)

Na região do entorno da cidade de Três Rios o relevo apresenta encostas íngremes com alinhamentos de pequenas serras derivadas da resistência litológica das rochas da unidade Complexo Juiz de Fora. Trata-se de um ortogranulito com forte presença de minerais silicatados, garantindo forte resistência ao intemperismo em contraste às áreas dissecadas de fraturas, falhas e/ou de litologias paraderivadas dos gnaisses do grupo Andrelândia, relativamente menos resistentes que os granulitos (Valladares et al., 2012). A configuração de relevo resultante define vales com amplitude relativamente maior, comparado ao ambiente de colinas do entorno, e encostas íngremes com solos rasos e presença de afloramentos rochosos (Valladares et al., 2012).

Desta forma, em Três Rios pode-se observar uma sequência de processos erosivos em quase toda rede de drenagem. Feições como terraços aparecem como evidências do rebaixamento de nível de base em muitos vales. Nas encostas, por sua vez, esse processo responde com erosão em forma de voçorocamentos e rasos movimentos de massa (Figura 13). Nessa paisagem observamos também a presença de rampas de colúvio e depósitos de talus, apresentando solos rasos e predominância de afloramentos.

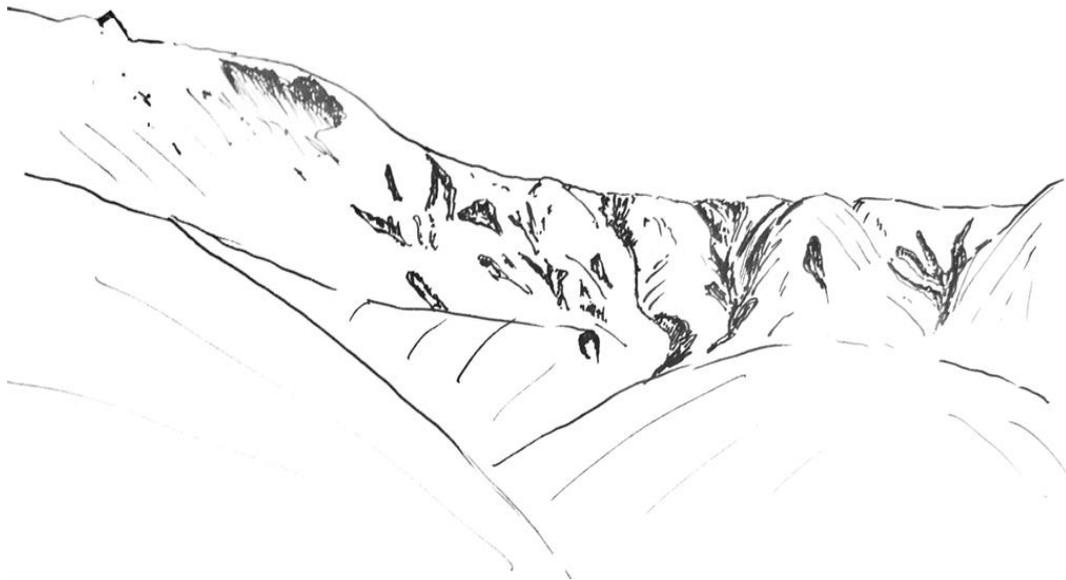


Figura 13: Mecanismo de voçorocamento em alta encosta de solos rasos gerando voçorocas rasas que entalham os eixos de drenagem.

Fonte: Elaborado por Marcelo Motta de Freitas.

Na paisagem de entorno do ponto de amostragem representado na figura 14, identificou-se a presença de um vale com elevada amplitude de relevo e com a presença de terraços fluviais no fundo de vale, evidenciando um processo de rebaixamento de nível de base recente, capaz de desencadear um pulso erosivo ativo corroendo essa paisagem e a desgastando. O vale ocorre sobre rochas granulíticas milonitizadas que na região formam pequenos alinhamentos serranos seguindo a foliação destas rochas de direção NE.



Figura 14: Aspecto dos processos de voçorocamento seguindo a rede de drenagem (destacadas nas linhas laranja) em encostas íngremes nas bacias do entorno da cidade de Três Rio (RJ).

Fonte: Fotografia tirada em campo pela autora (Ana Paula Morais de Lima).

Ainda na região do entorno da cidade de Três Rios, outra condição de relevo define outro mecanismo de voçorocamento. Voçorocas em fundos de vale planos, associadas a terraços altos e concavidades suaves nas suas cabeceiras nas encostas. Neste ponto identificamos que os solos apresentam camadas espessas, diferentemente do primeiro padrão observado (solos rasos da figura 14). Na imagem abaixo (Figura 15) podemos observar o estágio evoluído da voçoroca, com paredes em processo de alargamento e formação de alvéolo.



Figura 15: Voçoroca em processo de expansão entalhando o canal até o novo nível de base, deixando terraços fluviais do antigo nível de base suspensos (Três Rios, RJ).
Fonte: Fotografia tirada em campo pela autora (Ana Paula Morais de Lima).

Este tipo de voçorocamento ocorre em fundos de vale planos afogados de sedimentos que se depositaram em condição de nível de base mais alto. O rebaixamento de nível de base em sua foz provocou um pulso erosivo remontante que garante a expansão das voçorocas e a formação de novas planícies em nível ajustado ao atual e que deixam terraços fluviais em níveis mais altos. Estas voçorocas são longas e percorrem os fundos de vale em direção às cabeceiras côncavas das drenagens de primeira ordem ou ordem zero.

6.2.2. Padrão de Voçorocamentos em Barra do Piraí (RJ)

Em Barra do Piraí observamos um intenso processo de voçorocamento ativo na área de expansão urbana da cidade, o que pode gerar transtornos em termos de riscos para a população dessas áreas. Muitas moradias se encontram em áreas de expansão das voçorocas, onde ocorre a movimentação e transporte de sedimentos que podem atingir esses locais (Figuras 16, 17 e 18).



Figura 16: Casas na área de expansão de voçorocas em Barra do Piraí (RJ).
Fonte: Fotografia tirada em campo pela autora (Ana Paula Morais de Lima).



Figura 17: Cenário de Instabilidade com Casas próximas às voçorocas na área de expansão urbana de Barra do Pirai (RJ).

Fonte: Fotografia tirada em campo pela autora (Ana Paula Morais de Lima).



Figura 18: Relevo predominantemente colinoso em Barra do Pirai (RJ).

Fonte: Fotografia tirada em campo pela autora (Ana Paula Morais de Lima).

O substrato geológico nesta área caracteriza-se pelos gnaisses paraderivados do grupo Paraíba do Sul que se apresentam relativamente mais friáveis que as demais rochas do entorno, quando intemperizado (Heilbron et al., 2007). O material arenoso do seu manto de intemperismo é intensamente erodido, permitindo o entalhe de voçorocas nas encostas locais (Figura 19). O relevo caracteriza-se por colinas com encostas de média a alta declividade, cuja densidade de voçorocamento imprime um cenário de instabilidade

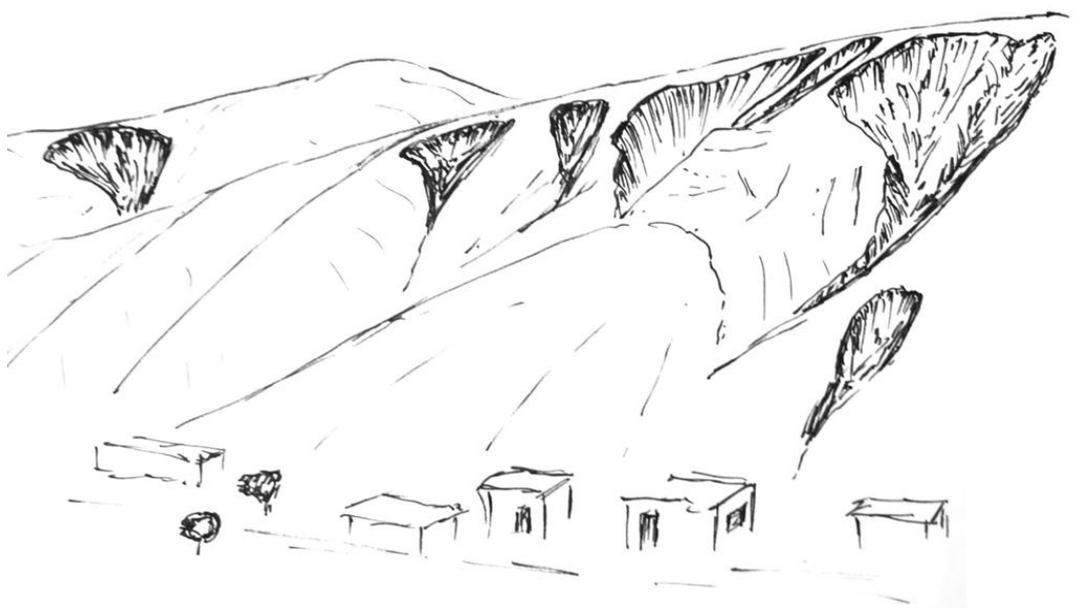


Figura 19: Mecanismo de voçorocamento na média encosta de colinas associadas a formas côncavas do relevo em Barra do Pirajá (RJ)

Fonte: Elaborado por Marcelo Motta de Freitas.

Observa-se também a foliação de orientação nordeste orientando muitos eixos de voçorocas. Neste local o manto de intemperismo é bem espesso, e o colúvio não, e dada a sensibilidade destes materiais, qualquer corte de estrada gera grandes processos de voçorocamento.

É importante ressaltar que esta área apresenta uma grande concentração de voçorocas que se espalham por toda a ocorrência da unidade litológica dos gnaisses paraderivados do grupo Paraíba do Sul, expandindo-se até as imediações da cidade de Bananal em São Paulo. Esta concentração (vista no mapa da figura 12) revela o comportamento dos materiais friáveis do manto de intemperismo gerado nos solos

residuais desta rocha. Agrava-se o cenário de instabilidade e risco à medida que a área se apresenta na expansão da periferia urbana de Barra do Piraí. Neste sentido a constante abertura de cortes para estradas de acesso e construção de casas expõe faces de exfiltração de fluxos subsuperficiais detonando os processos de voçorocamento. É certamente uma área com necessidade de atenção especial pela municipalidade que deve revisar seu plano diretor e fazer cumpri-lo na remediação das situações de risco que está criando. São muitas casas em situações explícitas de risco.

6.2.3. Padrão de Voçorocamentos em Bananal (SP)

A região no entorno da cidade de Bananal (SP) apresenta uma paisagem de colinas no sopé de uma grande formação serrana que é a Serra da Bocaina. O rio Bananal, principal rio da bacia apresenta feições de dissecação recente características de processos de rebaixamento de nível de base, com numerosos terraços fluviais e novas planícies, além de inúmeras voçorocas, tanto nos fundos de vale como em encostas (Leite, 2006). As voçorocas nessa região se desenvolvem sob o mecanismo de escavação de fundos de vale e formação de alvéolos (Padrão representado nas Figuras 20 e 21), como descrito anteriormente em situação semelhante nos arredores de Três Rios (RJ).

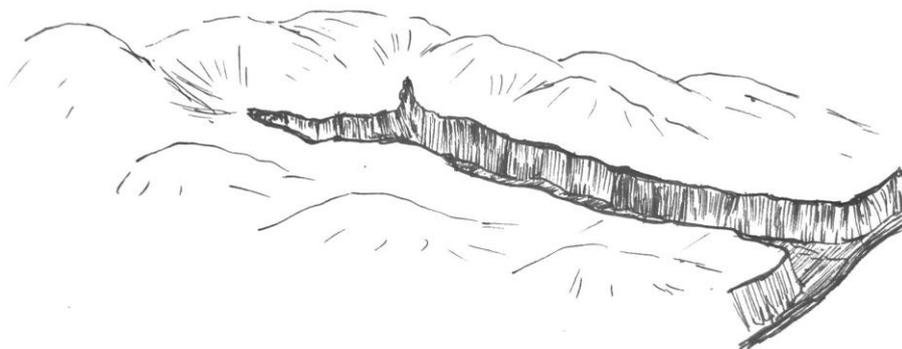


Figura 20: Mecanismo de voçorocamento no fundo de vale, associado ao rebaixamento de nível de base na drenagem principal.

Fonte: Elaborado por Marcelo Motta de Freitas.

A visualização de muitas voçorocas é dificultada nas áreas de densa cobertura vegetal. A voçoroca da Fazenda Bela Vista (UTM 572103/ 7499618), representativa das demais voçorocas da região foi profundamente estudada como área laboratório do Laboratório de Geohidroecologia (GEOHECO) da UFRJ, gerando diversas publicações (Rocha Leão, 2005; Leal, 2009, entre outros). Esta voçoroca foi visitada em campo e se encontra, hoje, bastante recoberta por vegetação, registrando um certo grau de estabilização. Seu mecanismo é relacionado ao entalhe de fundo de vale suspenso que hoje se transforma em terraço fluvial do canal que se expande pelo voçorocamento. Como demonstra os estudos mencionados, o processo ainda está em expansão e caminha para as áreas côncavas nas encostas adjacentes.



Figura 21: Voçoroca da Fazenda Bela Vista (Bananal-SP) em processo de recobrimento vegetal.

Fonte: Fotografia tirada em campo pela autora (Ana Paula Morais de Lima).

6.3. Análise de Padrões Morfométricos dos pontos de concentração de voçorocamento

Além dos padrões de voçorocamento (descritos no tópico 6.2), também foram analisados os trechos de concentração de voçorocas (Figura 22). Para uma análise mais detalhada, os dados de declividade e altitude dos pontos de voçorocas, destas microbacias com aglomeração de voçorocas, foram relacionados à ocorrência de voçorocas. Também foram elaboradas rosetas a partir do lineamento dos eixos das voçorocas destas microbacias, a fim de analisar a relação destes processos com as estruturas do substrato geológico, identificando se o eixo das voçorocas acompanha o strike da foliação.

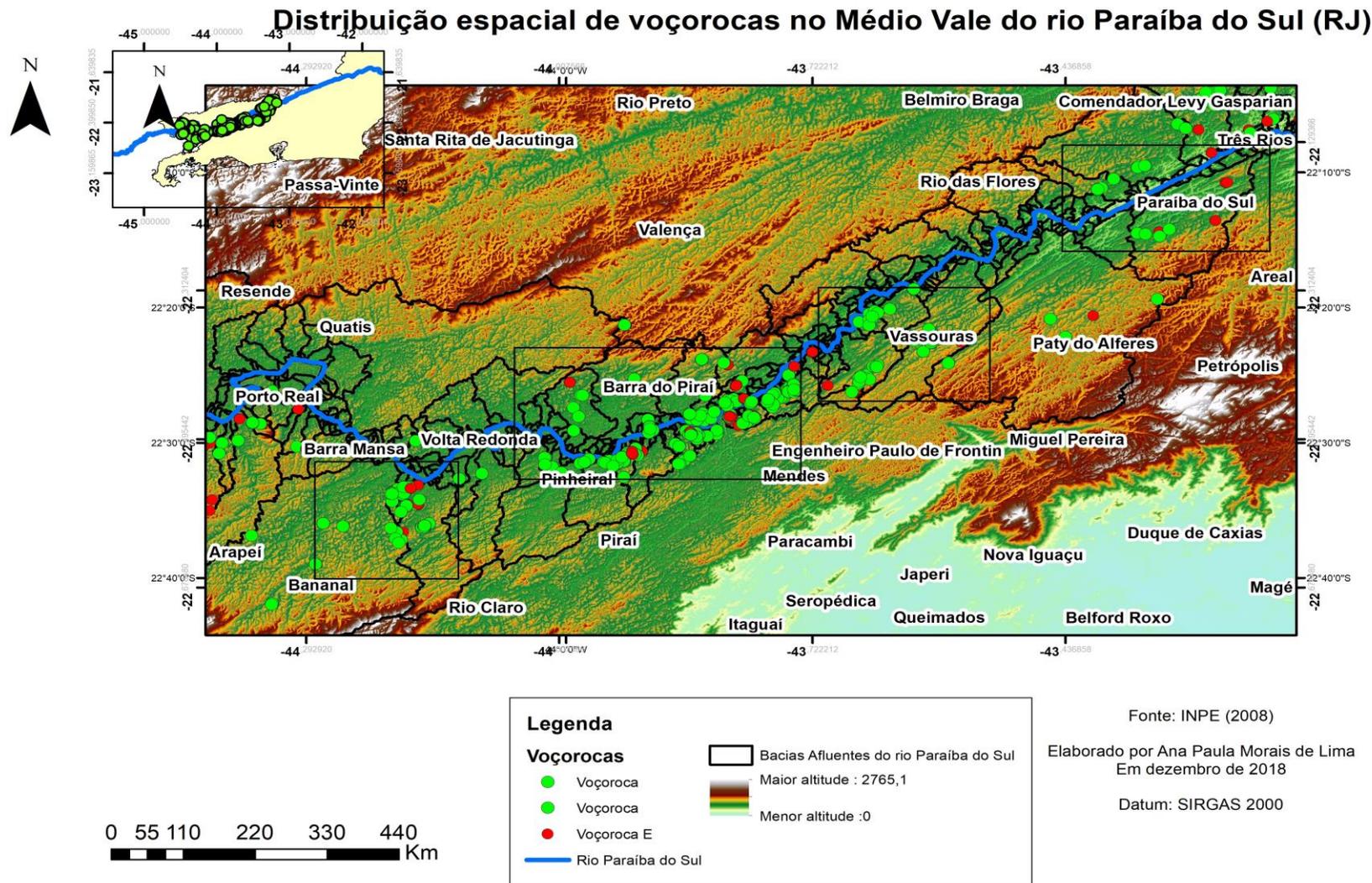


Figura 22: Pontos de concentração de voçorocas no Médio vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP).

6.3.1. Sub bacias de Três Rios (RJ)

O município de Três Rios tem 326,1 km² e, de acordo com o último censo (2010), abriga 77 432 habitantes. A densidade demográfica é de 237,4 habitantes por km²¹². Já o município de Paraíba do Sul tem uma população de 41.084 habitantes (Censo 2010) e área de 580,525km², com densidade demográfica de 70,77 hab/Km². O município de Levy Gasparian tem uma população estimada de 8.544 pessoas, densidade demográfica de 76,53%¹³ hab/km². São municípios com predomínio de áreas antrópicas agrícolas e trechos de áreas naturais florestadas. Estes municípios não se destacaram entre os maiores produtores de café no Médio Vale do rio Paraíba do Sul. Nesta área o número de voçorocas é pequeno, comprado a outros pontos de aglomeração, entretanto, é possível observar nas imagens de satélite (Figura 23), a presença de inúmeras concavidades recobertas por vegetação, com feições similares a voçorocas estabilizadas. Assim, há indícios de que essa área esteja em processo de estabilização do pulso erosivo.

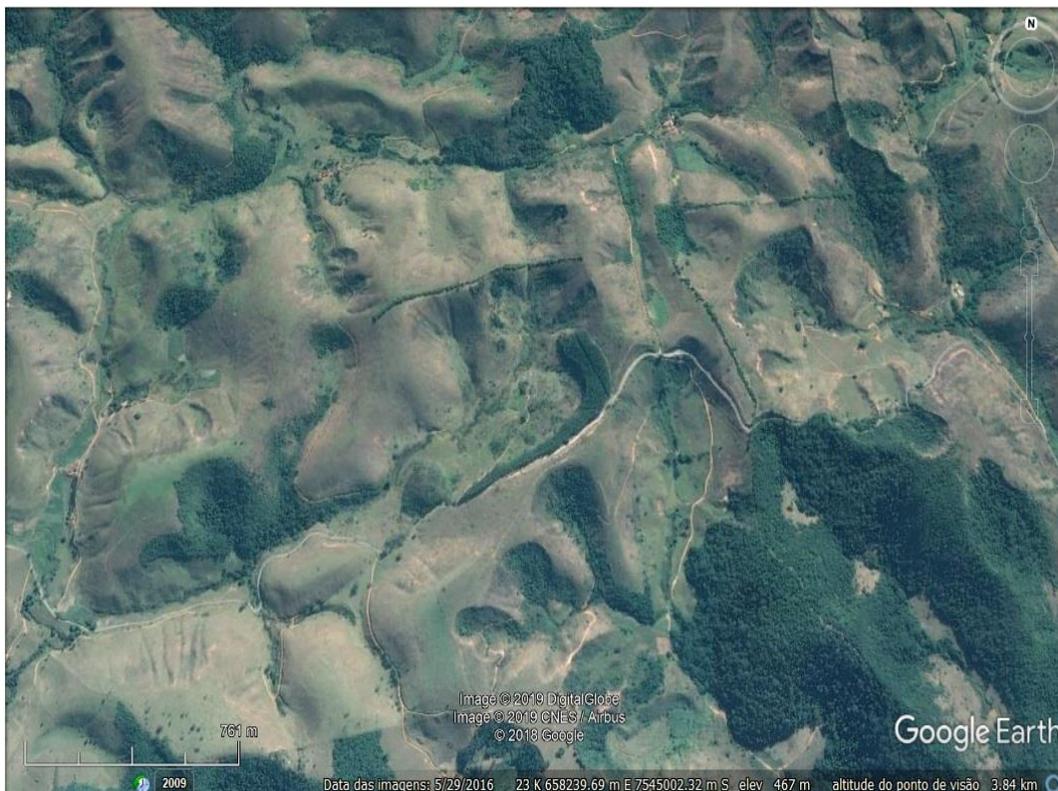


Figura 23: Imagem de Satélite de concavidades e aparentes voçorocas estabilizadas em Paraíba do Sul (RJ).

¹² Informações disponíveis em: < <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-tres-rios.html>> Acesso em 10.Jan.2019.

¹³ Informações disponíveis em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/comendador-levy-gasparian/panorama>>_ Acesso em 10.Jan.2019.

Os lineamentos dos eixos de voçorocas nestas microbacias se encontram predominantemente no ângulo N70E. Heilbron et al. (2007) apontam que o mergulho das camadas das rochas da região se dá na direção NW, com strike para NE (Figura 24).

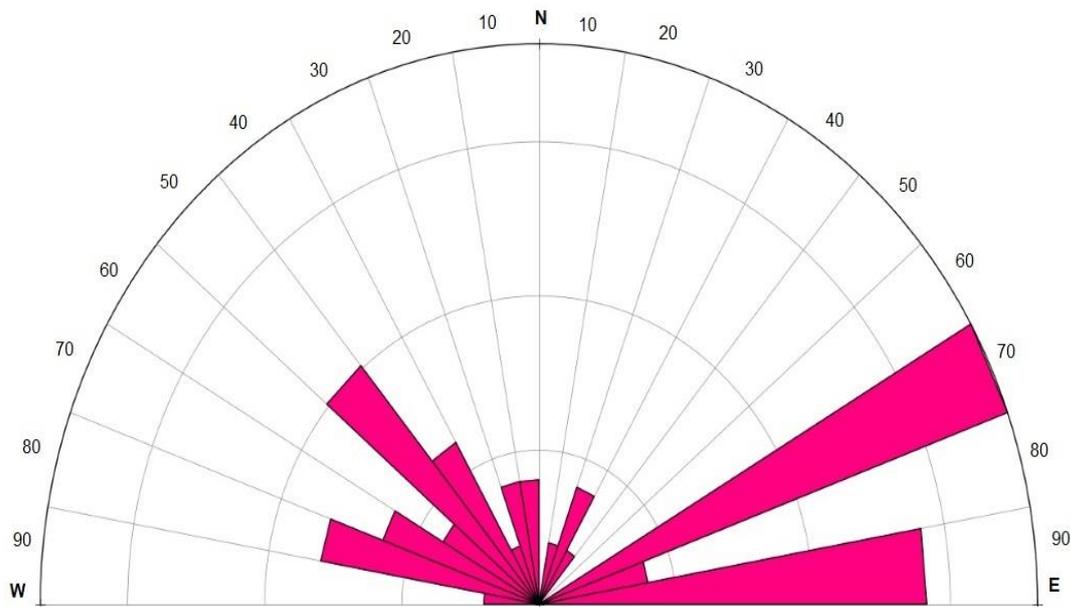


Figura 24: Roseta dos lineamentos de voçorocas em Três Rios (RJ) e Rio das Flores (RJ).

Nas microbacias de Três Rios, Paraíba do Sul, Comendador Levy Gasparian e Rio das Flores (rio local em Três Rios) foram identificadas 39 voçorocas, sendo 14 (35,8%) delas relacionadas a cortes de estrada e 25 (64,2%) relacionadas a outros processos. Os pontos de voçorocas se encontram distribuídos entre as altitudes de 300 e 500m (Figura 25).

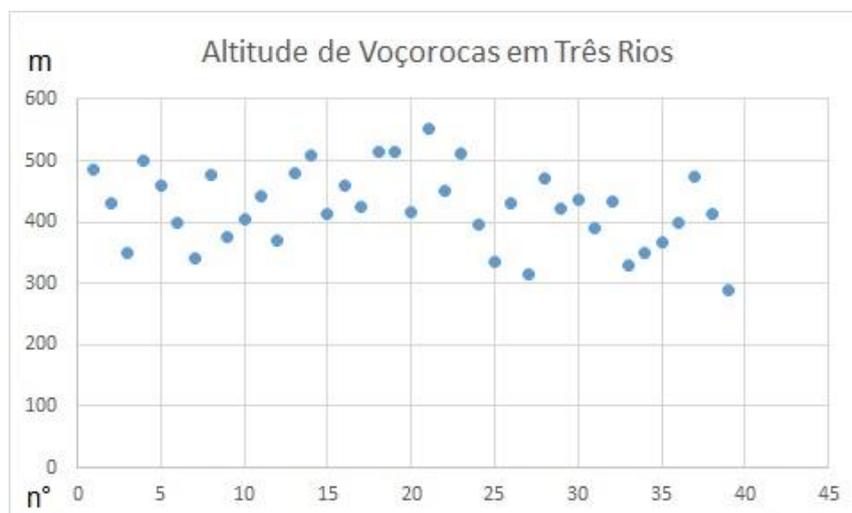


Figura 25: Gráfico das altitudes dos pontos de voçoroca em Três Rios (RJ).

Freitas (2007) já havia apontado que os vales da região de Três Rios, apresentam uma relação direta com os níveis de base locais, rebaixados em relação a cota de 300m. No mapa hipsométrico (Figura 26), observa-se a proximidade entre o processo de voçorocamento e a calha principal do rio Paraíba do Sul, evidenciando que o rio exerce uma forte influência no processo erosivo, sendo o nível de base ao qual a paisagem se ajusta. Desta forma, nas áreas mais próximas a calha do rio o processo de voçorocamento é mais intenso.

No mapa de declividade (Figura 27) é possível identificar que todos os pontos de voçorocas se encontram nas declividades de 0° a 45° . A medida que a declividade do terreno aumenta também aumenta o volume e velocidade do escoamento superficial carreando sedimentos e diminuindo a infiltração de água no solo (Schwarz, 1997). Desta forma, o voçorocamento tende a ocorrer na faixa de declividades baixas e médias, onde o processo de infiltração ocorre com maior facilidade, já que, para ocorrência de voçorocas a erosão em subsuperfície é um dos elementos mais relatados. E como se pode observar no mapa não há voçorocamento nas declividades acima de 45° .

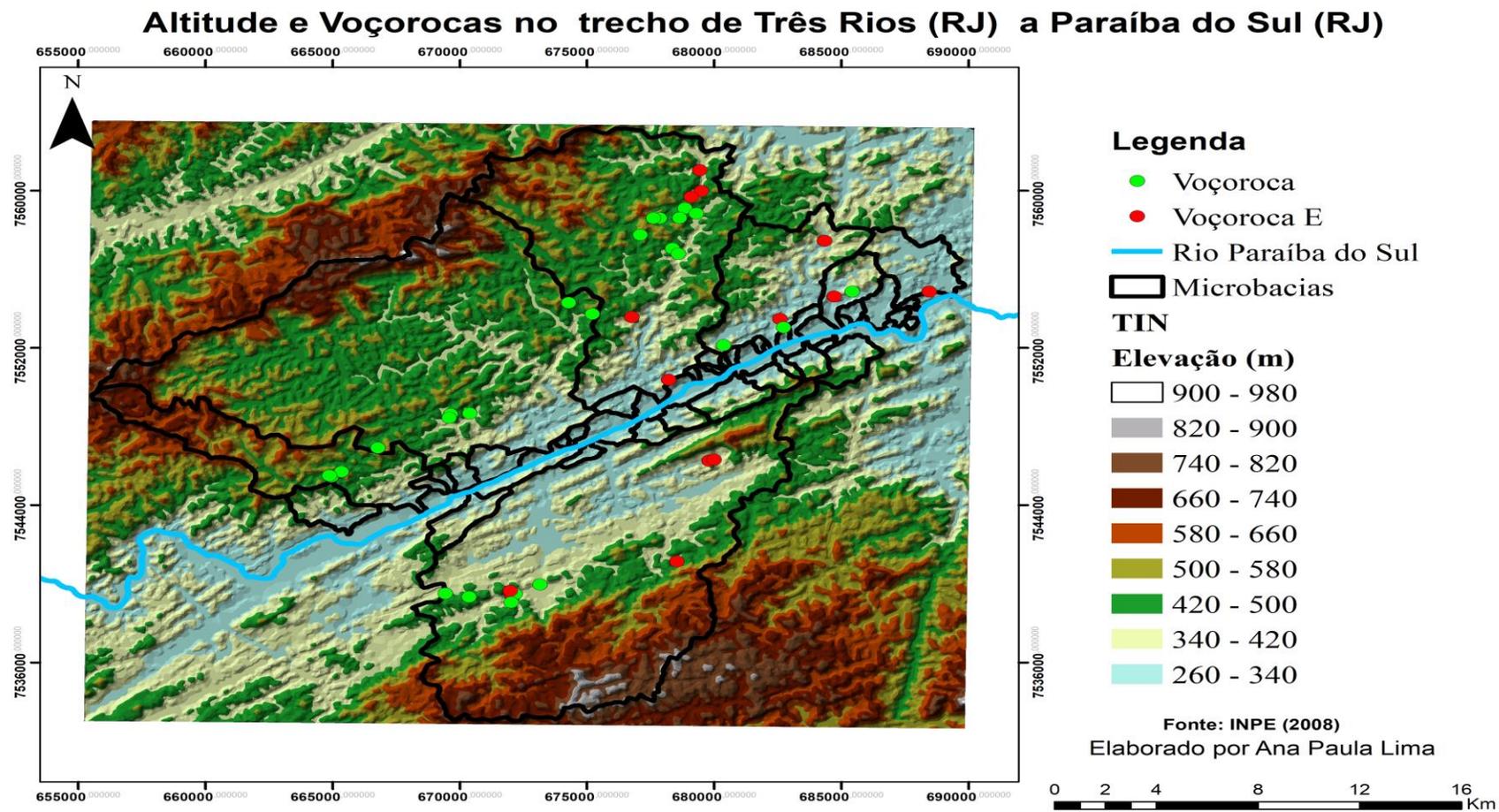


Figura 26: Altimetria e voçorocas em Três Rios (RJ) e Rio das Flores (RJ).

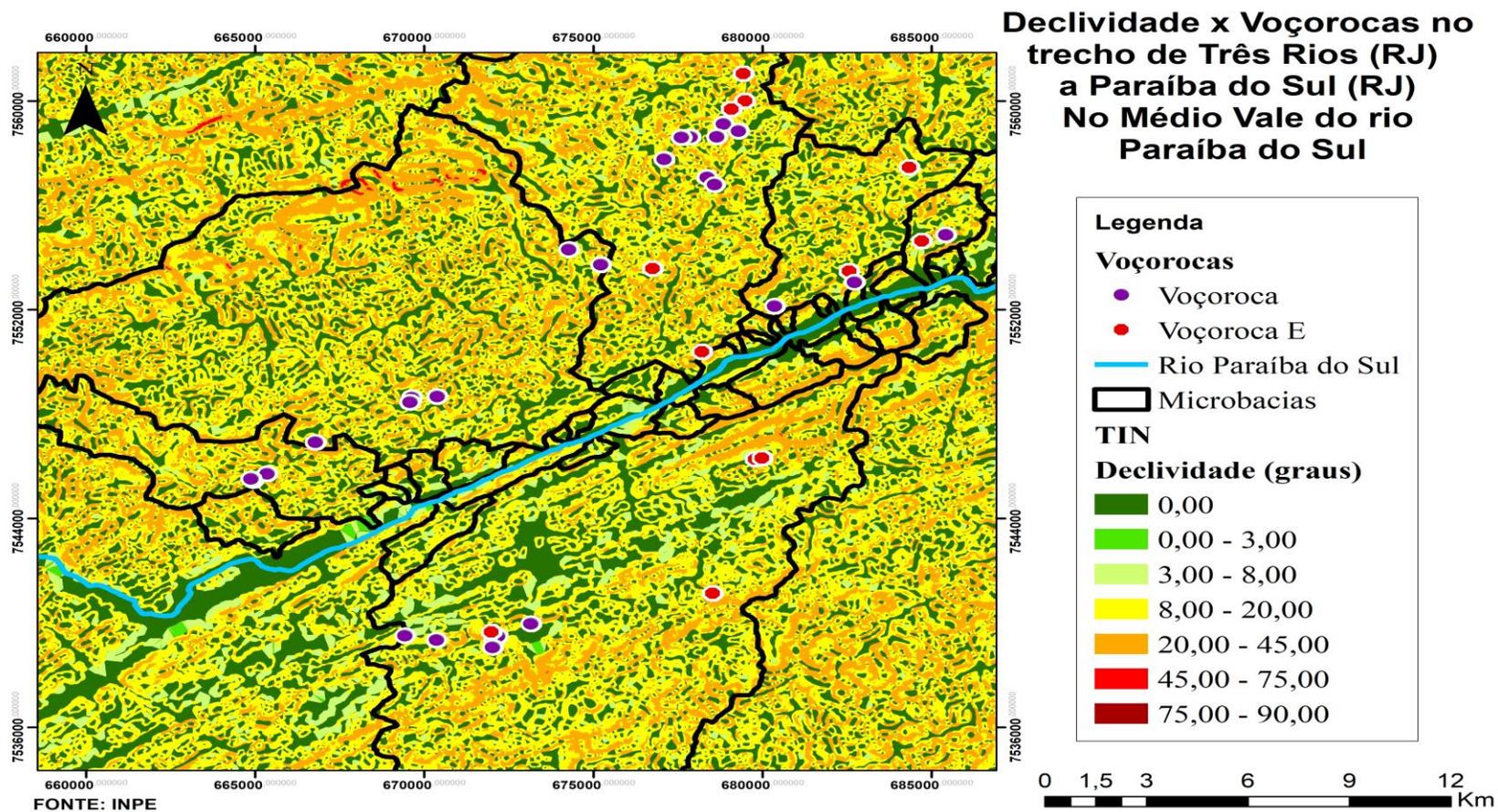


Figura 27: Declividade e voçorocas em Três Rios (RJ) e Rio das Flores (RJ)

6.3.2. Sub bacias de Vassouras (RJ)

Vassouras é um município que foi intensamente marcado pelo ciclo do café, atualmente a cobertura e uso predominantes na região são de áreas antrópicas agrícolas e trechos de áreas naturais florestadas. Este município tem uma população de 34.439 e densidade demográfica 62,34 hab/km² (segundo o censo de 2010)¹⁴. Nas microbacias analisadas em Vassouras, foram identificadas 48 voçorocas, sendo 2 (4,1%) relacionadas a corte de estrada e as outras 46 (95,9%) não.

No gráfico de altitude dos pontos de voçorocas (Figura 28) pode-se observar que as voçorocas se encontram entre 400m e 600m, não havendo voçorocas nas faixas acima de 620. Como em Três Rios, as voçorocas de Vassouras estão aglomeradas nas faixas mais próximas a calha principal do rio Paraíba do Sul, que exerce um controle erosivo por ser o nível de base dessas bacias. O gráfico da figura 42 mostra a altitude exata de cada voçoroca.

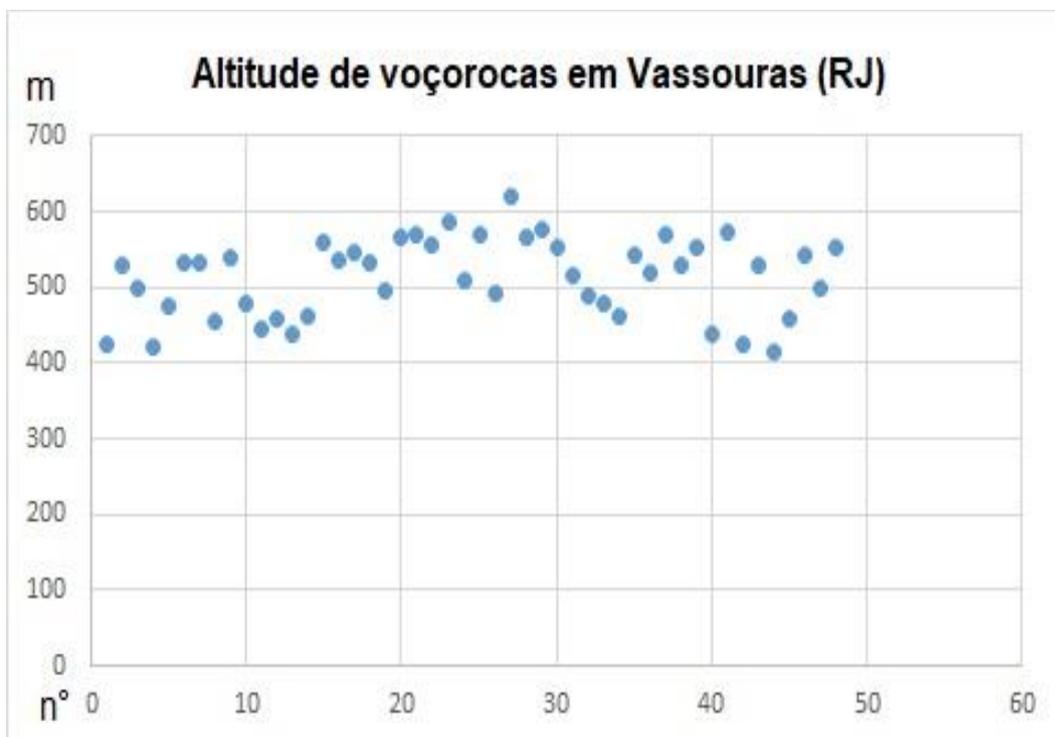


Figura 28: Altitude dos pontos de voçorocas em Vassouras (RJ).

¹⁴ Informações Disponíveis em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/vassouras/panorama> > Acesso em 08. Fev.2019.

Na roseta (Figura 29), pode se identificar que os lineamentos dos eixos das voçorocas se apresentam, predominantemente, no ângulo N30W, havendo uma outra pequena parte na direção NE.

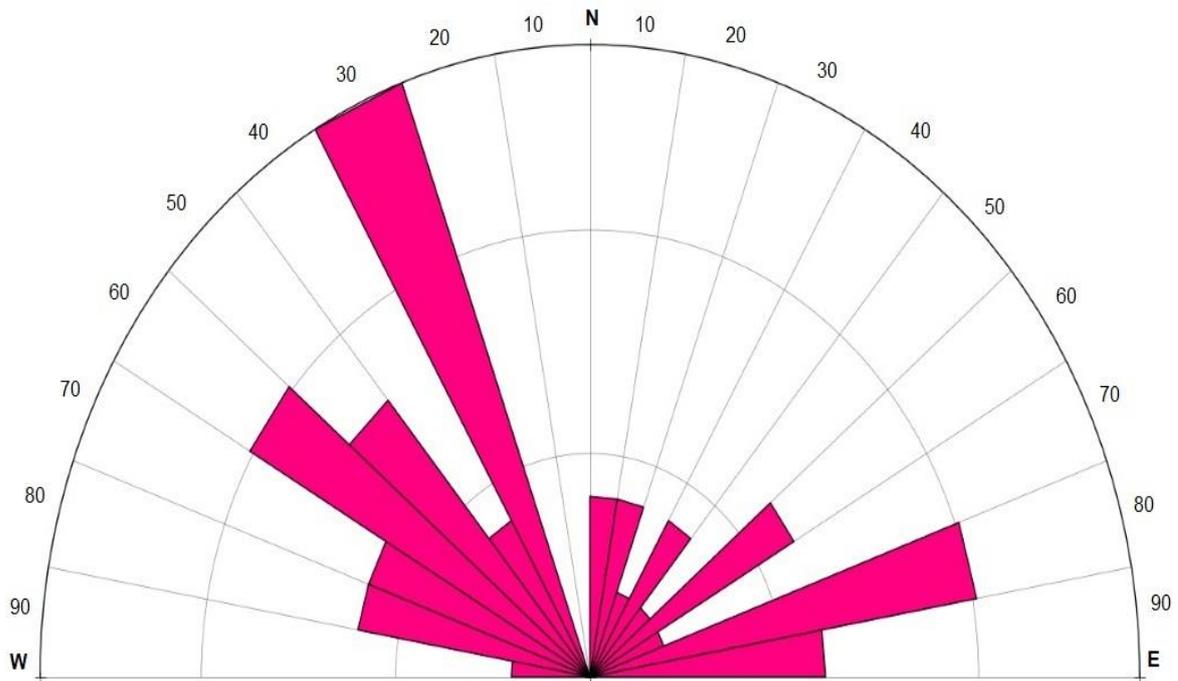


Figura 29: Roseta dos lineamentos de voçorocas em Vassouras (RJ).

O mapa hipsométrico (figura 30) evidencia a proximidade entre o processo de voçorocamento e a calha principal do rio, bem como em Três Rios. Quanto a declividade, figura 31, pode-se observar que as voçorocas ocorrem entre 0° e 45° , bem como em Três Rios.

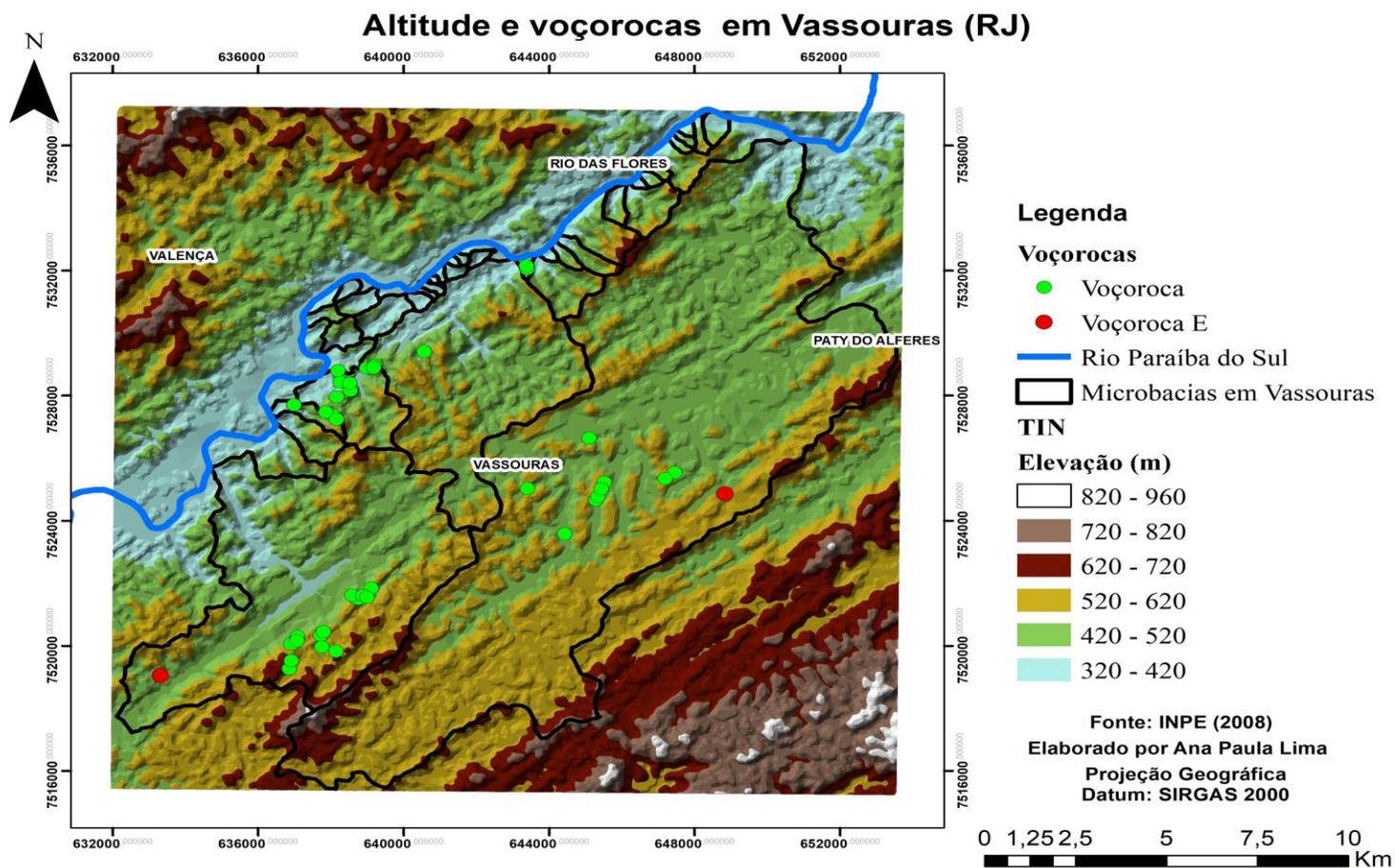


Figura 30: Hipsometria e voçorocas em Vassouras (RJ).

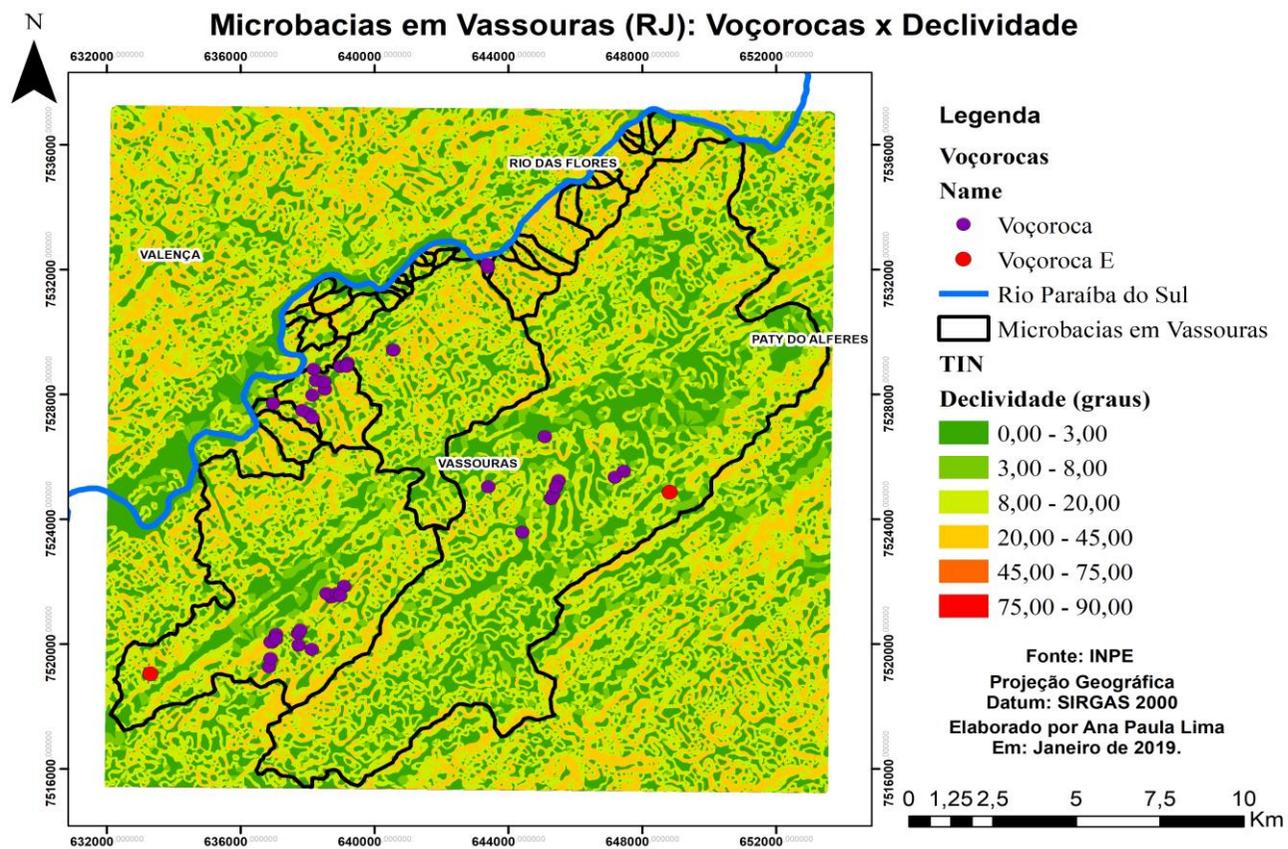


Figura 31: Mapa da relação entre voçorocas e a declividade em Vassouras (RJ).

6.3.3. Sub bacias de Barra do Pirai (RJ)

Barra do Pirai é um município localizado no sul do estado do Rio de Janeiro. Este município está dividido em 5 distritos, e sua população é estimada em cerca de 99.969 habitantes, sendo a maioria de área urbana. Apenas 3% da população vive em área rural (Martins, 2014). A densidade demográfica em 2010, era de 163,7 hab/km²¹⁵. Este município não esteve entre as áreas mais devastadas para produção de café no Médio Vale do rio Paraíba do Sul, entretanto se destaca pelo elevado número de voçorocas que permeiam suas paisagens, mais do que qualquer outro município dessa região.

Quanto aos lineamentos dos eixos das voçorocas, pode ser observado na roseta (Figura 32) que boa parte das voçorocas ocorrem na direção N70E. Além disso, podem ser observadas quantidades representativas no eixo NW. Heilbron et al. (2007) apontam que o mergulho das camadas das rochas da região se dá na direção NW, com strike para NE, ou seja, as voçorocas têm ocorrido em associação a estrutura geológica. De acordo com o mapeamento realizado por Heilbron et al. (2007) na folha Barra do Pirai, os litotipos reconhecidos estão associados à gnaisses aluminosos bandados da Unidade Selimanita Gnaiss bandado e granitos, granodioritos e quartzo diorito do Complexo Quirino.

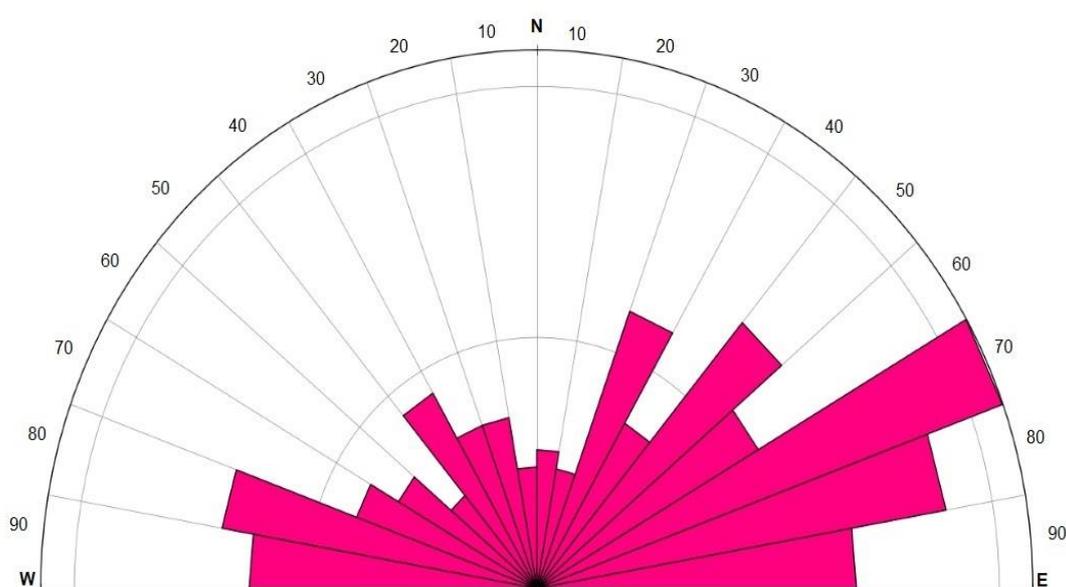


Figura 32: Roseta dos lineamentos de voçorocas em Barra do Pirai (RJ).

¹⁵ Informações disponíveis em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/barra-do-pirai/panorama>> Acesso em 10. Fev.2019.

Foram identificadas 256 voçorocas nas microbacias de Barra do Piraí (RJ), sendo 65 (25,3%) delas voçorocas de estrada e 191 (74,7%) associadas a outros processos. As voçorocas se concentram na faixa de 300m a 600m (Figura 33). 0° e 45°. Importante ressaltar que estas voçorocas, como tem se observado nas outras microbacias desta região, se encontram nos compartimentos mais rebaixados próximos à calha principal do Rio Paraíba do Sul, onde o nível de base mais baixo, define a dissecação destes trechos do baixo curso das bacias afluentes. Para os trechos das bacias em compartimentos suspensos por níveis de base locais a ocorrência de voçorocas é bem reduzida (Figura 34). A declividade dos pontos de voçorocas nesta área se concentram em 3° e 20° (Figura 35).

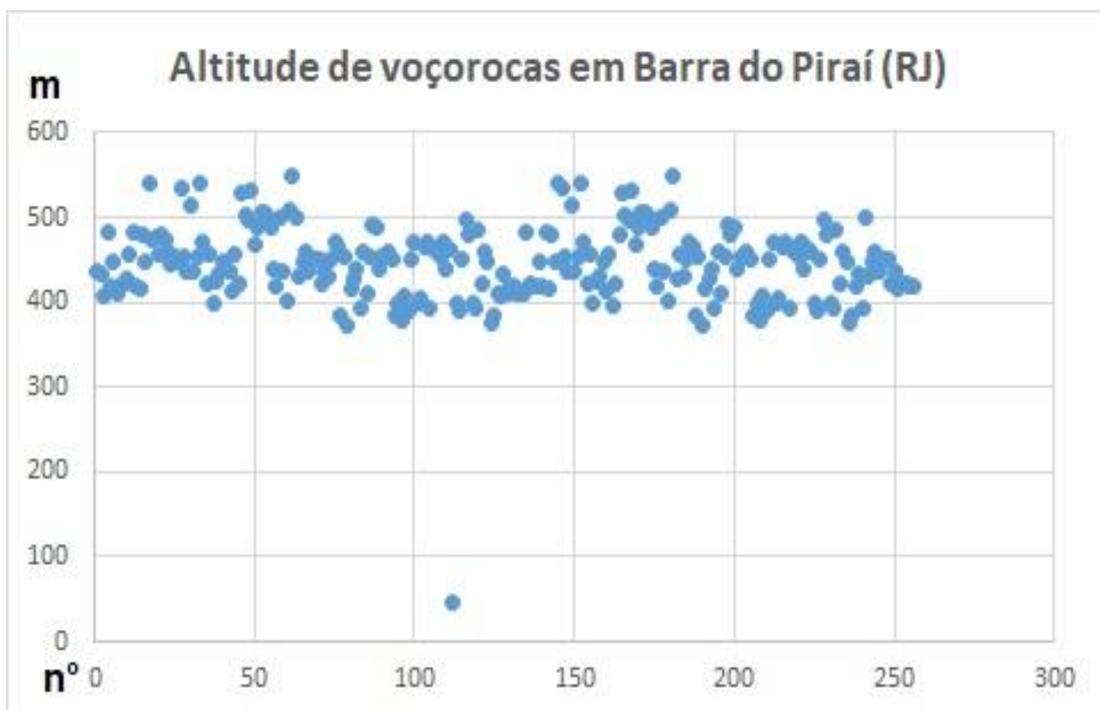


Figura 33: Altitudes dos pontos de voçorocas em Barra do Piraí (RJ).

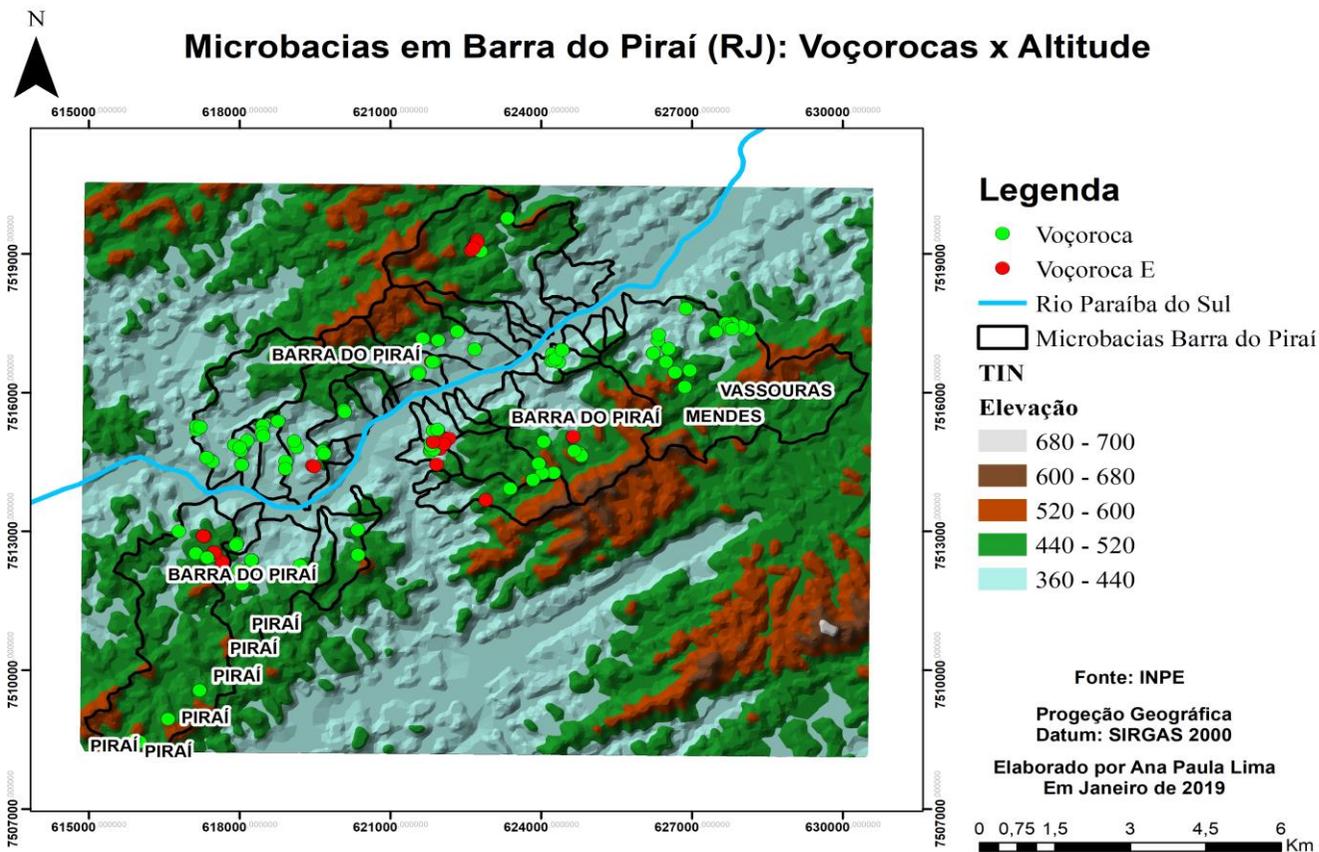


Figura 34: Voçorocas e altitude em Barra do Piraí (RJ).

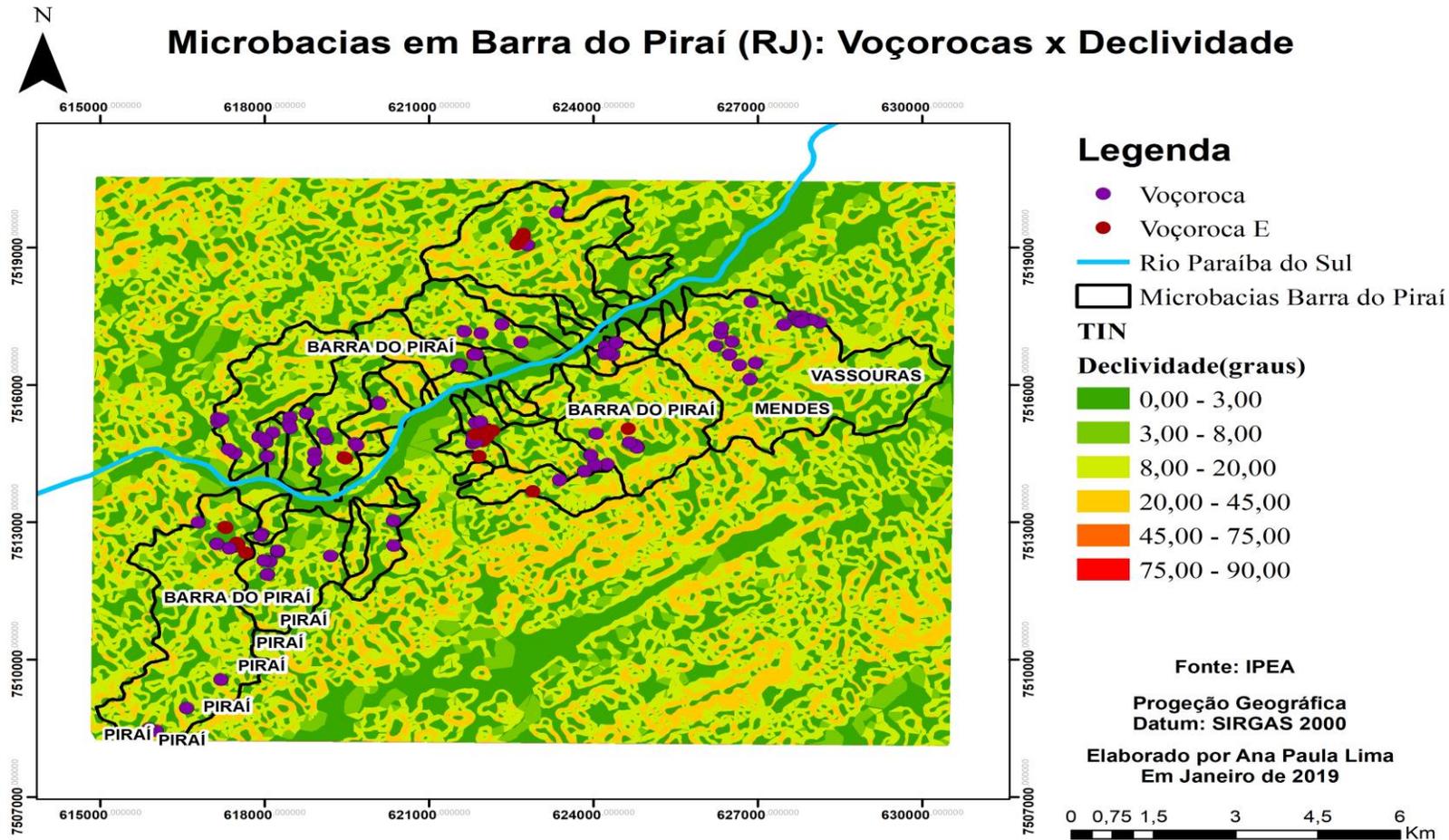


Figura 35: Voçorocas e declividade em Barra do Piraí (RJ).

6.3.4. Sub-bacias de Barra Mansa (RJ) e Bananal (SP)

O município de Barra Mansa tem 547,133 km², com uma população estimada em 183,976 pessoas e densidade demográfica de 324,94 hab/km². Apresenta cobertura e uso predominante de áreas naturais florestadas e áreas antrópicas agrícolas¹⁶. Já o município de Bananal (SP) tem uma população estimada em 10.896 pessoas, com densidade demográfica de 16,58 hab/km². Bananal foi uma das áreas onde a cultura cafeeira atingiu os seus maiores índices de produção em meados do século XIX (Ruiz et al., 2018), entretanto não apresenta um número de voçorocamento expressivo se comparado a outros locais da região do Médio Vale do rio Paraíba do Sul.

A roseta abaixo (Figura 36) indica a direção dos lineamentos das voçorocas destas microbacias. Podemos observar que elas estão bem divididas entre as direções N80E e N30W.

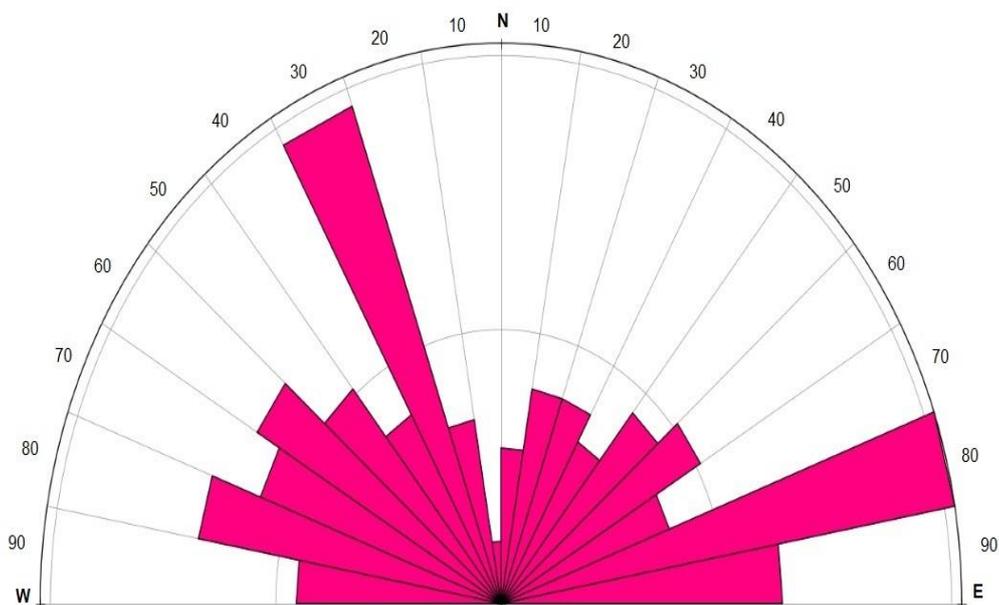


Figura 36: Roseta dos lineamentos de voçorocas em Barra Mansa (RJ).

¹⁶ Informações disponíveis em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/barra-mansa/panorama> > Acesso em 20. Jan. 2019.

Nas microbacias de Barra Mansa identificamos 78 voçorocas sendo 15 (20%) relacionadas a cortes de estrada e outras 63 (80%) relacionados a outros processos. As voçorocas se concentram na faixa de altitude entre 300m e 500m (Figura 37), similar as faixas de ocorrência de voçorocas em Três Rios, Vassouras e Barra do Piraí, da mesma forma estas voçorocas estão nos compartimentos de altitude média e baixa do relevo (Figura 38), ocorrendo como propagações do pulso erosivo do nível de base regional, que é a calha do rio Paraíba do Sul.

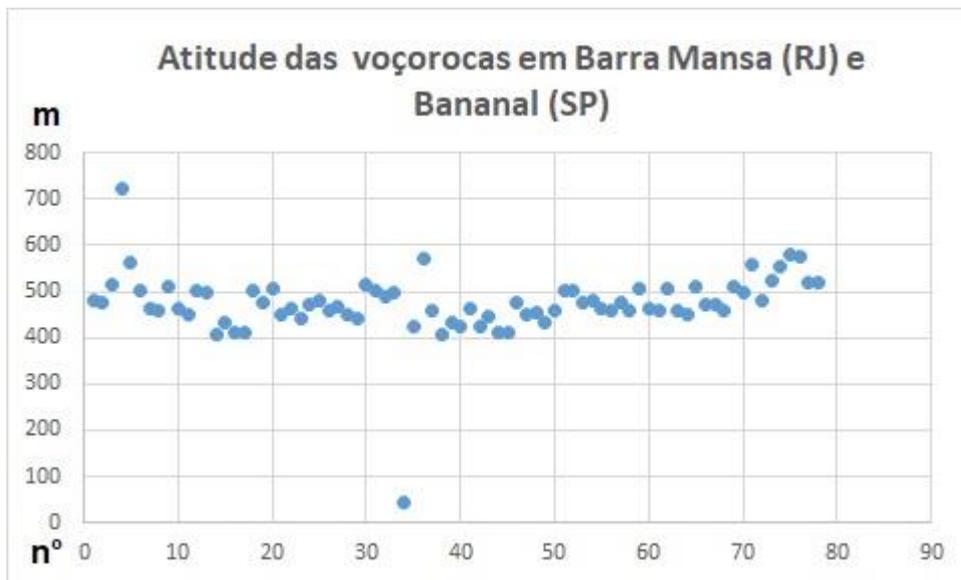


Figura 37: Altitude dos pontos de voçorocas em Barra Mansa (RJ) e Bananal (SP).

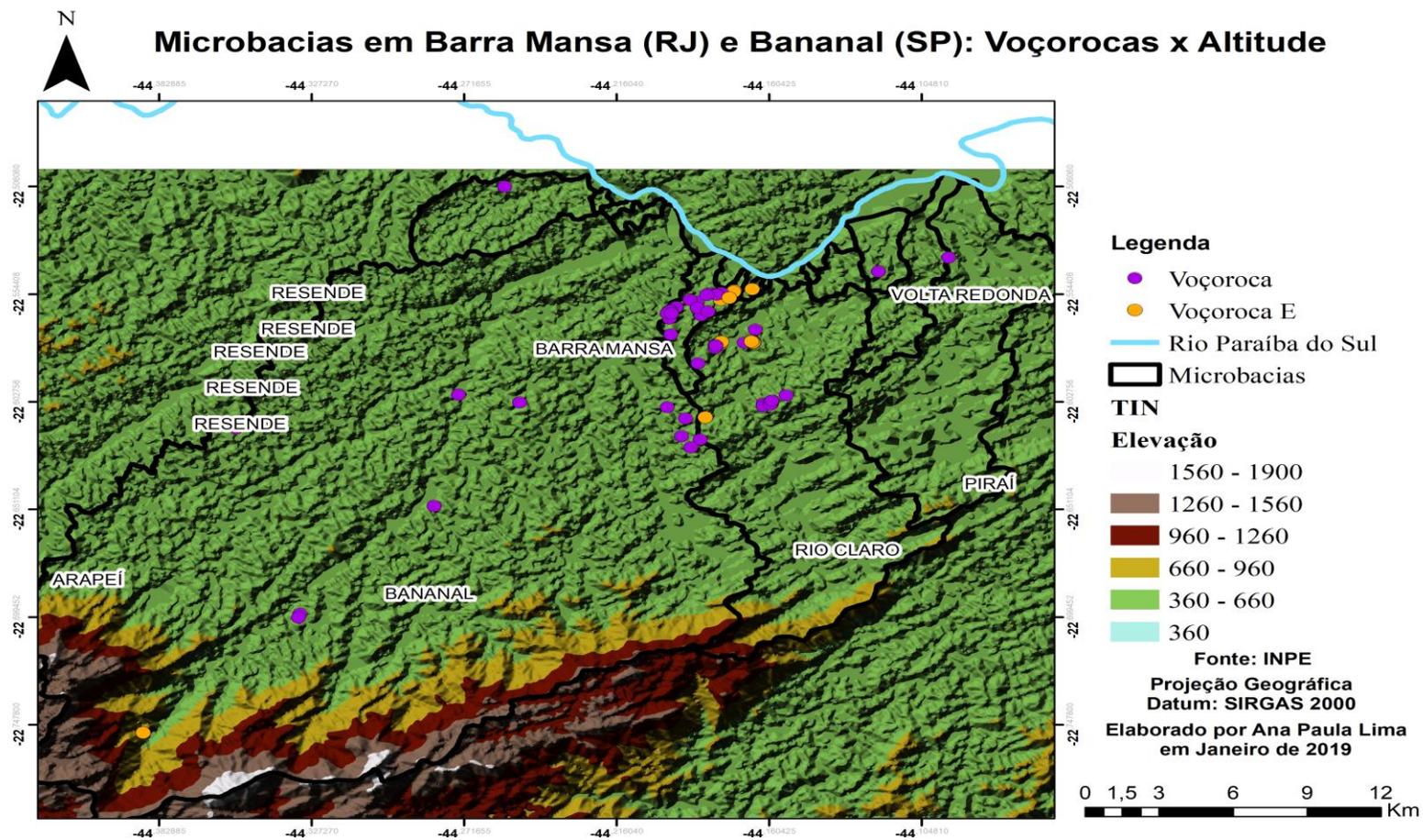


Figura 38: Hipsometria e voçorocas em Barra Mansa (RJ) e Bananal (SP).

6.3.5. Hipsometria na Perspectiva regional

Na figura 39, observamos, numa perspectiva regional do conjunto de microbacias do rio Paraíba do Sul, que o processo de voçorocamento se concentra nos compartimentos mais baixos do relevo. Possivelmente, essa intensa concentração de voçorocas nos compartimentos mais rebaixados próximos a calha principal do rio, se dá devido ao controle erosivo exercido pelo nível de base mais baixo, ajustado à calha principal do rio Paraíba do Sul, definindo a dissecação destes trechos do baixo curso das bacias afluentes.

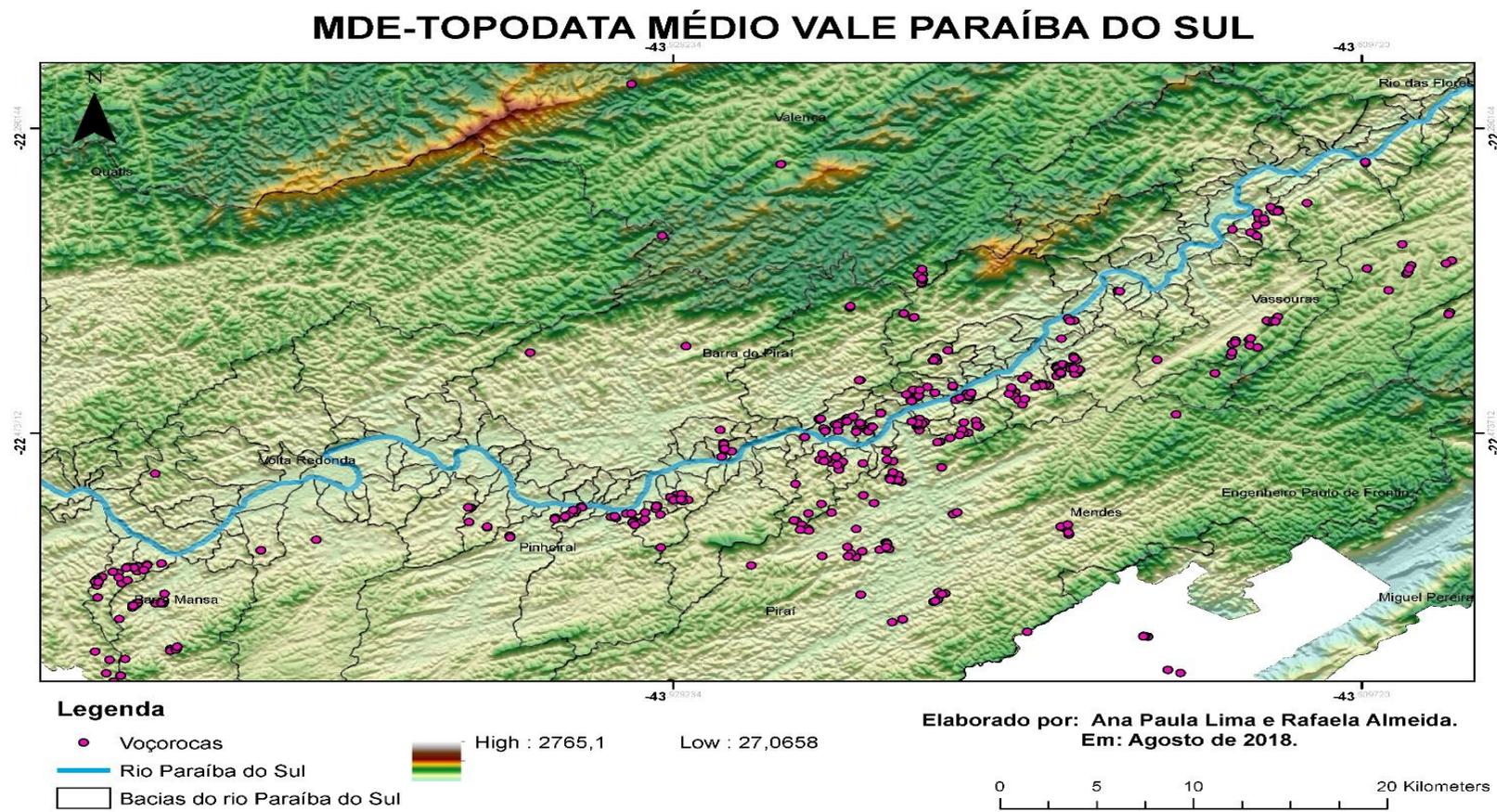


Figura 39: Modelo Digital de Elevação do Médio Vale do rio Paraíba do Sul.

6.4. Cobertura e uso do solo e voçorocas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul

Como podemos observar nos mapas de cobertura e uso do solo abaixo (Figuras 40, 41 e 42), na bacia do rio Paraíba do Sul há o predomínio de áreas antrópicas agrícolas, silvicultura e áreas florestadas. Quanto a distribuição de voçorocas, podemos observar que se distribuem de forma diferencial em áreas sob o mesmo tipo de cobertura e uso, ou seja, a cobertura e uso do solo não estão determinando o padrão de distribuição espacial de voçorocas nesta região.

O uso predominante no Médio Vale do rio Paraíba do Sul é o de pastagem. Esse uso gera processos erosivos devido ao pisoteio do gado e a presença predominante de gramíneas. O pisoteio do gado gera a compactação do solo, reduzindo o potencial de penetração de água no solo e aumentando o escoamento superficial (Guerra, 2011). Em contrapartida, o solo com cobertura de gramíneas apresenta um elevado potencial de retenção hídrica, podendo gerar processos erosivos em subsuperfície.

Além disso, o uso pretérito predominante na área estudada foi o de plantio de café. Segundo os relatos existentes das paisagens pretéritas nesta região, como apresentam Ruiz et al., (2018), o município de Rezende (RJ) abrigou grandes cafezais e foi rapidamente povoado. Entretanto, Vassouras (RJ) se tornou a capital do café no Brasil, sendo um centro difusor da cultura cafeeira. Valença (RJ) também fez parte desse processo do ciclo cafeeiro no estado do Rio de Janeiro. No estado de São Paulo, os destaques são os municípios de Bananal e Areais. A região de Bananal (SP) abrigou as mais extensas plantações de café, se destacando também a região de Areais (SP), que antes do desenvolvimento de Bananal abrigava os mais extensos plantios da região (Ruiz et al., 2018). Entretanto, apesar desse uso pretérito ter dominado nestas áreas do Médio Vale do rio Paraíba do Sul, o processo de voçorocamento atual se distribui de forma desconsoante à elas, reforçando a tese de que existem outros fatores que estão determinando a ocorrência desse processo. As grandes concentrações de voçorocas se encontram nos municípios Barra do Pirai (RJ), Pinheiral (RJ) e Barra Mansa (RJ).

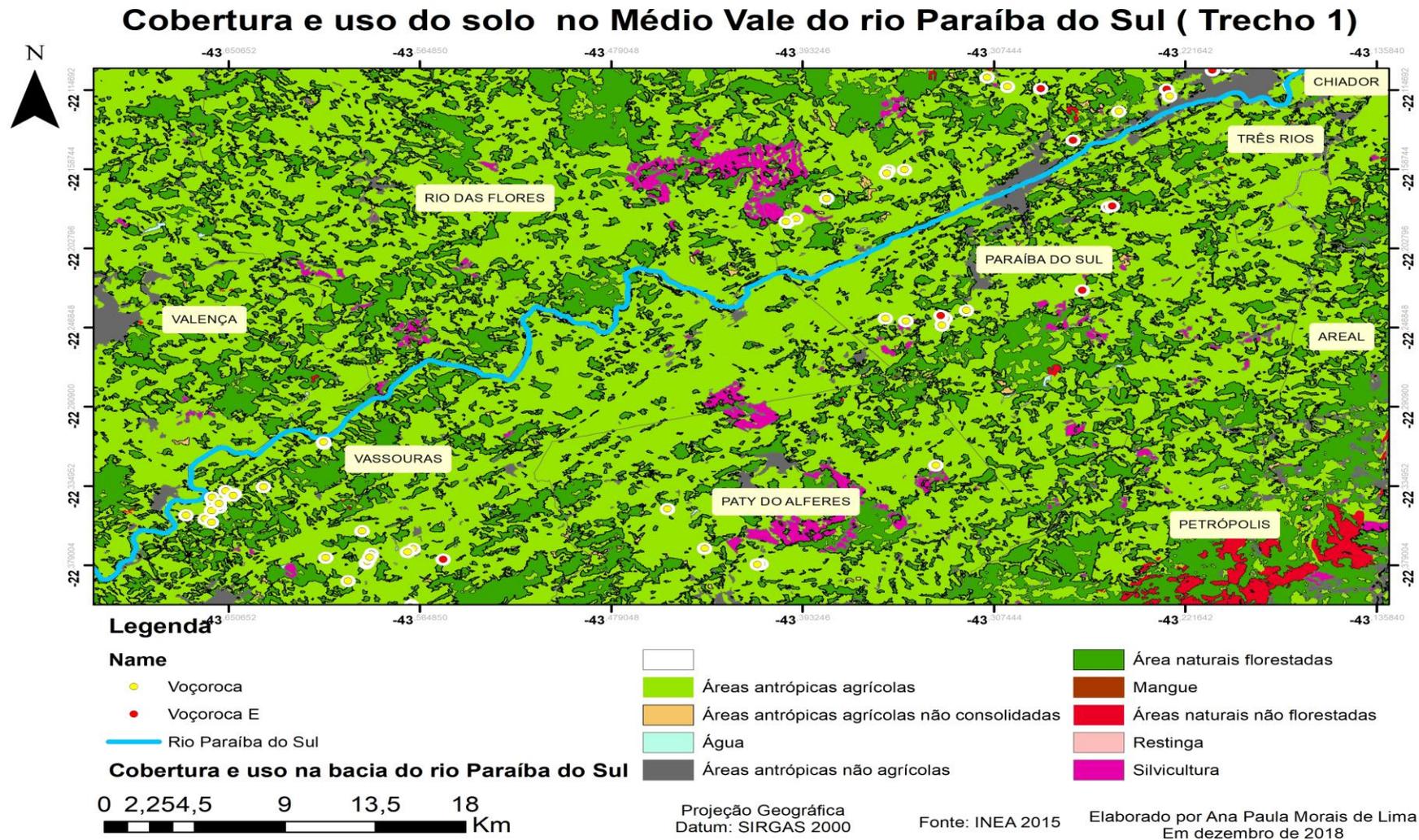


Figura 40: Mapa de voçorocas relacionadas a Cobertura e uso no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (Trecho 1).

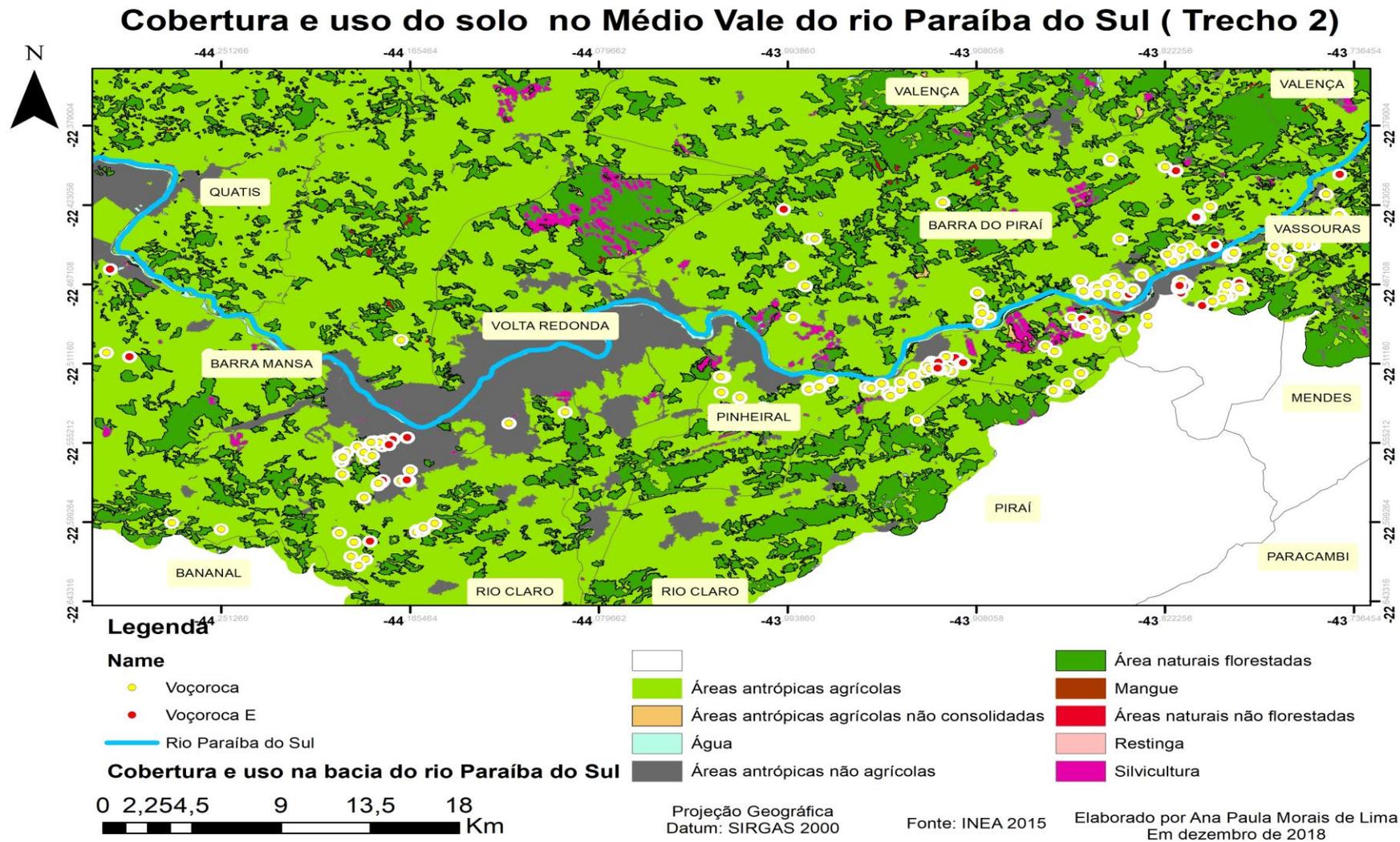


Figura 41: Mapa de voçorocas e Cobertura e uso no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (Trecho 2).

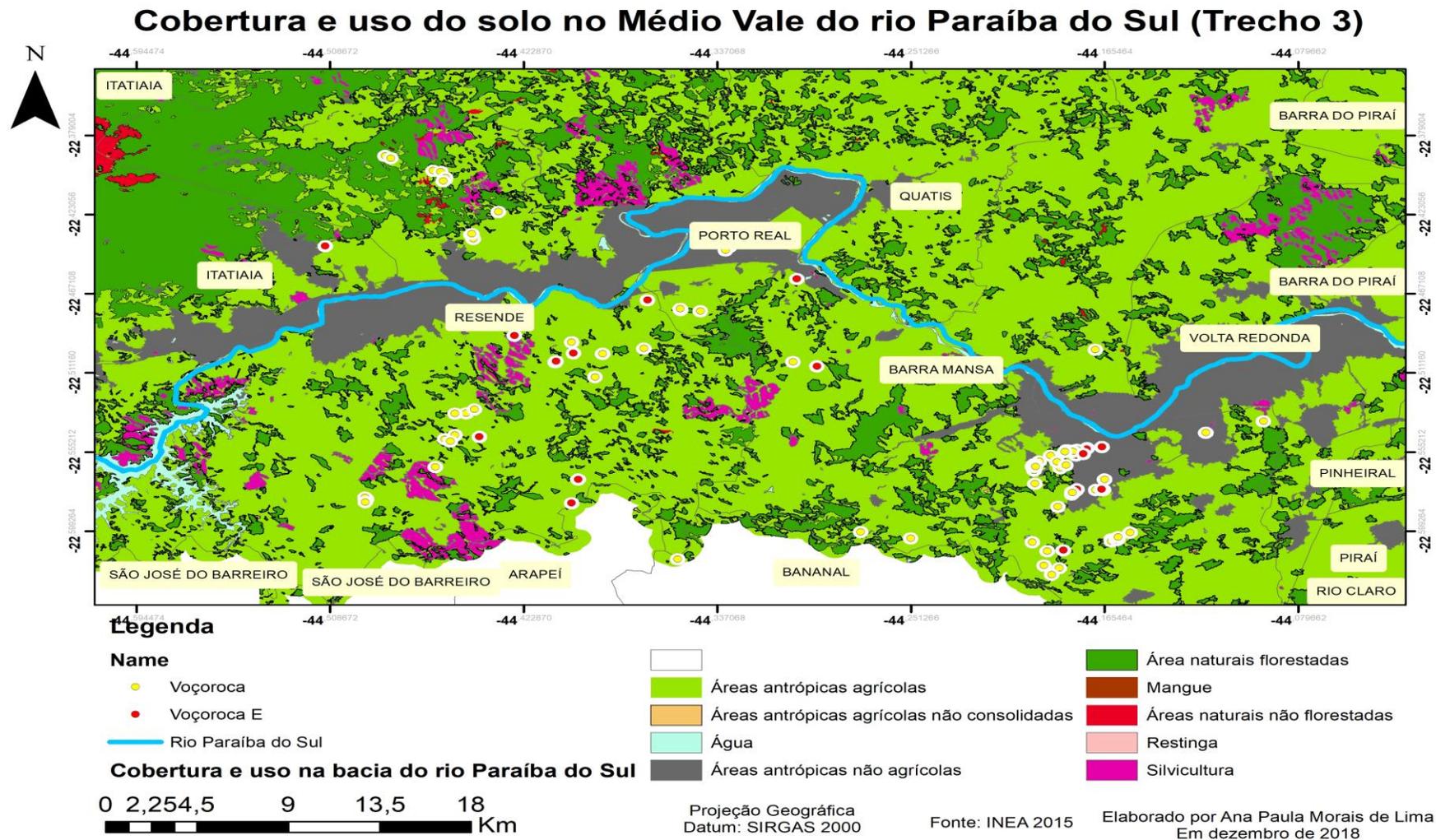


Figura 42: Mapa de voçorocas e Cobertura e uso no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (Trecho 3).

Em síntese, na análise do mapa de cobertura e uso do solo em associação a distribuição das voçorocas identificamos um padrão heterogêneo, não acompanhando o uso do solo que, por sua vez, homogeneiza a paisagem em uma matriz de pastagens salpicadas de fragmentos florestais remanescentes de Mata Atlântica.

6.5. O papel da geologia na distribuição de voçorocas

Na figura 43, em Barra do Pirai, podemos observar diferentes compartimentos do relevo, sendo eles o domínio colinoso e o compartimento montanhoso no fundo da imagem (indicado pela seta amarela). O compartimento colinoso se encontra mais degradado, sendo composto por metassedimentos do grupo Paraíba do Sul, e o compartimento montanhoso, parte do complexo Quirino, apresentando estrutura mais elevada.



Figura 43: Compartimentos do relevo em Barra do Pirai-RJ.

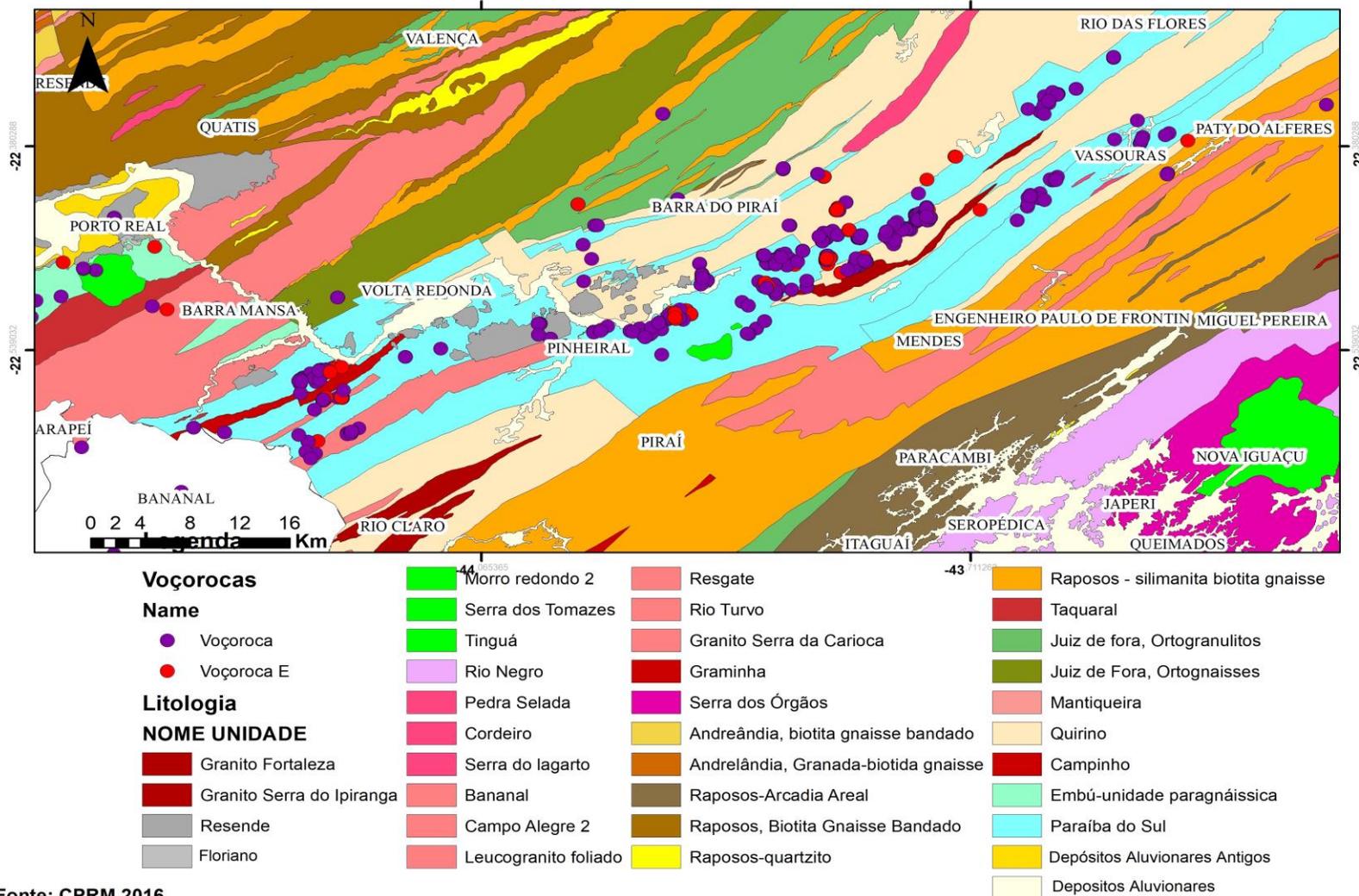
No mapa abaixo (Figura 44) pode-se identificar como se dá a distribuição de voçorocas nos diferentes tipos de unidades litológicas que formam o Médio Vale

do rio Paraíba do Sul. Há uma intensa aglomeração de voçorocas na unidade litológica metassedimentar do grupo Paraíba do Sul (domínio colinoso na imagem acima) e outros poucos pontos de ocorrência nas unidades litológicas Quirino, Raposos, Embú, Resende e Raposos Árcadia areal.

A grande concentração de voçorocas na unidade litológica Paraíba do Sul pode ser explicada pela composição litológica que é menos resistente ao processo erosivo. A unidade Paraíba do Sul é composta por granada gnaiss, gnaiss milonítico e metamarga e anfibólito, mármore e quartzito . O gnaiss é uma rocha metamórfica constituída por camadas claras e escuras, cujos principais minerais são o quartzo e feldspato. Outros minerais podem compor o gnaiss, como a granada e a biotita, por exemplo. A granada é um dos principais minerais visíveis a olho nu, comum em rochas metamórficas e sua coloração varia entre vermelho e roxo. Já a classificação “milonítico” diz respeito a estrutura da rocha que apresenta fortes foliações e deformações, indicando intensa compressão no processo de sua formação. O mármore, por sua vez, é uma rocha formada por carbonato de cálcio metamorfizado e recristalizado, garantindo fragilidade em relação ao intemperismo, porém ocorrem em forma de lentes no grupo Paraíba do Sul, restringindo suas áreas de ocorrência. O anfibólito é uma rocha metamórfica onde predomina o anfibólio, associado a feldspatos, podendo possuir quartzo em sua composição (Guerra, 1993).

As rochas do grupo Paraíba do Sul possuem mergulhos suaves com direção NE-SW, apresentando contatos entre o Complexo Quirino e Grupo Paraíba do Sul (Sarti, 2008).

Voçorocas nas unidades litológicas do Médio Vale do rio Paraíba do Sul



Fonte: CPRM 2016

Figura 44: Mapa de Unidades litológicas relacionado a distribuição de voçorocas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul.

Já o Complexo Quirino é formado por granodioritos, quartzo dioritos e granitos metamorfizados. Machado (2010, p.7) afirma que “ o Complexo Quirino é o embasamento retrabalhado do Terreno Paraíba do Sul”, sendo formado por extensos corpos de Ortognaisses foliados a homogêneos, leuco a mesocráticos e de granulometria média a grossa”. Estas rochas são relativamente mais resistentes que as do grupo Paraíba do sul. Neste sentido, as rochas do grupo Paraíba do Sul, além de disponibilizar material friável para os solos residuais ou mantos de intemperismo, permitiu o entalhe preferencial da calha do próprio Rio Paraíba do Sul ao longo do seu *strike* de orientação nordeste. Naturalmente, o entalhe provocado pela dissecação do rio Paraíba do Sul, ao longo de seu processo de evolução, é responsável pelos pulsos erosivos de rebaixamento de níveis de base que se expandem pelas redes de drenagem afluentes. Por consequência destas duas características, ser mais friável sob alteração e estar próxima ao pulso erosivo dos rebaixamentos de níveis de base da própria calha principal, as voçorocas concentram-se nesta unidade geológica.

Desta forma, o intenso processo de voçorocamento que ocorre na unidade Paraíba do Sul, pode estar associado a susceptibilidade erosiva desse terreno. Em contrapartida, a unidade Quirino, com material que apresenta menor susceptibilidade erosiva, tem apenas alguns pontos de ocorrência de voçorocamento. Estes fatores litológicos se mostram intensamente relacionados a distribuição espacial de voçorocas, diferente da cobertura e uso do solo que não acompanham essa espacialização.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de voçorocamento apresenta grande relevância na evolução geomorfológica da paisagem do Médio vale do rio Paraíba do Sul. A ocorrência de um grande número de voçorocas ativas indica onde o pulso erosivo está atuante no processo de evolução de vertentes em longo tempo. Percebe-se, pelas imagens de satélite, que as áreas do entorno de Três Rios apresentam muitas concavidades cobertas por vegetação com aspecto de voçorocas estabilizadas e poucas voçorocas ativas, ou seja, uma paisagem com o pulso erosivo estabilizado. Como o pulso erosivo é remontante, ele ainda está ativo nas áreas acima de Três Rios, como Barra do Piraí e Barra Mansa, locais onde o processo de voçorocamento ocorre de forma intensa. Desta forma, a intensidade do processo de voçorocamento pode atuar como indicador da presença de um pulso erosivo que está transformando a paisagem até o seu limite.

De acordo com os dados cruzados nos mapeamentos, observamos que as voçorocas plotadas ocorrem, sobretudo, entre 300 e 600 metros de altitude. Essa concentração de voçorocas próximas a calha principal do rio Paraíba do Sul reforça o papel do rio como nível de base regional, ao qual toda paisagem de entorno tende a se reajustar. Ressalta-se também que essa propagação de voçorocas como resultado do pulso erosivo remontante do Atlântico, acontece de forma gradativa nos gradientes laterais do rio, de forma que está desgastando os compartimentos mais baixos até atingir os mais elevados.

No que tange à declividade, as voçorocas se concentram entre 0° e 45°. A concentração de voçorocas nesses graus de declividade, pode ser explicada devido a relação entre o grau de declividade e a capacidade de retenção hídrica em subsolo. Quanto mais íngremes forem as encostas, maior é a velocidade do escoamento superficial e menor o tempo de retenção hídrica em subsolo. Como o processo de voçorocamento é deflagrado, em grande parte, devido a erosão em subsolo, as áreas muito íngremes, na área de estudo, não apresentam esse processo erosivo.

Quanto ao uso do solo, observamos que as voçorocas se distribuem de forma diferencial em áreas sob a mesma cobertura e uso do solo, ou seja, não acompanham indiscriminadamente esses padrões. Quanto ao uso pretérito do solo, as áreas que mais produziram café no século XIX no Médio Vale do rio Paraíba do Sul foram,

Vassouras (RJ), Valença (RJ), Bananal (SP) e Arapeí (SP). Esses locais apresentam um pequeno número de voçorocamento se comparado a Barra do Piraí e Barra Mansa, onde o processo de voçorocamento ocorre de forma intensa.

A relação entre a distribuição espacial de voçorocas e as unidades geológicas que compõem o terreno evidencia que os pontos de concentração de voçorocas acompanham diretamente a unidade litológica do grupo Paraíba do Sul. Fora dessa unidade litológica o processo de voçorocamento é pontual e disperso, podendo estar sendo controlado por outros fatores de maior peso em escala local. Desta forma, observamos que o fator de maior influência na distribuição diferencial de voçorocas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul é a composição litológica.

Observa-se também que as orientações predominantes dos eixos de voçorocas são concordantes com as principais direções (NE/NW) estruturais de fraturas, falhas e foliações locais. De fato, o material de composição da unidade Paraíba do Sul garante a facilidade na instalação dos processos erosivos incisivos, bem como do processo de incisão do próprio rio Paraíba do Sul no contínuo rebaixamento de nível de base de sua calha principal, que, por sua vez, reverbera como pulso erosivo para as bacias afluentes.

A abertura do Oceano Atlântico representou um gigantesco rebaixamento de nível de base, gerando reajustes erosivos em todas as bacias brasileiras, e entre elas a do rio Paraíba do Sul. Como parte desses ajustes erosivos ao novo nível de base, diversos processos de capturas de drenagem e voçorocamentos são deflagrados. Esse trabalho erosivo que perdura até hoje, é aqui chamado de “Pulso erosivo do Atlântico”, se tratando de um pulso remontante. Na paisagem do Vale do rio Paraíba do Sul é possível identificar, sobretudo pelas feições de voçorocas e seu estágio de desenvolvimento, os pontos onde o pulso erosivo se encontra ativo e onde ele se encontra estabilizado. As áreas com muitas voçorocas ativas indicam o pulso erosivo ativo, desgastando a paisagem (como em Barra do Piraí, por exemplo). Já as áreas com muitas voçorocas estabilizadas, totalmente cobertas por vegetação indicam a estabilização desse pulso nessas áreas. Há também as áreas onde o pulso não alcançou e tende a alcançar com a deflagração de processos erosivos no decorrer do tempo.

Diante do exposto, os três grandes fatores associados ao processo de voçorocamento e sua distribuição espacial no Médio Vale do rio Paraíba do Sul são: o nível de base, a litologia local e o pulso erosivo do Atlântico. O nível de base atua como fator que impulsiona o ajuste da paisagem ao seu redor até o seu limite, no caso do médio vale do Paraíba do Sul há a influência do nível de base regional, a calha do rio Paraíba, e a influência dos níveis de base locais nas bacias ligadas a canais de outras ordens, não abordadas neste estudo. Já a litologia atua como uma espécie de controle estrutural que proporciona processos erosivos diferenciais, dependendo do tipo de material e a presença de falhas e fraturas. É interessante ressaltar que a unidade Paraíba do Sul acompanha a calha do rio Paraíba do Sul, de forma que litologia e nível de base estão grandemente associados a ocorrência de voçorocas nesta região. Por fim, há a influência do pulso erosivo do Atlântico, proveniente da abertura do oceano Atlântico, apresentando suas reverberações até os dias de hoje.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Programa Produtor de água: Manual Operativo**. Brasília: ANA- SUM, 2009. 67p.

AGEVAP. Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e planos de ação de recursos hídricos das bacias afluentes- Resumo. 2014. 194p.

AHNERT, F. **Introduction to Geomorphology**. Londres,1998. 352 p.

AMEIDA, F. F. M. et al.. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande,1977. 28p.

ALMEIDA, J.C.H. et al. Perfil litoestrutural na região de Bananal - Arapeí, vertente norte da Serra da Bocaina (SP). In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 1, 1989, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro:SBG/RJ-SP, 1989. 2p.

AVELAR, A. S. COELHOR NETTO, A. L. Fraturas e desenvolvimento de unidades geomorfológicas côncavas no médio vale do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**, v.22, n.2, p.222-227, Jun.1992.

AVELAR, A.S. COELHO NETTO, A.L. (1992b) Fluxos d'água subsuperficiais associados a origem das formas côncavas do relevo. In: Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas /COBRAE, 2, 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro:ABMS e SBGE, 1992 (b).11p..

BISHOP, P. **Drainage rearrangement by river capture**: beheading and diversion.Progress. In: **PhysicalGeography**, v.19, n.4, p.449-473, Dez.1995.

BRASIL, L. QUINTEIRO, M. PENNA FIRME, R. **Transição da Paisagem no Vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP): história ambiental do café a pecuária**. In:OLIVEIRA, R.R. RUÍZ, A. E. L (Orgs.). **Geografia histórica do café no Vale do Paraíba do Sul**. 1.ed. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2018. Cap.8, p.144-164.

CABRAL, D.C. '**O Brasil é um grande formigueiro**': território, ecologia e a história ambiental da América portuguesa, parte 1. **História Ambiental Latinoamericana y Caribeña** (HALAC), v. 3, n.2, p. 467-489, mar. 2014.

CAMBRA, M.F.E.S. **Movimentos de água na porção superior de solos sob pastagem: o papel do sistema radicular**. 1998. 144f. Dissertação (Mestrado em Geografia)- Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CASTANHEIRA, M.V.S.; FREITAS, M.M.; COUTO, D.L.N. “Rebaixamento de nível de base regional do médio vale do rio Paraíba do Sul e evidências dos processos de captura de drenagem”. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 11, 2005, São Paulo..**Anais...**São Paulo, 2005, p..3366-3373.

CASTANHEIRA, M. V. S.; FREITAS, M. M. & SARTI, T. P. Evolução da rede de drenagem controlada por nível de base regional e evidências do processo de captura fluvial no médio vale do rio Paraíba do Sul. Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional ,6, 2006, Goiás. **Anais...** Goiás: UFG, 2006, , 10p..

CASTILLO, C. GÓMEZ, J. A. **A century of Gully Erosion research: urgency, complexity and study approaches**. **Earth Science Reviews**, v.160, n.1, p.300-319, jul. 2016.

CHORLEY, R.J. SCHUMM, S. A. SUGDEN, D. E. **Geomorphology**. London: Methuen, 1984. 605p. ISBN 0416325904-9780416325904.

COELHO NETTO, A. L. Overlandflow production in a tropical rainforest catchment: the role of the little cover. **CATENA**, v. 14, n°3, p. 213-231, 1987.

COELHO NETTO, A. L. FERBNANDES, N. F. DEUS, C. E. Gulling in the Southeastern Brazilian Plateau, SP. **Hydrological Sciences Journal**, n° 1992, p. 174-182, 1988.

COELHO NETTO, A. L. **Catastrophic landscape evolution in a humid region (SE Brasil): inheritances from tectonic, climatic and land use induced changes**. **International Conference on Geomorphology** , 4, 1999, Italia. **Anais... Italia**, 1999.

COELHO NETTO, A. L. Evolução de cabeceiras de drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.4, n° 2, p.69-100, 2003.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. CUNHA. S. (Org.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 10 ed, Rio de Janeiro: Bertrand Basil, 2011. Cap. 3, p. 93-121.

COELHO NETTO, A.L. FERNANDES, N.F. Hillslope erosion-sedimentation and relief inversions in SE Brazil: Bananal,SP. **International Association of Hydrological Sciences**. 1990. p. 174-182.

COPPETEC. **Plano de Recursos Hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul- resumo:** diagnóstico dos recursos hídricos- relatório parcial. Rio de Janeiro: COPPETEC, 2006. 201p.

CHEREM, L. F. S. et al. Long-term evolution of denudation alescarpments in southeastern Brazil. **Geomorphology**. v. 173, n.-4. p. 118-27, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. Capturas fluviais. **Enciclopédia Mirador Internacional**. São Paulo, vol. 5, p. 2.049-2.051. 1975.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia Fluvial:** o canal fluvial. São Paulo: Edgard Blucher, v.01, 1981. 314p.

DANTAS, M.E. COELHO NETTO, A.L. **Morfologia dos fundos de vale da bacia do rio Bananal (RJ/SP):** médio vale do rio Paraíba do Sul. Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, 4, 1991, Porto Alegre/RS. **Anais...** Porto Alegre/RS, 1991. p. 113-120.

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

DANTAS, M. E. et al. . Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica. **Terrae Didática**. v.11, n.1,p.04-13, 2015.

DANTAS, M. E. COELHO NETTO, A. L. **A denudação antropogênica da paisagem:** processos erosivos deposicionais no Médio Vale do rio Paraíba do Sul. In. OLIVEIRAS, R. R. RUÍZ, A. E. L. **Geografia Histórica do café no Vale do Paraíba do Sul**. Rio de Janeiro: PUC-RIO, 2018. cap.3, pp.77-98.

DEAN, W. **A Ferro e Fogo:** A história da devastação da Mata Atlântica Brasileira. São Paulo: Companhia das Letras,1996. 426p.

DEMANBORO, A. C. Gestão Ambiental e Sustentabilidade na Macrometrópole Paulista- Bacia do rio Paraíba do Sul. **Sociedade e Natureza**,Uberlândia, v.27, n.3, p.515-530, set/2015.

Deus, E. **O papel da escavação das formigas do gênero Atta na hidrologia de encostas e áreas de pastagem** – Bananal (SP). 1991.135f. Dissertação (Mestrado em Geografia)- Programa de Pós Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro..

DEVIDE, A. C. P. **História Ambiental do vale do Paraíba**. 2013.22f. Qualificação (Doutorado em Fitotecnia)- Programa de Pós Graduação em Agroecologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DUNNE, T. BLACK, R. D. An experimental investigation of runoff processes in permeable soils. **Water Research**, v. 6, p.478-490, 1970.

DUNNE, T. Sediment yield and land use in tropical catchments. **Journal of Hydrology**, v.42,p.281—300, 1979.

DUNNE, T. Formation and Controls of channels network. Reports on **Progress in Physics**, v.4, p.211-239, 1980.

DUNNE, T. Hydrology, mechanics, and geomorphic implications of erosion by subsurface flow. In: Higin. C. G. Coates, D.R.. **Groundwater Geomorphology**. Geological Society of America Special Paper, v. 252, . p.1-28,1990.

FREITAS, M. M. A Evolução da Paisagem Geomorfológica. In: RUA, J. (Org.).**Paisagem, espaço e sustentabilidades: uma perspectiva multidimensional da Geografia**. Rio de Janeiro, Ed. PUC-Rio, 2007.

FERNANDES, N. F.1990. 151f. **Hidrologia subsuperficial e propriedades físico-mecânicas dos Complexos de Rampa - Bananal (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geografia)- Instituto de Geociencias, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro..

FERNANDES, N. F. COELHO NETTO, A. L. LACERDA, W. A. **Subsurface hydrology of layered collvium mantle in unchanneled valleys: southeastern Brasil**. **Earth Surface Process and Landforms**, vol. 19, p.609-626, 1994.

GEOHECO / Laboratório de Geohidroecologia. Reabilitação de áreas degradadas para a ampliação das coberturas florestais de mata atlântica na região da Serra da Bocaina. Relatório técnico parcial do projeto.1998.

GILBERT, G.K. **Report on the geology of the Henry Mountains**. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1877.

GUERRA, A. J. T. **Dicionário Geológico Geomorfológico**. 8ªEd. Rio de Janeiro: IGBE, 1993.

GUERRA, A. J. T. BOTELHO, R.G.M. Erosão dos Solos. In: GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. (Orgs.).**Geomorfologia do Brasil**. 4ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In. GUERRA, A. J. T. CUNHA. S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 10^oed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

HASUI, Y. et al. **Geologia, tectônica geomorfologia e sismologia regionais de interesse às usinas nucleares da praia de Itaorna**. (Monografias do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; 7), São Paulo, 1982. 149p.

Heilbron, M. . **Evolução tectono-metamórfica da seção Bom Jardim de Minas (MG) - Barra do Piraí (RJ)- Setor Central da Faixa Ribeira**. 1993. 268f. Tese (Doutorado em Geografia)- Instituto Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo,

HEILBRON, M. et al. A orogênese brasileira no segmento central da faixa Ribeira, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, . p. 249-266, 1995b.

HEILMBROM, M. et al. Nota explicativa das folhas: Santa Rita do Jacutinga, Barra do Piraí, Volta Redonda e Angra dos Reis. Rio de Janeiro/ Minas Gerais: UERJ/CPRM, 2007.

HIGGINS, C. G. Drainage systems developed by sapping on Earth and Mars. **Geology**, v. 10, p. 147-152, 1982.

INEA. Uso e cobertura do Solo na bacia do rio Paraíba do Sul. Disponível em : <<https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=00cc256c620a4393b3d04d2c34acd9ed>> Acesso em 20.Mai.2018.

KARMANN, I. Água: ciclo e ação geológica. In. TEIXEIRA, W. FAIRCHILD, T. R. TOLLEDO, C. M. TAIOLI, F. **Decifrando a terra**. 2^oed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p.186-209.

LEÃO, O. M. R. et al. Condicionantes geo- hidrogeológicos de voçorocamento em cabeceiras de drenagem, Bananal-SP. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 10, 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro. 2003.

LEAL, P. J. V. **Crescimento de redes de canais e pirataria de água subterrânea em vales de cabeceiras de drenagem**. 2009. 213f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

LEITE, A. F. **Hidrogeoquímica e intemperismo na bacia do rio Bananal (SP/RJ)**. 2006. 150f. Tese (Doutorado em Geografia)- Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em : <<http://objdig.ufrj.br/16/teses/680819.pdf>> Acesso em 12. fev.2019.

LOPES, E.S. et al. Condicionantes lito-estruturais no desenvolvimento da rede de drenagem: Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Simpósio de Geologia do Sudeste, 1, 1989, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro, 1989, 2p.

MACHADO, P. L. O. A. MADARI, B. E. BALBINO, L. C. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais – Panorama Brasil. In: PRADO, R. B. TURETTA, A. P. D. ANDRADE, A. G. (Orgs). **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p.41-52.

MARCHIORO, E. et al. Voçorocas no Brasil: Aspectos conceituais, dimensionais e metodológicos. **Simpósio Nacional de Geomorfologia, 11, 2016, Maringá. Anais...Maringá/PR, 2016, 11p.**

MARTINS, F. A. **Agricultura Urbana nos Municípios de Pirai, Barra do Pirai e Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro**. 2014. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências)- Pós Graduação em Ciências ambientais e florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

MEIS, M.R.M.MOURA, J.R.S. Upper quaternary sedimentation and hillslope evolution. **American Journal of Science**. v. 284, p.241-254, 1984.

MEIS, M. R. M. COELHO NETTO, A. L. MOURA, J. S. As discontinuidades nas formações colúvias como condicionantes dos processos hidrológicos e da erosão linear acelerada. Simpósio Nacional Controle da Erosão, 3, 1985, Maringá. Anais... Maringá/ PR: ABG, 1985, v1., p.179-195.

MIOTO, J. A. **Sismicidade e Zonas Sismogências do Brasil**. 1993. . Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

MORGAN, R.P.C. Soil erosion and conservation. Longman Group: Inglaterra.1986. 298p.

MOURA, J.R.S. MELLO, C.L. Classificação aloestratigráfica do Quaternário superior na região de Bananal (SP/RJ). **Revista brasileira de Geociências**. v. 21, n. 3, p. 236-254, 1991.

MOURA, J.R.S. SILVA, T.M. Complexos de rampas de colúvio. In: CUNHA, S.B.C.GUERRA, A.T. (Orgs). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1998. Capítulo 4, p. 143-180.

MOURA, J. R. S. Geomorfologia do quaternário. In: GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p.335-364.

OLIVEIRA, M.A.T. MEIS, M.R.M. Relações entre a geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada, Bananal, SP. **Geociências**, São Paulo, 4, .p. 87-99, 1985.

OLIVEIRA, D. Capturas fluviais como evidências da evolução do relevo: Uma revisão bibliográfica. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 20, p.37-50, abr.2010.

Pinto, R. W. P. **Evolução da paisagem geomorfológica do Rio Grande: dinâmicas de dissecação e capturas de drenagem**. 2015. 155f. Dissertação (mestrado em Geografia)– Departamento de Geografia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

POWELL, J. W. **Exploration of the Colorado River and its canyons**. Nova York: Dover Publications, 1875. 400p.

ROCHA LEÃO, O.M. **Evolução regressiva da rede de canais por fluxos de água subterrânea em cabeceiras de drenagem: bases geo-hidroecológicas para recuperação de áreas degradadas com controle de erosão**. 2005. 247f. Tese (doutorado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RICCOMINI, C. et al. Captura das Cabeceiras do Rio Tietê pelo Rio Paraíba do Sul. In: MONDENSEIGAUTTIERI, M. C.; BARTORELLI, A. CARNEIRO, C. R. LISBOA, M. B. A. L. **A Obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-BALL edições, 2010.

RUIZ, A. E. L. et al. Cenários do Passado no Vale do rio Paraíba do Sul. In. RUIZ, A. E. L. OLIVEIRA, R. R. (Orgs.). **Geografia Histórica do café no vale do Paraíba do Sul**. 2018. pp.28-50.

SAMPAIO, R. F. MANCINI, M. C. Estudos de Revisão Sistemática: um guia para a síntese criteriosa da evidência científica. **Revista brasileira fisioterapia**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan./fev. 2007.

SANTOS, D.G. DOMINGUES, A.F. GISLER, C. V. T. **Gestão de recursos hídricos na agricultura: O Programa Produtor de Água**. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P.; ANDRADE, A. G. (Orgs). **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**. Embrapa Solos: Rio de Janeiro, pp. 353-376.

SÃO PAULO. Secretaria de energia e saneamento. Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientação para o controle de boçorocas urbanas. 2ed. São Paulo: DAEE/IPT, 1990.92p.

SARTI, T. P. **Condicionantes litológicos e estruturais na evolução da rede de drenagem, Sapucaia-RJ, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul**. 2008. 91f.

Dissertação (Mestrado em Geologia)- Programa de Pós graduação em Análise de bacias e faixas móveis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SCHUMM, S. A. BOYD, K. F. WOLFF, C. G. SPITZ, W. J. A groundwater sapping landscape in the Florida Panhandle. **Geomorphology**, v.12,. p. 281-297, 1995.

SCHWARZ, R. A. **Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na região das missões- RS.** 1997. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo)- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS

SELBY, M .J. **Hillslope materials and processes.** Oxford University Press:Oxford, 1982. 264p.

SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. A degradação dos solos no estado do Rio de Janeiro. In. GUERRA, A. J. T. JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Degradação dos solos no Brasil.** 1ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p.261-292.

SILVA, T. M. SANTOS, B. P. Sistemas de drenagem e evolução da paisagem. Disponível em: <http://132.248.9.34/hevila/Revistageograficaacademica/2010/vol4/no1/1.pdf>> Acesso em 10.Jun.2018.

SOUZA, R. A. et al. A ocorrências dos kickpoints e sua relação com a litoestrutura do substrato geológico na evolução da rede de drenagem no Médio Vale do Paraíba do Sul. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 17, v.1, 2017, Maringá. **Anais...** Maringá/PR, 2017, Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2345>> Acesso em 20. Abr.2018.

TOMÁZ, P. Noções de Hidrogeologia. (2011). Disponível em: < http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo02_nocoese_hidrogeologia.pdf> Acesso em 12. Ago.2018.

TUPINAMBÁ, M. et al. Geologia da faixa ribeira setentrional: estado da arte e conexões com a faixa Araçuaí. **GEONOMOS**, v. 15, n.1, p.67 - 79, 2007.

UNESP. 1999. Informações disponíveis em : <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter08b.html>> Acesso em 20.jan.2019.

VALADARES, Claudia et al http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/pgb/rel_plgb_tresrios.pdf

VIERO, A. C. **Análise da Geologia, geomorfologia e solos no processo de erosão por voçorocas: bacia do Taboão,** RS. 2004. 124f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e saneamento ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VITERRINI, S. The effects of soil erosion in na experimental station in the Pliocene clay of the Val d'Era (Tuscany) and its influence on the evolution of the slopes. **Acta Geographica Debrecina**, v.10, p.71-81, 1972.

WITHERS, B. VIPOND, S. Irrigation: design and practice. Inglaterra: Batsford, 1974.