

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Análise das precipitações intensas na bacia do rio Paraíba do Sul, correlacionando-as
com as variabilidades climáticas e suas geoesculturas

São Paulo
2017
Vinicius Ramos

Análise das precipitações intensas na bacia do rio Paraíba do Sul, correlacionando-as
com as variabilidades climáticas e suas geoesculturas

Dissertação apresentada ao Departamento
de Geografia da Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Bacharel em Geografia
Orientador: Prof. Dr. Luis Bittar Venturi

São Paulo
2017

Catálogo na Publicação

Serviço de Biblioteca e Documentação

- | | |
|------|--|
| AAAA | <p>Ramos, Vinicius</p> <p>Análise das precipitações intensas na bacia do rio Paraíba do Sul, correlacionando-as com as variabilidades climáticas e suas geoesculturas / Vinicius Ramos ; orientador Luis Bittar Venturi. – São Paulo, 2017. XXX f. Dissertação (graduação) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.</p> <p>1. Precipitação intensa. 2. Rio Paraíba do Sul. 3. Variabilidade climática. 4. Geoescultura. I. Venturi, Luis Bittar, orient. II. Título.</p> |
|------|--|

Vinicius Ramos

Análise das precipitações intensas na bacia do rio Paraíba do Sul, correlacionando-as com as variabilidades climáticas e suas geoesculturas

Dissertação apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia

Aprovado em ____/____/____
Banca examinadora

Prof. Dr. Luis Bittar Venturi (Orientador)
Instituição: Universidade de São Paulo – USP

Assinatura: _____

Prof. Dr. Emerson Galvani
Instituição: Universidade de São Paulo – USP

Assinatura: _____

Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross
Instituição: Universidade de São Paulo – USP

Assinatura: _____

Dedicatória

Dedico a Deus e minha protetora que me auxilia nos embates da vida, Santa Joana D'arc. A Eurípede Barsanufo, que me orientou em adquirir todo o conhecimento que eu deseje, mesmo sendo em áreas distintas.

Homenageio e tenho enorme respeito a todos os meus mestres e professores que tive ao longo de minha vida, pois sem eles nunca teria chegado ao meu objetivo.

A minha mãe que infelizmente não está mais comigo em carne, mas que sempre me impulsionou e enalteceu desde criança quanto aos meus estudos e conquistas.

Dedico a minha nobre esposa, companheira e sobre tudo amiga de caminhada, por ter servido paciente e ouvinte em todas minhas conversas sobre geograficidade, paisagem, geomorfologia e geopolítica, mesmo sabendo que nem sempre lhe agradava (e convenhamos que realmente sou tagarela, como todo bom geógrafo).

Não poderia esquecer-se de minha tia, que na minha infância quando ela ouviu pela primeira vez que eu queria ser cientista, incentivou-me nas eternas leituras de enciclopédias e outros livros.

“Do rio que tudo arrasta, diz-se que é violento.
Mas ninguém chama violentas às margens que
o comprimem.”

Bertolt Brecht

Resumo

RAMOS, Vinicius. **Análise das precipitações Intensas na Bacia do Rio Paraíba do Sul, correlacionando-as com as variabilidades climáticas e suas geoesculturas.** 2017. Trabalho de Graduação Individual – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2017.

Este trabalho tem a intenção de analisar as tendências sistemáticas detectadas nas series históricas das precipitações intensas na Bacia do Rio Paraíba do Sul desde 1982 até 2015. Esta bacia abrange uma das mais desenvolvidas áreas industriais do País, passando por São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, no qual responde em 10 % do Produto Interno Bruto brasileiro, assumindo assim um destaque impar na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. As águas do Rio Paraíba do Sul abastecem aproximadamente 6,5 milhões de pessoas ao longo do seu curso, apesar de na sua maior parte do percurso também servir como coletor tronco. As precipitações intensas poderiam ter graves consequências sociais e econômicas, já que o volume precipitado em poucas horas pode chegar a 120 mm, causando enchentes, deslizamentos, assoreamentos e outras implicações na infraestrutura das cidades. Entretanto, as precipitações intensas nem sempre estão relacionadas a um regime de chuvas regulares, podendo ocorrer alguns eventos isolados e após isto manter uma estiagem severa. Houve estudos hidrológicos estatísticos anteriores de correlação com séries pluviométricas e fluviométricas a fim de detectar tendências nas vazões; mas não foi feito nada relacionado diretamente as precipitações intensas. O objetivo deste trabalho é analisar a quantidade de eventos, a severidade, sua espacialização e as correlações com as variabilidades climáticas existentes na bacia e suas geoesculturas.

Palavras-chave: precipitação intensa, rio Paraíba do Sul, variabilidade climática, geoesculturas.

Abstract

RAMOS, Vinicius. **Analysis of rainfall intense in the Paraíba do Sul river basin, correlating them with climate variability and its geo-sculptures**. 2017. Individual Graduatim Work – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, University of São Paulo, 2017.

This work intends to analyze the systematic negative trends detected in the historical series of intense rainfall in the Paraíba do Sul River Basin from 1982 to 2015. This basin covers one of the most developed industrial areas of the country, passing through São Paulo, Minas Gerais and Rio de Janeiro, in which represents ten percent of the Brazilian GDP, thus taking an odd highlight in the implementation of the National Water Resources Policy. The Paraíba do Sul River water supply by approximately 6,5 million people over his bed in large to the own that metropolitan areas that surround it, although most of them serving trunk collector. The intense rainfall could have serious social and economic consequences, as the precipitated volume in a few hours can reach 120 mm, causing floods, landslides, silting and other implications for the infrastructure of the cities. However, intense precipitation in not always related to a regular rainfall regime, and some isolated events may occur and after this, a severe dry season. There were previous statistical hydrologic studies of correlation with pluviometric and fluviometric series in order to detect trends in the flows; but it has not done directly related to the heavy rainfall. The objective of this work is to analyze the nubur of events, the severity, its spatialization and correlations with the climatic variabilities existing in the basin and yours geosculptures.

Keywords: intense precipitation, Paraíba do Sul river, climate variability, geo sculptures.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Localização da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Fonte: Produção própria.....	21
FIGURA 2: Circulação das massas de ar.....	20
FIGURA 3: Multivariações do índice de temperatura do Oceano Pacífico.....	23
FIGURA 4: Ambiente Octave utilizado para realizar processo estatístico com linhas de comando adversas	26
FIGURA 5: Inselberg ao lado do Rio Paraíba, próximo ao pluviômetro de Sobragi 02143021. Foto: Vinicius Ramos 26.11.2016.....	30
FIGURA 6: Estratificações provenientes ao metamorfismo de alta pressão e temperatura (cisalhamento) entre a Serra do Mar e Mantiqueira. O Rio Paraíba do Sul percorre esta zona fraturada em grande parte do seu percurso. Foto: Vinicius Ramos 28.11.2016.....	31
FIGURA 7: Rio Paraíba do Sul entre morros da Serra do Mar, nas proximidades do pluviômetro de Volta Redonda. Foto: Vinicius Ramos 05.17.2016.....	32
FIGURA 8: Alto da Serra da Mantiqueira, próximo ao pluviômetro Conceição de Ibitipoca. Nota-se o afloramento de quartzitos (manchas brancas). Foto: Vinicius Ramos 05.17.2016.....	33
FIGURA 9: Paisagem em Queluz. Ao fundo a Serra da Mantiqueira (que está inserido o pluviômetro de estudo Fazenda Agulhas Negra), entre vale o Rio Paraíba do Sul e Rodovia Dutra. Foto: Vinicius Ramos 08.07.2016.....	34
FIGURA 10: Curvas de nível da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Cotas. Fonte: Produção própria.....	40
FIGURA 11: Relevo da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Altitude. Fonte: Produção própria.....	41
FIGURA 12: Pluviômetros trabalhados na Bacia do Rio Paraíba do Sul. Fonte: Produção Própria ...	42
FIGURA 13: Isoietas da média da série histórica pluviométrica (1982 a 2015). Fonte: Produção própria.....	42
FIGURA 14: Isoietas da média da série histórica pluviométrica (1982 a 2015) juntamente com o relevo sombreado. Fonte: Produção Própria	43
FIGURA 15: Subdivisões da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Fonte: Produção Própria	44
FIGURA 16: Distribuição da Vegetação e Ocupação do Solo na bacia (delimitação em branco). Fonte: Produção Própria.....	44
FIGURA 17: Litologia – Tipos de rochas distribuídas pela bacia: Produção Própria	45
FIGURA 18: -Tendências Significativas das Chuvas Extremas (Precipitações Intensas) Fonte: Produção Própria.	46
FIGURA 19: Tendências Significativas dos Extremos Secos (Estiagens Severas) Fonte: Produção Própria	47

FIGURA 20: Tendências Significativas dos Extremos Secos (Estiagens Severas) Fonte: Produção Própria	48
FIGURA 21: Geomorfologia sobreposta com Tendências Mensais. Fonte: Produção Própria	49
FIGURA 22: Geomorfologia sobreposta com Tendências Mensais na Bacia do Pomba. Fonte: Produção	50
FIGURA 23: Pluviômetro de Astolfo Dutra 02142000, envolto aos morros da Serra da Mantiqueira. Foto: Vinicius Ramos – 04.09.2015.....	50
FIGURA 24: Paisagem ao redor do pluviômetro de Tabuleiro - 02143017, caracterizado pelos morros altamente intemperizados e peneplanos. Foto: Vinicius Ramos 09.09.2015.....	51
FIGURA 25: Geomorfologia sobreposta com Tendências Mensais na Bacia do Muriaé. Fonte: Produção Própria.	52
FIGURA 26: Um dos Inselbergs granitóides característicos nas proximidades do pluviômetro de Carangola. Foto Vinicius Ramos 11.09.2015	52
FIGURA 27: Geomorfologia sobreposta com Tendências Mensais no Baixo Paraíba. Fonte: Produção Própria.	53
FIGURA 28: Paisagem nas proximidades do pluviômetro de Vargem Alta, a Serra do Mar e inselbergs graníticos elevados, ambiente propiciam a chuvas orográficas. Foto: Vinicius Ramos 03.05.2016	54
FIGURA 29: Inselbeg isolado nas proximidades do pluviômetro de Bom Jardim. Foto Vinicius Ramos 02.05.201.....	54
FIGURA 30: Inselbegs nas proximidades do pluviômetro de Aldeia. Foto Vinicius Ramos 02.05.2016.....	55
FIGURA 31: Geomorfologia sobreposta com Tendências Mensais no Alto Paraíba. Fonte: Produção Própria.....	56
FIGURA 32: Paisagem vista á caminho do pluviômetro Alto da Serra do Mar. Ao fundo a Serra da Mantiqueira, no fundo do vale se dá o Rio Paraíba do Sul, na Represa do Funil. Foto Vinicius Ramos 07.07.2016.....	56
FIGURA 33: Telemetria no topo da Serra do Mar, próximo aos 1500 metros. Foto Vinicius Ramos 27.04.2016	57
FIGURA 34: Exemplo de Gráfico de quantidade de eventos de chuvas intensas ao longo dos anos. Foram gerados 192 gráficos, três para cada pluviômetro e suas tendências significativas.....	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Dados pluviométricos em milímetros de chuva - código 2143020 - Chapéu D'uvas	25
TABELA 2: Índice Mann Kendall, Significância e Tendência dos Eventos de Extremos Chuvosos ..	35
TABELA 3: Índice Mann Kendall, Significância e Tendência dos Eventos de Extremos Secos.....	36
TABELA 4: – Resultados do teste Mann Kendall para milímetros de chuvas mensais	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

BHRPS – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA

EL – EL NIÑO

ESALQ – ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ

MG – MINAS GERAIS

NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

LN – LA NIÑA

RJ – RIO DE JANEIRO

SP – SÃO PAULO

TSM – TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ZCAS – ZONAS DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL

GLOSSÁRIO

1 - Ossatura geológica: termo este reservado aos dizeres de Nacib Azzis Ab'Sáber quanto as rochas mãe sãs ou não, com maior incidência e que servem de base a estrutura do relevo encontrado em uma paisagem.

2 – Estratificação: separação em camadas ou estratos de qualquer formação natural ou artificial que se encontrava em forma homogênea.

3 – Cisalhamento: fenômeno de fraturação ao qual um corpo está sujeito quando as forças que sobre ele agem provocam um deslocamento em planos diferentes, mantendo o volume constante.

4 – Geodiversidade: natureza abiótica constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, águas, solos, fósseis e outros depósitos superficiais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa.....	13
1.2 Objetivo geral	14
1.3 Objetivo específico	Erro! Indicador não definido.
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 Analisando a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul	18
3.2 Os principais sistemas atmosféricos atuantes	20
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS.....	24
4.1 Coleta de dados e consistência	24
4.2 Definição de precipitações intensas (extremo chuvoso) e extremo seco	26
4.3 Estatística hidrológica	28
4.4 Programação e geoprocessamento	28
4.5 Trabalho de campo e observação, ferramenta imprescindível do geógrafo	30
5. RESULTADOS.....	35
5.1 Análise dos dados, correlacionando com as geoesculturas e as variabilidades climáticas.....	39
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
7. BIBLIOGRAFIA	60

1. INTRODUÇÃO

Na geografia física, na incansável busca da compressão da dinâmica da água, este recurso natural tão importante para os fatores bióticos e abióticos, geraram-se propostas de classifica-la como: água bruta - um recurso durável inesgotável, e água doce – um recurso durável naturalmente reciclável (VENTURI, 2008).

Atualmente, o interesse em entender como o regime de precipitações ocorre em áreas consideradas como estratégicas socioeconomicamente, coincide com o estudo a ser abordado neste trabalho.

A constante expansão urbana e o aumento populacional nas últimas décadas vêm impactando cada vez mais os corpos hídricos, tanto pelo lançamento de dejetos como na diminuição da disponibilidade devido à exploração indiscriminada.

De acordo com o último Censo Demográfico (IBGE, 2010), a população total residente nos municípios que fazem parte da bacia é majoritariamente urbana, seguindo o mesmo padrão de outras regiões brasileiras. Cerca de 6,5 milhões de pessoas vivem na bacia do rio Paraíba do Sul, que abrange 184 municípios, sendo 171 sedes urbanas dentro dos limites desta bacia. O conjunto de municípios mineiros tem a menor proporção de população urbana (88%), seguido pelos conjuntos de municípios paulistas (96%) e fluminenses (97%) (AGEVAP, 2013).

Vale lembrar que normalmente as precipitações na bacia de estudo apresentam uma grande variabilidade ao longo do ano, ou seja, sazonalmente. Entretanto, sendo a região do Vale do Paraíba muito extensa, ocorrem padrões distintos quanto à diversidade de relevo, clima e vegetação.

Historicamente, existem evidências de que precipitações intensas ocasionaram diversos prejuízos sociais e econômicos ao longo da bacia de estudo, resultando em perdas na produção agropecuária, indústria e diversos tipos de transtornos urbanos.

Neste cenário, podemos concluir o grau de importância política e econômica que a bacia do Rio Paraíba do Sul proporciona, no qual o Governo brasileiro tem dado ênfase na recuperação e controle cada vez maior, com diversas estações fluviométricas e pluviométricas, a fim de registrar as tendências não somente das chuvas e vazões, mas também do seu uso e manutenção deste recurso hídrico.

1.1 Justificativa

Conforme estudo referente à espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba por Antunes (2015), este demonstra as tendências nas precipitações

intensas e os números de eventos críticos na série histórica das estações hidrometeorológicas da ANA / CPRM. Além disto, Antunes consegue identificar os possíveis fenômenos responsáveis pela gênese dos eventos e correlaciona-los com as variabilidades climáticas presentes na região do Rio Piracicaba.

Com o intuito de proporcionar estudos de mesma magnitude na Bacia do Paraíba do Sul, este projeto justifica-se devido à severidade que eventos críticos como este possam proporcionar ao ambiente urbano e rural, sendo possível um maior planejamento na gestão territorial de cada município.

A associação dos resultados estatísticos com o relevo e a variabilidade climática dará um importante direcionamento aos efeitos físicos que as precipitações intensas geram no ambiente urbano e rural; podendo servir de ferramenta no planejamento territorial.

Os poucos trabalhos semelhantes no local de estudo nos dá margem para uma análise estatística completa nas precipitações intensas e de suas tendências, com o intuito de utilizar todos os postos pluviométricos ativos e estudar a série histórica ao longo dos anos de 1982 a 2015.

Como se faz evidente ao longo da História, quando eventos de extremos secos e chuvosos ocorrem, desencadeiam muitos transtornos e prejuízos sociais. O presente trabalho teve o foco em identificar quais são as suas causas dos eventos e onde ocorreram; podendo assim auxiliar órgãos responsáveis na tomada de decisões estratégicas.

1.2 Objetivo geral

A proposta deste trabalho foi evidenciar as causas e onde ocorrem as precipitações intensas e extremos secos da bacia do rio Paraíba do Sul e quais as linhas de tendências desses eventos.

Desta forma, esta pesquisa orientou-se pela hipótese de que os eventos extremos seriam influenciados tanto pelas variabilidades climáticas como pelas geoesculturas da bacia.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio Paraíba do Sul possui uma área drenagem de cerca de 55.500 Km², localiza-se na Região Sudeste entre os Estados de São Paulo (13.900 Km²) conhecidos como Vale do Paraíba Paulista, parte do Estado de Minas Gerais (20.700 Km²) denominada Zona da Mata e metade do Estado do Rio de Janeiro (20.900km²).

O Rio Paraíba do Sul, cujo percurso abrange três estados brasileiros, sendo eles São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, é receptor de efluentes e, ao mesmo tempo, utilizado para abastecimento humano e agropecuário. Sua nascente natural inicia-se na Serra da Bocaina, no Estado de São Paulo, a 1800 metros de altitude e deságua no norte fluminense, no município de São Joao da Barra. Entretanto, após intervenção antrópica, considera-se sua nascente após a barragem que forma as Represas do Rio Paraibuna e Paraitinga.

Ao longo do seu curso, o Rio Paraíba do Sul passa entre as Serras do Mar e Mantiqueira recebendo diversas afluições no Vale do Paraíba, percorrendo toda parte do estado do Rio de Janeiro, desaguardo no Oceano Atlântico, com um percurso aproximado de 1.180 km.

A bacia apresenta diversos comportamentos, devido aos variados relevos que ocorrem ao longo do seu curso e ainda aos vários tipos pedogenéticos provenientes de substratos ígneos e metamórficos; ora apresentando um leito argilo-arenoso, somente arenoso, ou ainda de leito rochoso.

Esta bacia tem forma alongada, pois está encaixada no hemi-graben que formou a bacia sedimentar de Taubaté. Com comprimento três vezes maior que sua largura, sendo distribuída na direção sudoeste para nordeste, entremeio as serras do Mar e Mantiqueira, em regiões com relevo ora dissecado, ora suavizados com mamelonizações. A bacia contempla o quarto local mais alto do Brasil, inserida na Serra da Mantiqueira, na parte alta do município de Queluz, denominada como Pedra da Mina, chegando a 2.787 metros de altitude.

Seu percurso pode ser dividido por trechos com características distintas, tanto no relevo como na sua ossatura geológica¹. No curso superior, estende-se de Guararema a 572 metros de altitude, com fortes declives regionais, com extensão média de 317 quilômetros. No seu curso médio, existe uma anomalia da drenagem entre a bacia do Alto Tiete e Médio Paraíba, denominada por Ab'Saber (1957) como “cotovelo de Guararema” invertendo seu sentido de curso em direção leste até Cachoeira Paulista, altitude esta de 515 metros, sendo extremamente sinuoso e meandrante, salientando que

há vários trechos retificados. No seu curso inferior, de Cachoeira Paulista até São Fidelis, ele se estende até a altitude de 20 metros, tendo trechos encachoeirados, leitos rochosos e variando para o arenoso. Muitas toneladas de sedimentos são transportadas anualmente no longo de seu leito.

O clima da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul é caracterizado como subtropical quente, com temperatura média anual oscilando entre 18°C e 24°C. As máximas precipitações ocorrem nas cabeceiras nos pontos mais altos das Serras do Mar e Mantiqueira, chegando a valores de 2250 milímetros ao ano.

O período de verão é caracterizado como chuvoso com precipitação acumulada entre 200 e 250 mm/mês, nos meses com máxima precipitação entre dezembro a fevereiro, enquanto no inverno há intervalos de períodos secos, com precipitações que variam, próximas a 50 mm/mês. A vegetação também é diversa, passando por ambientes de Mata Atlântica e Cerrado Sujo, acompanhando os vários níveis pedológicos e climatológicos, no qual sua área de drenagem esta entre 55.500 km².

A bacia abrange um dos mais desenvolvidos parques industriais do País, que responde por 10 % do PIB nacional, assumindo um papel de destaque em relação a Política Nacional de Recursos Hídricos. Segundo a Agência Nacional de Águas, o vale do Rio Paraíba do Sul revela progressivo processo de industrialização e urbanização, aumentando gradativamente a degradação ambiental.

O intenso uso deste recurso hídrico contribuiu para o aumento da demanda de água e ainda no comprometimento da sua qualidade e quantidade. Segundo o IBGE, suas águas garantem abastecimento direto ou não de aproximadamente 6,5 milhões de pessoas ao longo dos 184 municípios localizados em sua proximidade, além de mais de sete mil indústrias e seis mil produtores agrícolas.

Segue abaixo a Figura 1, demonstrando a localização da área de estudo, suas subdivisões e os pluviômetros que foram trabalhados.

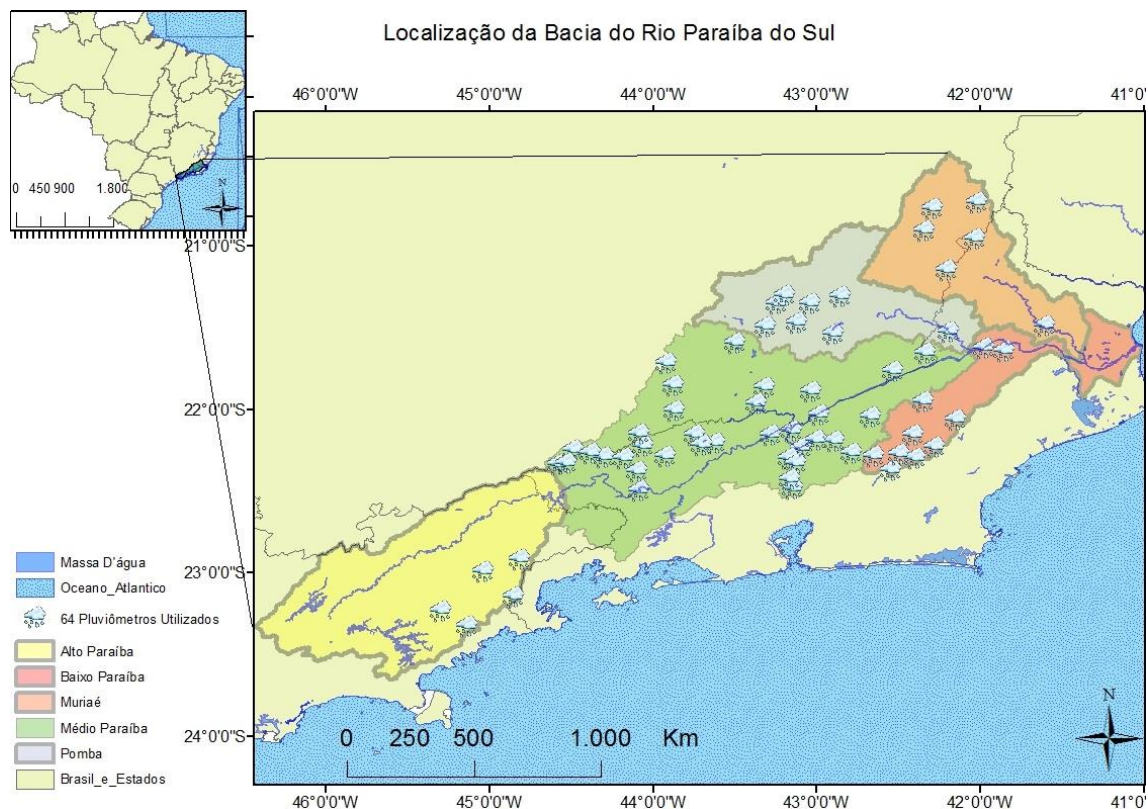


Figura 1: Localização da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Fonte: Produção própria

Grande parte da população e das atividades econômicas na bacia do Paraíba do Sul está concentrada nas formas de uso urbano e industrial. O eixo principal de ocupação e crescimento urbano e industrial é a rodovia Nova Dutra (Rio – São Paulo), ao longo da qual se encontram as principais cidades dos trechos paulista e fluminense. A BR-040 representa outro eixo importante de ocupação, ligando os trechos fluminense e mineiro, e uma densa malha de rodovias estaduais permite acesso fácil às inúmeras cidades da bacia (AGEVAP, 2011).

Entre os afluentes mais importantes do Rio Paraíba do Sul destacam-se na margem esquerda os rios Jaguari, Paraibuna, Pirapetinga, Pomba e Muriaé; na margem direita os rios Bananal, Pirai, Piabanha e Dois Rios. A maioria destes reservatórios apresentam barragens, utilizadas para fins de abastecimento e, principalmente, para geração de energia elétrica, além de servir também de reguladores de vazões no controle de cheias.

Somente considerando o trecho do estado de São Paulo, o aproveitamento energético das represas de Paraibuna, Santa Branca e Jaguari, representa uma geração aproximada de 160 Mega Watts.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com um viés focado na interdisciplinaridade, este presente trabalho baseia-se em autores cuja suas teses envolvem grupos de disciplinas para identificar e explicar paisagens.

Não poderia ser de forma diferente iniciarmos por Alexander von Humboldt, no qual influenciou muitos outros cientistas naturais com sua abordagem holística sobre a natureza. No início do século XIX, Humboldt conseguia observar paisagens e descreve-la como um todo. Ele via a Terra como um organismo vivo, observava o sistema Terra como complexo e entrelaçado “sistema de sistemas”.

Considerado por muitos como pai do ambientalismo, Von Humboldt unia em seus registros a arte com pinturas e afrescos dos locais em que observava, inseria registros meteorológicos, a fauna e flora, assim como a geologia local. Ainda como tudo isto não bastasse, conseguia verificar se outras regiões intercontinentais eram parecidas com o local visitado, podendo assim inferir que mesmo que muito distante estas regiões obtinham alguma interligação presente, passada ou futura.

Fortemente influenciado, Viktor Borisovich Sochava instituiu a teoria do Geossistema, ideia esta que compreende o Planeta Terra e suas interações entre a Litosfera e Atmosfera, nas quais através destas surgem o relevo, o clima, os solos e a vida. Sua teoria consiste em explicar como a superfície terrestre funciona como um todo.

Em escala global, os geossistemas se diferenciam pela própria repartição da crosta continental e crosta oceânica, formando grandes zonas e setores paisagísticos, que abrigam os sistemas morfogenéticos globais e os grandes biomas e conjuntos de solos. Entre os níveis locais e o níveis globais, uma série de níveis se inter-relacionam sendo diferenciados pelas relações entre o relevo, o substrato, os solos que se desenvolveram a partir do mesmo e as comunidades ecológicas e o microclima.

No Brasil, a teoria do geossistema e sua aplicação na geografia física recebe ampla aceitação com diversos geógrafos, como Monteiro, Rodrigues, Chistofolletti, Ross, Corrêa, Cavalcanti, entre outros; sendo amplamente utilizados neste trabalho.

3.1 Analisando a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

De acordo com Rodrigues e Adami (2011) pode se definir bacia hidrográfica em termo simplificado como área drenada por uma rede de cursos fluviais interligados. Mas de maneira mais ampla, define-se como um sistema que compreende um volume de

materiais sólidos e líquidos, próximos a superfície terrestre, delimitados interna e externamente (divisor de águas), com a dinâmica do ciclo hidrológico, interferem no fluxo de matéria e energia de um rio e sua rede de canais fluviais.

A análise do funcionamento de uma bacia hidrográfica esta basicamente na compreensão da dinâmica da água intra-bacia e suas alterações diretas e indiretas. O intemperismo químico propiciado, o transporte de material e a sedimentação estão entre os itens a serem considerados, além de mudanças físicas e bioquímicas.

Conforme Chistofoletti (1981), a geomorfologia fluvial pode ser dividida em dois grandes capítulos. O primeiro esta relacionado aos processos e aos mecanismos observados no canal fluvial, ou seja, no formato do rio propriamente dito e seu curso. O rio torna-se a unidade de referência, na medida em que se identificam os propósitos do escoamento, o seu transporte fluvial de sedimentos e sua característica geométrica ao longo do seu curso.

As formas de relevo originadas em ambientes fluviais englobam os depósitos e as microformas que o rio realiza ora erodindo, ora depositando. As analises contemplam a identificação de encaixe do rio em ambientes de topografia rochosa e também nas formas de relevo das planícies de inundação, com formações de terraços fluviais, deltas e ambientes aluvionares.

O segundo trata-se da rede de canais e das bacias hidrográficas, seus aspectos e os problemas da bacia de drenagem como unidade geomorfológica. Os padrões de drenagem devem ser descritos, relacionadas às morfoestruturas. As características das redes fluviais e a maneira que se encontram conectadas, podendo assim ser visualizada suas tendências, composições e de que modo surgiram seus controles e expansão das redes. Ou seja, analisando a paisagem presente, existe a possibilidade de entender o passado da bacia, como ela funciona atualmente e ainda relaciona-la com um possível futuro (em ordem natural, sem interferências antrópicas).

Para que sejam identificadas as unidades geossistêmicas com o objetivo de compreendê-las e analisá-las, foi necessário um reconhecimento no campo para realizar mapeamentos das sub-bacias da bacia do Rio Paraíba do Sul.

As análises hidrodinâmicas que foram utilizadas neste trabalho compreendem nos dados gerados e na observação de campo, comparando com o relevo encontrado. O regime de chuvas pode ser interferido devido ao padrão de relevo encontrado, criando áreas mais propicias a orografia, outras na dispersão de umidades através de “corredores” formados por algum tipo de obstáculo natural. A definição dos padrões de

relevo baseou-se nas principais feições morfológicas encontradas, quais sejam: as amplitudes, as declividades e as linhas de drenagem.

De acordo com Almeida (1964), a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, abrange 2 importantes geomorfológicas do Estado de São Paulo: Planalto Atlântico e a Província Costeira. O Planalto Atlântico compreende 5 zonas descritas a seguir: Planalto do Paraitinga, Planalto da Bocaina, Médio Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e Planaltos de Campos de Jordão. A província Costeira compreende a zona Serras Costeiras. Os Planaltos proporcionam diversas subdivisões naturais, com diversas feições morfológicas distintas.

Ao longo do canal observou-se diversos padrões de drenagem, ora devido a características geológicas, ora devido a ações antrópicas. O Rio Paraíba do Sul tem padrões meandantes no Alto Paraíba, mudando para anastomosado no Médio Paraíba, intercalado com trechos retilíneos devido aos falhamentos geológicos. No Baixo Paraíba ele volta a ser anastomosado intercalado com padrões meandantes.

3.2 Os principais sistemas atmosféricos atuantes

A bacia do Paraíba do Sul encontra-se em uma área de transição climática, com climas tropicais e subtropicais, podendo assim variar os níveis pluviométricos ao longo do ano e ainda ao longo de uma série histórica.

Em acordo com Monteiro (1973), o clima regional é resultante da interação de três grandes controles atmosféricos:

- A circulação secundária, sob a forma dos frequentes embates entre as três massas de ar mais atuantes (massa tropical atlântica, tropical continental e massa polar atlântica);
- O próprio Oceano Atlântico, sendo matéria prima da umidade disponível;
- O relevo, mais evidente nas Serras do Mar e Mantiqueira, atuante como barreiras de ventos úmidos.

Contextualizando regionalmente na perspectiva da dinâmica da circulação atmosférica predominante na porção sudeste do Brasil, observa-se com mais facilidade na figura 2.

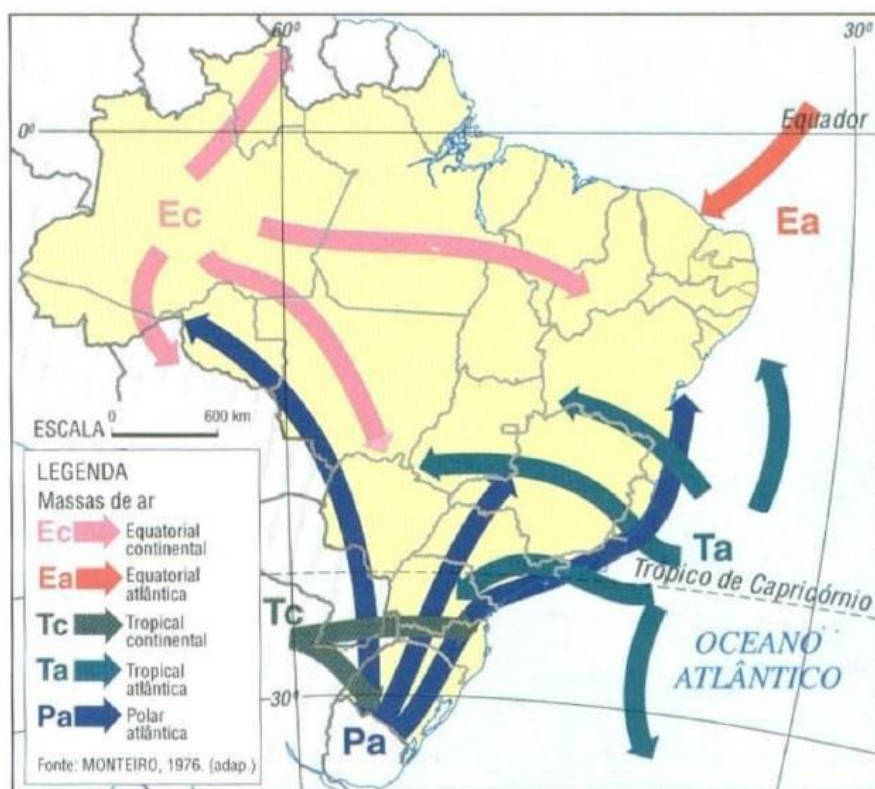


Figura 2: Circulação das massas de ar. Fonte: Monteiro (1973)

Os sistemas atmosféricos atuantes na região são bem marcados em virtude das superfícies nas quais se originam e seus trajetos, com sistemas com características climatológicas distintas.

Monteiro (1973) apresenta e referencia como “massas de ar” os sistemas atuantes como:

- Massa Tropical Atlântica: sistemas tropicais que se originam sobre o Oceano Atlântico e atua durante todo o ano no território do sudeste brasileiro, trazendo instabilidade de tempo no inverno. Devido sua formação ser no Oceano Atlântico, caracteriza-se como sistema atmosférico bastante úmido que traz à porção continental através de ventos predominantes de leste e nordeste;
- Massa Tropical Continental: sistemas originários sobre a porção continental, apresentando temperaturas elevadas, baixa umidade e pressões atmosféricas em ligeiro declínio;
- Massa Equatorial Continental: sua origem se dá na planície Amazônica e apresenta umidade e temperatura elevada, com ventos de noroeste;

- Massa Polar Atlântica: sistema com origem no anticiclone polar Atlântico, apresentando ventos predominantes de sul-sudoeste, temperatura baixas, e associada a uma grande amplitude térmica que favorece a pressão atmosférica mais elevada;
- Frente Polar Atlântica: pode ocorrer ao longo do ano, sendo mais rigorosa no período de inverno, movendo frentes frias na região.

Além desta dinâmica de circulação atmosférica atuante, existem fenômenos que também são condicionantes na dinâmica climatológica, onde se destaca o incremento de umidade do ar e geram instabilidades pluviométricas, causadas pelas Zonas de Convergência.

No Brasil, entre meio a primavera, durante o verão e início do outono, inicia-se um período de intensas precipitações nas quais em sua maioria estão relacionadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), respectivamente.

É sabido que a área de estudo esta inserida na região Sudeste, no qual a ZCAS atua com maior ênfase, e a ZCIT atua sobre o leste da Amazônia e no norte do Nordeste Brasileiro.

Segundo Carvalho, Jones e Liebmann (2002), a ZCAS é o principal fenômeno responsável por formações de chuvas no período primavera-verão na região Sudeste do Brasil.

A principal característica associada à ZCAS está na formação de uma extensa banda de nebulosidade que vai desde a Amazônia e se estende por todo Brasil no sentido noroeste-sudeste até o Oceano Atlântico. Trata-se de uma área convectiva de baixa pressão que persiste por vários dias estacionada sobre as regiões citadas, frequentemente no verão que a Massa Equatorial Continental esta mais atuante e alimenta de umidade toda a extensão dessa zona de instabilidade.

Em acordo com Carvalho, Jones e Liebmann (2002), a atividade convectiva na ZCAS é fundamental para o regime de chuvas na área de estudo, e outros fatores climáticos podem afetar os extremos, como o El Niño e a temperatura no Oceano Atlântico próximo á costa sudeste e ainda a Oscilação Madden Julian (MJO), sendo uma oscilação caracterizada por um deslocamento para leste de uma célula zonal do Pacífico tropical de grande escala termicamente direta, variando na convecção tropical.

Neste trabalho foram analisadas apenas as frequências de El Niño, que serviram de comparação nas linhas de tendências obtidas dos extremos secos e chuvosos (notadamente observa-se no gráfico uma sequência de El Niño forte entre 82/83, 97/98 e 15/16), observadas no controle gráfico oferecido pela NOAA, figura 3.

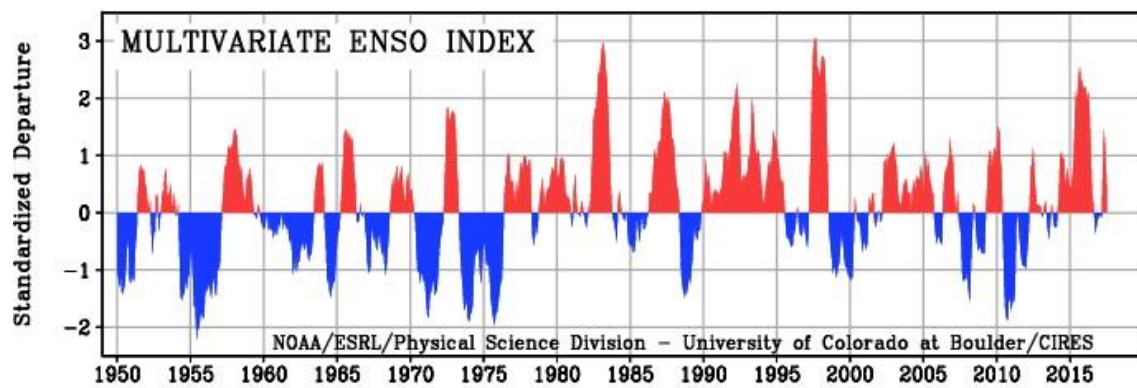


Figura 3: Multivariações do índice de temperatura do Oceano Pacifico Fonte: NOAA

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS

Com uma premissa inicial de que as precipitações intensas se mantêm cíclicas ao longo dos anos, a hipótese que será tratada está na influência da variabilidade climática e do relevo na quantidade e duração destes ciclos.

O método dedutivo foi utilizado considerando que as conclusões impostas estão baseadas na premissa inicial de que as precipitações se mantiveram cíclicas ao longo dos anos. A partir daí, empreendemos a análise evolutiva das precipitações entre 1982 a 2015.

Partindo do instante da definição de comportamento hidrológico da bacia do Rio Paraíba do Sul, foi comparado com o número de eventos das precipitações intensas com os tipos de eventos climáticos da época, facilitando a compreensão dos aspectos específicos e gerais de cada evento crítico, sua intensidade e dinâmica com a geomorfologia local.

Fatores como a Temperatura da Superfície do Oceano Atlântico (TSM), o El Niño (EL) e as Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) estão relacionados com estes eventos, ora sendo intensificados pelo relevo.

A possibilidade de comprovação entre a relação do relevo e precipitação por efeitos orográficos deu-se pela elaboração de mapas temáticos e nas distribuições dos eventos, além das suas respectivas análises.

A bases cartográficas utilizadas foram do IBGE, CPRM e ANA, trabalhadas no software ArcGis 10.1. Através de métodos de interpolação dos dados em ambiente raster – geo campo / geo objeto, foi possível criar isoietas e plotar sobreposições de imagens para melhor compreensão dos eventos.

4.1 Coleta de dados e consistência

Neste estudo foram utilizadas as médias mensais de precipitações que constam no banco da ANA - Hidro, entre o período de 1982 a 2015, levando em consideração que este período histórico é mais completo em dias no ano (Entre 363 a 366 dias anuais).

No Banco de dados da ANA, existem dois dados disponíveis sendo eles:

- Dados brutos (denominados os dados observados e não filtrados pelos técnicos);
- Dados consistidos (dados observados, revisados e corrigidos quando houver divergências/conflitos).

Em primeira instância, no início do trabalho havia a possibilidade de utilizar-se 91 pluviômetros, porém como várias séries estavam incompletas, chegou-se ao número de 64 pluviômetros.

Foram analisados 64 pluviômetros com os dados brutos e consistidos, dando-se preferência aos dados consistidos, sendo eles de maior confiança. No período entre 1982 e 2008 foram usados os dados consistidos. Entre 2009 até 2015 foram utilizados os dados brutos, realizando uma consistência mínima livrando os chamados “erros grosseiros” (erros de digitação, marcação na caderneta erradamente, etc).

Organizando os dados em mdb (modo acess), foram tabelados os dados em milímetros de chuvas totais mensais, de 1982 a 2015, conforme tabela 1 abaixo. Posteriormente utilizou-se nas linhas de comando feitas no software Octave, conforme figura 1.

Tabela 1: Dados pluviométricos em milímetros de chuva - código 2143020 - Chapéu D'uvas

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1982	328.2	152.5	470.4	32.9	11.4	27.7	18.4	22.8	8.3	195.7	185	509.2
1983	545.6	276.1	191	198	145.7	182.3	38.7	0	389.6	94.8	138.6	339.3
1984	281.8	15.4	189.1	44.4	67.9	5.1	9.3	37.4	55.5	101.4	235.2	218.5
1985	574.1	405.3	396.6	50.8	24.6	0	0	14.5	98.7	52.3	307.9	263.5
1986	327.4	252.2	231.9	54.7	36.1	26.7	57.2	116.4	28	19.5	146.8	415.1
1987	363.7	199.9	142.5	133.3	51.5	23.6	36.2	2.1	112.6	101.8	132	300.2
1988	288.4	511.5	111.7	77.5	65	16.3	0	0	23.5	129.4	237.5	224.3
1989	240.4	386.4	162	37.8	8.5	38.7	22.2	10.4	77.6	127	150.7	243.5
1990	112.7	156	217.8	118.7	56.4	0	16.2	16.8	65.1	16.8	134.8	53.4
1991	342.6	109.5	138.3	78.2	13.9	6.4	13	1.3	101.4	72.6	96.1	137.5
1992	209.3	53.8	22.8	71.1	13	0	7.1	15.8	34.5	97.8	96.5	220.3
1993	182.8	94.1	139.7	42.9	19.4	14.5	0	8.5	58.9	41.3	64.8	67.9
1994	141.8	44.9	86.5	59.4	51.7	5.9	4.6	0	2.4	127.9	214.8	162.5
1995	213.3	187.5	72.8	50.6	87.2	7.9	13.5	0	24.8	202.2	150.6	338.8
1996	452.2	289.9	251.4	78.6	25	4.6	8.2	39	118.3	163.4	239.2	288.8
1997	442.1	138.3	126.3	31.1	9.3	5.7	0	6	77	117.6	205.9	192.6
1998	300.9	329	127.6	32.6	63.9	9.3	3.4	45.2	16.9	143.4	242.3	193.2
1999	245.4	164	293.3	52.6	0	10.1	7.1	1.7	18.7	65.5	107.9	252.4
2000	343.5	115.6	251.8	59.2	7.3	1.6	8.4	55.1	121.4	83.4	185.3	192.5
2001	120	177.4	146.6	27.1	49.5	1.3	1.5	6.5	66.6	118.9	348.2	280.1
2002	283.3	324.5	105.9	12.9	36.2	0	3.6	30.3	113.5	101.5	230.4	356.6
2003	533.6	33.1	178.4	59	42.5	55.2	88.4	38.8	54.6	148.5	209.5	300.8
2004	295.4	405	220.6	203.5	32.9	25.5	49	0	4.6	107.1	213.8	365.1
2005	292.6	219.4	257.9	105.8	67.8	24.4	19.2	3.3	73.2	54.4	136.8	345.3
2006	263.5	251.1	278.5	13.8	45.7	1.3	11.5	24.4	43.3	130	448.3	200.6
2007	587.9	24.6	109.1	41.5	24.1	11.9	3.5	2.7	12.6	136.6	181.3	233.2
2008	301.8	257.4	215	186.2	1.7	19.1	0	14.3	84.5	155.5	220.3	457.2
2009	226.3	372	0	46	32.4	29.1	17.2	13.8	52.4	121.2	196.4	269.1
2010	321.6	67.6	350	128.6	38.8	0	28	1.9	38.9	68.9	240.3	319.4

2011	295.8	84	242.7	137.6	7.5	24.1	7	6.4	2.8	104.9	245.2	394.5
2012	415.6	65.6	138.1	89.1	81.2	35	1.6	4.5	36.9	52.2	250.6	93.1
2013	436.5	116.5	260.2	72.7	40.9	43.6	97.2	23.5	71.9	68.6	182.5	434.9
2014	83.4	109.4	81.7	137.9	10.6	17.1	18.2	9.6	11.7	60.1	226.5	100.7
2015	86.2	192.4	226.5	5	12	28.2	24.5	0	123.1	94.2	178	324.1

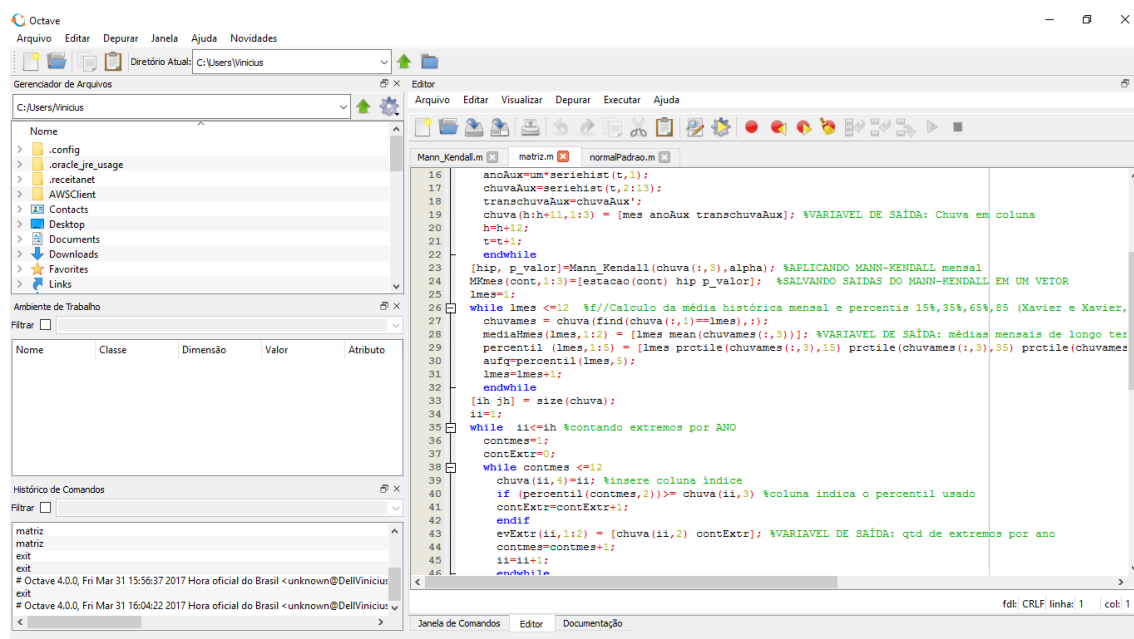


Figura 4: Ambiente Octave utilizado para realizar processo estatístico com linhas de comando adversas.

4.2 Definição de precipitações intensas (extremo chuvoso) e extremo seco

Após a consistência dos dados, definiu-se para cada pluviômetro estudado a quantidade em milímetros de chuva para sua consideração como “precipitação intensa” e como “extremo seco”.

O método utilizado para definirmos precipitações intensas para a bacia do Rio Paraíba do Sul fora baseado em XAVIER & XAVIER (1984), para o 2º *World Meteorological Organization - Symposium on Meteorological Aspects of Tropical Droughts*, realizado em Fortaleza-Ceará no mesmo ano citado.

Contemplou-se a divisão dos dados em quartis para que se classificasse cada pluviômetro de maneira distinta e proporcional, levando em consideração que as condições pluviométricas em cada local correspondem a uma particularidade da área estudada.

Por exemplo, definir precipitação intensa na cidade de Queluz foi totalmente diferenciado da cidade de Caçapava, já que os condicionantes climáticos e geomorfológicos são distintos, devido a direção dos ventos, umidade, relevo e ocupação urbana.

O objetivo aqui proposto está na personalização dos dados para cada pluviômetro, embora a série histórica seja obtida da mesma forma que as demais, o resultado dos seus dados poderão ser trabalhados de maneira consistida e integrada.

Os quartis a serem discriminados inicialmente de modo miúdo teriam a finalidade de discriminar desta forma:

$$X_i \left\{ \begin{array}{ll} \text{muito seco} & \text{se } X_i \leq Q_{0,15} \\ \text{seco} & \text{se } Q_{0,15} \leq X_i \leq Q_{0,35} \\ \text{normal} & \text{se } Q_{0,35} \leq X_i \leq Q_{0,65} \\ \text{chuvoso} & \text{se } Q_{0,65} \leq X_i \leq Q_{0,85} \\ \text{muito chuvoso} & \text{se } Q_{0,85} \leq X_i \end{array} \right.$$

Esta maneira seria a mais apropriada caso uma lei de probabilidades estivesse ajustada às observações; porém geraria uma consistência dos dados conflitante e penosa, devido aos grandes ajustes que deveriam ser realizados para cada situação.

Entretanto, outra maneira de se calcular quartis para mesma série (X_i), em um determinado sítio de pluviômetros, com referência a um dado posto e para cada altura pluviométrica observada (local, relevo, altitude e quantidade de milímetros de chuva diferentes), considerando um número de ordem $\omega(X_i)$, sendo n o número de observações disponíveis, monta-se a equação:

$$q(X_i) = (1/2n) + [\omega(X_i) - 1] / n$$

Desta maneira, definem-se os novos parâmetros desta forma:

$$X_i \left\{ \begin{array}{ll} \text{muito seco} & \text{se } q X_i \leq Q_{0,15} \\ \text{seco} & \text{se } 0,15 \leq q X_i \leq Q_{0,35} \\ \text{normal} & \text{se } 0,35 \leq q X_i \leq Q_{0,65} \\ \text{chuvoso} & \text{se } 0,65 \leq q X_i \leq Q_{0,85} \\ \text{muito chuvoso} & \text{se } 0,85 \leq q X_i \end{array} \right.$$

A técnica baseada em quartis possui grandes vantagens, não apenas pela sua simplicidade, mas também por conseguir atribuir um valor igual ou menos à mais baixa observação relatada ou igual ou maior à maior leitura registrada.

Com isso, a interpretação estatística nos permitiu alcançar a verdadeira altura pluviométrica de cada lugar, que devido suas diferentes localizações trará resultados distintos. Na prática, 200 mm de chuva podem ser o “normal” em uma região no qual

sua média histórica mensal seja de 300 mm; em contrapartida de que estes mesmos 200 mm poderão ser “muito seco” para um local onde a média histórica seja de 600 mm.

Foram apresentados todos os dados em tabelas, gráficos e mapas, comportando as frequências absolutas (número de pluviômetros) e frequências relativas (porcentagem) com suas classificações determinadas em cinco níveis, sendo que 0 será considerado muito seco à 5, considerado muito chuvoso.

4.3 Estatística hidrológica

As análises de tendências serão feitas por estatísticas hidrológicas das séries de precipitações, operacionalizadas por ferramentas estatísticas utilizadas pela ANA e CPRM, conforme evidenciado e publicado no livro “*Hidrologia Estatística*” (Naghetini, 2007).

Estas ferramentas estatísticas são necessárias no auxílio das análises dos eventos de extremos chuvosos e secos, além da tendência das chuvas mensais ao longo da série histórica; contabilizando os números de eventos e especializando-os na bacia.

O Método de Mann-Kendall utilizado (Mann, 1945; Kendall, 1975) é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para determinar se determinada série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. Por tratar-se de um método não paramétrico, ele não requer distribuição normal dos dados (Yue et al., 2002). Outra vantagem deste método é o fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (Zhang et al., 2009). No entanto, este método exige que os dados sejam independentes e aleatórios (Neeti & Eastman, 2011).

4.4 Programação e geoprocessamento

De acordo com Câmara e Davis (2000), o Geoprocessamento é uma disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vêm influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicação, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

Nesse contexto, foram desenvolvidos instrumentos para o tratamento da informação geográfica, tais como o Sensoriamento Remoto, Sistemas de Navegação por Satélite e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Os Sistemas de Informação Geográfica são sistemas computacionais feitos para armazenar e processar informação geográfica. Eles são ferramentas que melhoram a

eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos (LONGLEY et al, 2013).

O mapeamento de informações geográficas é importante, pois:

“Quase tudo que acontece, acontece em algum lugar. Nós humanos restringimos nossas atividades geralmente à superfície ou às proximidades da superfície da Terra. Viajamos sobre ela, bem como nas camadas inferiores da atmosfera, e andamos em túneis escavados logo abaixo da superfície” (LONGLEY et al, p.4, 2013).

Dessa forma:

“Quase tudo que acontece, acontece em algum lugar. Saber o local onde algo acontece pode ser fundamental.” (LONGLEY et al, p.4, 2013. Grifos nossos).

Portanto, os SIGs são essenciais na tomada de decisões, tanto pela iniciativa pública quanto pela privada, uma vez que a localização é fator indissociável da condição humana.

No presente trabalho, o método mais adequado frente ao problema abordado é a interpolação espacial. A interpolação espacial consiste em estimar valores em áreas não contempladas pela amostragem, sejam pontos, curvas e/ou grades. Para gerar uma simulação do relevo e da distribuição da precipitação, utilizou-se de dois métodos, a saber:

O método “topo to raster” é baseado no programa ANUDEM, desenvolvido por Hutchinson (1988). Ele permite que arquivos, tais como curvas de níveis, cursos de rios e delimitações de bacias, possam ser utilizados durante a interpolação, diminuindo os possíveis erros que venham a ser acometidos pelo método (Nogueira e Amaral, 2009). Essa interpolação foi criada com o objetivo específico de converter dados vetoriais em modelos hidrológicos de elevação de terreno exatos. O método se utiliza da eficiência computacional da interpolação local, como ponderação do inverso da distância, sem perder a continuidade superficial dos métodos global de interpolação (Nogueira e Amaral, 2009).

No presente estudo, esse método foi aplicado para a elaboração do mapa de relevo da bacia do rio Paraíba do Sul.

Conforme Yamamoto (1988), a técnica clássica de superfícies de tendência (Trend Analysis) é feita no sentido de regressão polinomial, pelo ajuste de polinômios de graus sucessivamente elevados até encontrar um que produza um ajuste ótimo. O grau de ajuste ótimo pode tanto ser definido empiricamente pelo pesquisador como estatisticamente pela análise de variância e teste F (valores observados).

No presente estudo, esse método foi aplicado para a elaboração do mapa pluviométrico da bacia do rio Paraíba do Sul, sendo que o grau de ajuste ótimo foi definido empiricamente.

4.5 Trabalho de campo e observação, ferramenta imprescindível do geógrafo

A abordagem comparativa considerou as várias modalidades de observações e as análises dos entes geográficos, como: dinâmica da morfoescultura/morfoestrutura local, variabilidade climática, biogeografia e a geografia urbana (espaço produzido).

Como exemplo segue na figura 2 uma das paisagens utilizadas, em Levy Gasparian – RJ. Quando ocorrem chuvas intensas no local a resposta é rápida quanto à elevação de cota do rio, isto devido à impermeabilidade das rochas expostas e tipos de solos encontrados (argilo-minerais provenientes dos processos pedogenéticos em ambiente granítico/gnáissico).



Figura 5: Inselberg ao lado do Rio Paraibuna, próximo ao pluviômetro de Sobragi 02143021. Foto: Vinicius Ramos 26.11.2016

Baseando-se no controle de equilíbrio do regime de chuvas por Carvalho (2001), da variabilidade climáticas que ocorrem na área de estudo por Beneti (2012), das suas inclinações de vertentes e ainda na regularidade e irregularidade da superfície das bacias hidrográficas por Ab'Saber (1983) e Ross (1995), podemos ter uma comparação entre as precipitações intensas e a influência da variabilidade climática e a geomorfologia local.

Este projeto considera que os estudos de hidrológicos vão muito além de análises probabilísticas e utilizará como ferramenta principal a observação geográfica. Levando

em conta a interação dos domínios morfoclimáticos na formação da paisagem, características relacionadas aos eventos extremos torna-se possível de ser individualizada e constatada em campo; complementando as conclusões em gabinete.

A maior parte do trabalho de campo deteve-se em relatar com imagens fotográficas das paisagens encontradas em torno dos pluviômetros utilizados. Desta forma foi possível comparar com os relevos encontrados em cartas, mapas e imagens de satélite do IBGE, CPRM e Landsat. Segue abaixo mais três exemplos.



Figura 6: Margem direita do Rio Paraíba do Sul – município de Sapucaia, nas proximidades da estação pluviométrica de Anta. Foto: Vinicius Ramos 28.11.2016

Foram observadas estratificações provenientes ao metamorfismo de alta pressão e temperatura (cisalhamento) entre a Serra do Mar e Mantiqueira. O Rio Paraíba do Sul percorre esta zona fraturada em grande parte do seu percurso, sendo evidenciada com maior ênfase nas áreas anastomosadas.

Além disso, na margem direita esta a Serra do Mar, com presença de declividade acima de 30%, e na margem esquerda morros altos, sendo um princípio de parte da Serra da Mantiqueira mineira, com declividade acima de 30%.

Devido estas características, quando ocorrem precipitações intensas neste local, a resposta é rápida, ou seja, a cota do rio se eleva rapidamente por causa da baixa permeabilidade do solo e alta quantidade de afloramentos de rochas gnáissicas.



Figura 7: Rio Paraíba do Sul entre morros da Serra do Mar, nas proximidades do pluviômetro de Volta Redonda. Foto: Vinicius Ramos 05.17.2016

Na Figura 7, observamos o Rio Paraíba do Sul encaixado no gráben formado entre as Serras do Mar e Mantiqueira, onde ao longo do seu curso seu padrão de drenagem é meandrante, passando a ser anastomosado em Volta Redonda.

O local sofre sérias influências nas massas de ar originárias do Atlântico Sul por estarem entre duas regiões serranas, no qual a Serra do Mar lhe serve de obstáculo impedindo que a umidade adentre ao vale e a Serra da Mantiqueira, quando a massa de ar é suficiente para vencer a primeira serra, a segunda propiciara o efeito orográfico.



Figura 8: Alto da Serra da Mantiqueira, próximo ao pluviômetro Conceição de Ibitipoca. Nota-se o afloramento de quartzitos (manchas brancas). Foto: Vinicius Ramos 05.17.2016

Na figura 8 observamos a presença de falhas de quartzito, em Conceição de Ibitipoca. Na parte mineira da Serra da Mantiqueira, é possível encontrar uma vegetação diferente da região do Rio de Janeiro, como exemplo de Visconde de Mauá.

Enquanto em Conceição de Ibitipoca o predominante é Floresta Ombrofila Mista, de Visconde de Mauá o predominante é Floresta Ómbrofila Densa, onde ambas obtém em alguns pontos campos de altitude. Isto talvez ocorra devido o tipo de solo e rochas existentes, já que as cidades citadas se encontram em faixas de altitude e latitude muito próximas.



Figura 9: Paisagem em Queluz. Ao fundo a Serra da Mantiqueira (onde se localiza o pluviômetro de estudo Fazenda Agulhas Negra), entre vale o Rio Paraíba do Sul e Rodovia Dutra. Foto: Vinicius Ramos 08.07.2016

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram divididos em três partes, sendo eles:

- Número de eventos de extremos chuvosos;
- Número de evento de extremos secos;
- Tendência na quantidade de precipitação ao longo dos anos, mês a mês.

Todos eles foram trabalhados com o mesmo método e programação. Quanto maior o índice Mann Kendall, maior o nível de significância em relação à tendência. Quando a tendência é significativa, sua referência na tabela 2 está com o numeral 1, e 0 para quando não é significativa. O tipo da linha de tendência é referenciado de forma simples, ou seja, como positivo e negativo de forma direta pelo sinal.

Em relação aos extremos chuvosos, dos 64 pluviômetros trabalhados, obtivemos os resultados da tabela 2.

Tabela 2: Índice Mann Kendall, Significância e Tendência dos Eventos de Extremos Chuvosos

Nome da Estação	Código ANA	Índice MK	Significância	Tendência
Carangola	2042000	1,24E-01	0	-0,15246
Bicuíba	2042014	6,36E-01	0	-0,01527
Porciúncula	2042027	2,21E-01	0	0,01941
Cardoso Moreira	2141003	1,26E-01	0	-0,05849
Dois Rios	2141006	1,77E-01	0	0,02175
Três Irmãos	2141007	5,57E-01	0	0,01005
Patrocínio do Muriaé	2142002	9,88E-01	0	0,03948
Usina Maurício	2142006	1,00E+00	0	-0,04789
Fazenda da Barra	2142007	7,03E-01	0	-0,01015
Volta Grande	2142008	3,84E-01	0	-0,05057
Jussara	2142009	4,28E-01	0	-0,03733
Ponto de Pergunta	2142015	5,20E-01	0	-0,05037
Aldeia	2142022	7,20E-01	0	-0,07244
Santo Antonio de Padua	2142058	5,27E-01	0	0,02597
Usina Ituerê	2143000	2,70E-01	0	-0,04633
Guarani	2143001	2,42E-01	0	-0,07755
Conceição de Ibitipoca	2143011	8,89E-01	0	-0,03317
Tabuleiro	2143017	1,95E-01	0	-0,04076
Rio Novo	2143018	4,19E-01	0	-0,10065
Chapéu D'uvas	2143020	5,91E-01	0	-0,03996
Sobragi	2143021	8,64E-01	0	-0,04566
Piau	2143022	9,64E-01	0	-0,01904
Barra Alegre	2242018	3,22E-01	0	-0,02271
Vargem Alta	2242019	5,30E-01	0	0,11597
Vargem Grande	2242020	9,87E-01	0	0,02438
Fazenda Mendes	2242022	4,84E-01	0	-0,03022
Bom Sucesso	2242026	1,73E-01	0	-0,05407
Fazenda Sobradinho	2242027	6,24E-01	0	-0,00221
Anta	2242028	9,15E-01	0	-0,03902
Sumidouro	2242029	5,68E-01	0	-0,02765
Paraíba do Sul	2243003	5,92E-01	0	-0,02339
Conservatória	2243004	3,28E-01	0	-0,04652
Valença	2243005	4,37E-01	0	-0,05680
Pentagna	2243006	9,02E-01	0	0,01357
Itamarati	2243010	2,61E-01	0	-0,07184
Areal	2243013	8,30E-01	0	0,01626

Fagundes	2243014	5,84E-01	0	0,03385
Moura Brasil	2243015	2,77E-01	0	0,00434
Moreli	2243016	2,91E-01	0	-0,00582
Fazenda São Gabriel	2243202	2,22E-01	0	-0,06353
Santa Isabel do Rio Preto	2244033	5,45E-01	0	-0,06257
Ribeirão São Joaquim	2244034	1,00E-01	0	-0,03173
Santa Rita do Jacutinga	2244035	9,15E-01	0	0,00991
Fumaça	2244037	1,46E-01	0	-0,04914
Ponte do Souza	2244038	5,14E-01	0	-0,03052
Fazenda Agulhas Negras	2244039	5,46E-01	0	-0,00590
Visconde de Mauá	2244047	9,26E-01	0	-0,00601
Campos do Cunha	2244048	2,88E-01	0	-0,06694
Estrada do Cunha	2245055	1,15E-01	0	-0,11595
São Luiz do Paraitinga	2345065	3,33E-01	0	-0,09373
Astolfo Dutra	2142000	7,23E-02	1	-0,06543
Estevao Pinto	2143013	7,85E-02	1	-0,03627
Usina Brumado	2143019	8,67E-02	1	0,03134
Visconde de Imbé	2242017	3,80E-02	1	-0,04111
Bom Jardim	2242021	8,82E-02	1	-0,06831
Teodoro Oliveira	2242024	4,66E-03	1	0,08133
Taboas	2243007	3,03E-02	1	-0,09869
Rio da Cidade	2243011	3,43E-02	1	-0,05860
Pedro do Rio	2243012	2,13E-02	1	-0,07863
Volta Redonda	2244041	1,47E-02	1	-0,06976
Nossa Senhora do Amparo	2244045	1,83E-02	1	-0,05238
Mirantão	2244058	2,85E-02	1	-0,02300
Alto da Serra do Mar	2344009	1,27E-03	1	-0,25911
Ponte Alta	2345067	5,47E-02	1	-0,04868

Resumidamente, 50 pluviômetros não apresentaram tendência nos índices Mann Kandall, 12 apresentaram tendências negativas e 2 tendência positiva; ou seja, em sua maior totalidade não houve mudança nos eventos considerados como precipitação intensa, 12 diminuiu o número de eventos e outros 2 aumentou.

Quanto aos extremos secos, o resultado obtido gerou a tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Índice Mann Kendall, Significância e Tendência dos Eventos de Extremos Secos

Nome da Estação	Código ANA	Índice MK	Significância	Tendência
Bicuíba	2042014	6,94E-01	0	-0,015265
Porciúncula	2042027	4,03E-01	0	0,019410
Cardoso Moreira	2141003	8,77E-01	0	-0,058495
Dois Rios	2141006	8,40E-01	0	0,021750
Três Irmãos	2141007	3,74E-01	0	0,010048
Astolfo Dutra	2142000	1,46E-01	0	-0,065431
Fazenda da Barra	2142007	9,51E-01	0	-0,010152
Volta Grande	2142008	6,91E-01	0	-0,050569
Jussara	2142009	1,62E-01	0	-0,037335
Ponto de Pergunta	2142015	4,75E-01	0	-0,050366
Santo Antonio de Padua	2142058	3,18E-01	0	0,025967
Usina Ituerê	2143000	9,02E-01	0	-0,046327
Conceição de Ibitipoca	2143011	2,09E-01	0	-0,033173
Estevao Pinto	2143013	5,08E-01	0	-0,036272
Tabuleiro	2143017	8,41E-01	0	-0,040763
Usina Brumado	2143019	6,99E-01	0	0,031337
Chapéu D'uvas	2143020	9,75E-01	0	-0,039964
Sobragi	2143021	2,01E-01	0	-0,045664
Visconde de Imbé	2242017	7,60E-01	0	-0,041106
Vargem Alta	2242019	1,09E-01	0	0,115966

Vargem Grande	2242020	5,25E-01	0	0,024377
Bom Jardim	2242021	4,50E-01	0	-0,068309
Fazenda Mendes	2242022	4,88E-01	0	-0,030221
Teodoro Oliveira	2242024	8,07E-01	0	0,081330
Bom Sucesso	2242026	2,30E-01	0	-0,054066
Fazenda Sobradinho	2242027	8,89E-01	0	-0,002206
Anta	2242028	9,63E-01	0	-0,039019
Sumidouro	2242029	3,53E-01	0	-0,027652
Paraíba do Sul	2243003	5,09E-01	0	-0,023390
Conservatória	2243004	5,12E-01	0	-0,046523
Valença	2243005	5,72E-01	0	-0,056802
Taboas	2243007	7,93E-01	0	-0,098692
Itamarati	2243010	1,86E-01	0	-0,071838
Rio da Cidade	2243011	8,42E-01	0	-0,058597
Pedro do Rio	2243012	8,18E-01	0	-0,078634
Areal	2243013	2,80E-01	0	0,016258
Moreli	2243016	2,18E-01	0	-0,005825
Fazenda São Gabriel	2243202	4,86E-01	0	-0,063526
Santa Isabel do Rio Preto	2244033	9,38E-01	0	-0,062569
Ribeirão São Joaquim	2244034	4,24E-01	0	-0,031727
Ponte do Souza	2244038	6,53E-01	0	-0,030517
Fazenda Agulhas Negras	2244039	1,79E-01	0	-0,005897
Volta Redonda	2244041	6,92E-01	0	-0,069763
Nossa Senhora do Amparo	2244045	9,01E-01	0	-0,052376
Visconde de Mauá	2244047	6,49E-01	0	-0,006006
Campos do Cunha	2244048	7,33E-01	0	-0,066940
Mirantão	2244058	6,06E-01	0	-0,022997
Estrada do Cunha	2245055	1,10E-01	0	-0,115948
São Luiz do Paraitinga	2345065	8,42E-01	0	-0,093728
Ponte Alta	2345067	7,69E-01	0	-0,048682
Carangola	2042000	4,95E-02	1	-0,152457
Patrocínio do Muriaé	2142002	8,62E-02	1	0,039479
Usina Maurício	2142006	2,00E-03	1	-0,047894
Aldeia	2142022	4,93E-02	1	-0,072442
Guarani	2143001	5,13E-02	1	-0,077550
Rio Novo	2143018	6,60E-02	1	-0,100653
Piau	2143022	3,81E-02	1	-0,019036
Barra Alegre	2242018	8,04E-02	1	-0,022713
Pentagna	2243006	6,03E-02	1	0,013565
Fagundes	2243014	5,99E-02	1	0,033848
Moura Brasil	2243015	1,85E-02	1	0,004336
Santa Rita do Jacutinga	2244035	1,14E-03	1	0,009912
Fumaça	2244037	8,71E-02	1	-0,049135
Alto da Serra do Mar	2344009	6,38E-03	1	-0,259107

Interpretando a tabela, novamente 50 pluviômetros não apresentaram tendência nos índices Mann Kendall, 9 apresentaram tendências negativas e outros 5 tendências positivas; sendo assim, em sua totalidade não houve mudança na quantidade dos eventos considerados estiagens severas, 9 diminuiu a quantidade de eventos e outros 5 aumentos este número.

Talvez o mais interessante destes dois resultados seja que, à primeira vista, os números são inversamente proporcionais, ou seja, os mesmos pluviômetros que diminuíram a quantidade de eventos de extremos secos também diminui a quantidade de extremos chuvosos.

Mas em uma análise mais apurada percebemos que essa ideia é uma falácia, já que mesmo obtendo em ambos os casos 50 pluviômetros sem tendência e outros 14 com tendências, observamos que os pluviômetros que obtiveram tendência não são os mesmos nas duas tabelas. De forma direta, não são inversamente proporcionais.

Referente a tendência entre os anos de 1982 a 2015 dos meses das séries históricas (comparação para identificar mudanças sazonais), obtivemos a tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Resultados do teste Mann Kendall para milímetros de chuvas mensais

Nome da Estação	Código ANA	Índice MK	Significância	Tendência
Bicuiba	2042014	4,11E+07	0	-0,01527
Porciúncula	2042027	8,70E+07	0	0,00194
Cardoso Moreira	2141003	2,10E+07	0	-0,00585
Dois Rios	2141006	9,30E+07	0	0,00100
Três Irmãos	2141007	9,00E+07	0	0,00218
Patrocínio do Muriaé	2142002	6,16E+07	0	0,00395
Usina Maurício	2142006	1,25E+07	0	-0,00479
Fazenda da Barra	2142007	7,66E+07	0	-0,00102
Volta Grande	2142008	2,39E+07	0	-0,00506
Jussara	2142009	1,06E+07	0	-0,00373
Ponto de Pergunta	2142015	2,24E+07	0	-0,00504
Santo Antonio de Padua	2142058	8,91E+07	0	0,00260
Usina Ituerê	2143000	4,34E+07	0	-0,00463
Conceição de Ibitipoca	2143011	5,92E+07	0	-0,00332
Estevao Pinto	2143013	3,78E+07	0	-0,00363
Rio Novo	2143018	7,03E+07	0	0,03134
Usina Brumado	2143019	5,27E+07	0	-0,00400
Chapéu D'uvas	2143020	4,46E+07	0	-0,00457
Sobragi	2143021	2,43E+07	0	-0,00190
Piau	2143022	3,16E+07	0	-0,00408
Visconde de Imbé	2242017	5,43E+07	0	-0,00411
Barra Alegre	2242018	3,36E+07	0	-0,00227
Vargem Grande	2242020	8,41E+07	0	0,00244
Fazenda Mendes	2242022	4,05E+07	0	-0,00302
Teodoro Oliveira	2242024	1,55E+07	0	0,00813
Bom Sucesso	2242026	2,04E+07	0	-0,00541
Fazenda Sobradinho	2242027	8,79E+07	0	-0,00022
Anta	2242028	4,62E+07	0	-0,00390
Sumidouro	2242029	6,89E+07	0	-0,00277
Paraíba do Sul	2243003	7,62E+07	0	-0,00234
Conservatória	2243004	4,62E+07	0	-0,00465
Valença	2243005	4,80E+07	0	-0,00568
Pentagna	2243006	8,41E+07	0	0,00136
Taboas	2243007	1,60E+07	0	-0,00987
Itamarati	2243010	1,82E+07	0	-0,00718
Rio da Cidade	2243011	2,61E+07	0	-0,00586
Pedro do Rio	2243012	1,47E+07	0	-0,00786

Areal	2243013	7,38E+07	0	0,00163
Fagundes	2243014	4,51E+07	0	0,00338
Moura Brasil	2243015	6,75E+07	0	0,00043
Moreli	2243016	8,92E+07	0	-0,00058
Fazenda São Gabriel	2243202	1,21E+07	0	-0,00635
Santa Isabel do Rio Preto	2244033	2,63E+07	0	-0,00626
Ribeirão São Joaquim	2244034	4,10E+07	0	-0,00317
Santa Rita do Jacutinga	2244035	3,04E+07	0	0,00099
Fumaça	2244037	3,06E+07	0	-0,04914
Ponte do Souza	2244038	5,14E+07	0	-0,00305
Fazenda Agulhas Negras	2244039	9,86E+07	0	-0,00059
Volta Redonda	2244041	2,78E+07	0	-0,00698
Nossa Senhora do Amparo	2244045	2,26E+07	0	-0,00524
Visconde de Mauá	2244047	8,30E+07	0	-0,00060
Campos do Cunha	2244048	1,98E+07	0	-0,00669
Mirantão	2244058	5,60E+07	0	-0,00230
São Luiz do Paraitinga	2345065	1,14E+07	0	-0,00937
Ponte Alta	2345067	2,69E+07	0	-0,00487
Carangola	2042000	2,06E+05	1	-0,15246
Astolfo Dutra	2142000	5,44E+06	1	-0,00654
Aldeia	2142022	6,62E+06	1	-0,00724
Guarani	2143001	8,58E+06	1	-0,00775
Tabuleiro	2143017	3,36E+06	1	-0,00101
Vargem Alta	2242019	4,54E+04	1	0,01160
Bom Jardim	2242021	6,86E+06	1	-0,00683
Estrada do Cunha	2245055	1,04E+05	1	-0,01159
Alto da Serra do Mar	2344009	2,35E+02	1	-0,02591

Desta vez o número de pluviômetros sem tendência significativa foram 55, outros 8 obtiveram tendências negativas e 1 com tendência positiva. Sendo assim, com a comparação dos meses nesta série histórica, podemos afirmar que 8 pluviômetros obtiveram mudança significativa sazonalmente na quantidade em milímetros de chuva e apenas em 1 houve aumento.

5.1 Análise dos dados, correlacionando com as geoesculturas e as variabilidades climáticas

Os SIG's são atualmente ferramentas muito importantes na tomada de decisões. Por meio de cálculos computacionais, eles processam dados de maneira rápida e segura, produzindo mapas muito próximos da realidade. Porém, a escolha do método adequado para representar o fenômeno geográfico em estudo é fundamental.

Dessa maneira, no presente trabalho, por meio de métodos e técnicas adequados aplicados no SIG ArcGIS, foi possível comprovar a relação entre relevo e precipitação (efeito orográfico) e outros efeitos climáticos.

Para encontrarmos correlações com os dados e especializa-los, foram produzidos diversos mapas até obter uma conclusão. O inicial foi à figura 10, no qual, observamos o shape contendo as curvas de nível, dentro do limite da Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Mapa Pluviométrico da Bacia do Rio Paraíba do Sul

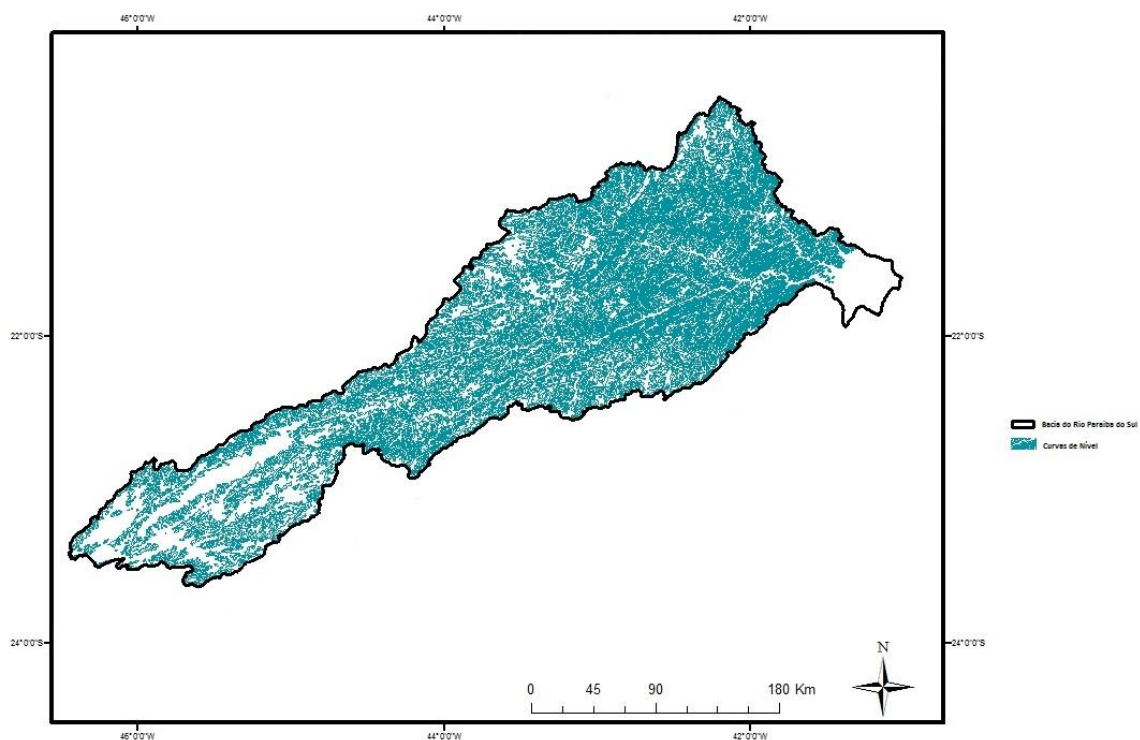


Figura 10 : Curvas de nível da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Cotas. Fonte: Produção própria

Após o processamento pela técnica Topo to Raster, chegamos na figura 11 que apresenta o relevo da Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Mapa Pluviométrico da Bacia do Rio Paraíba do Sul

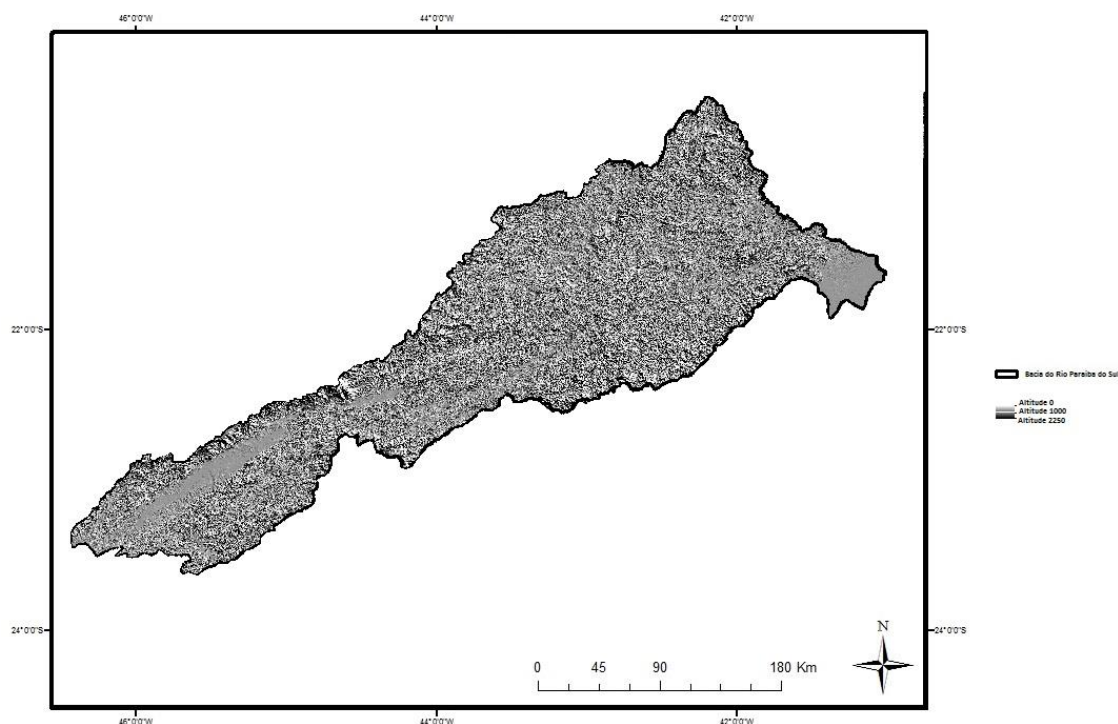
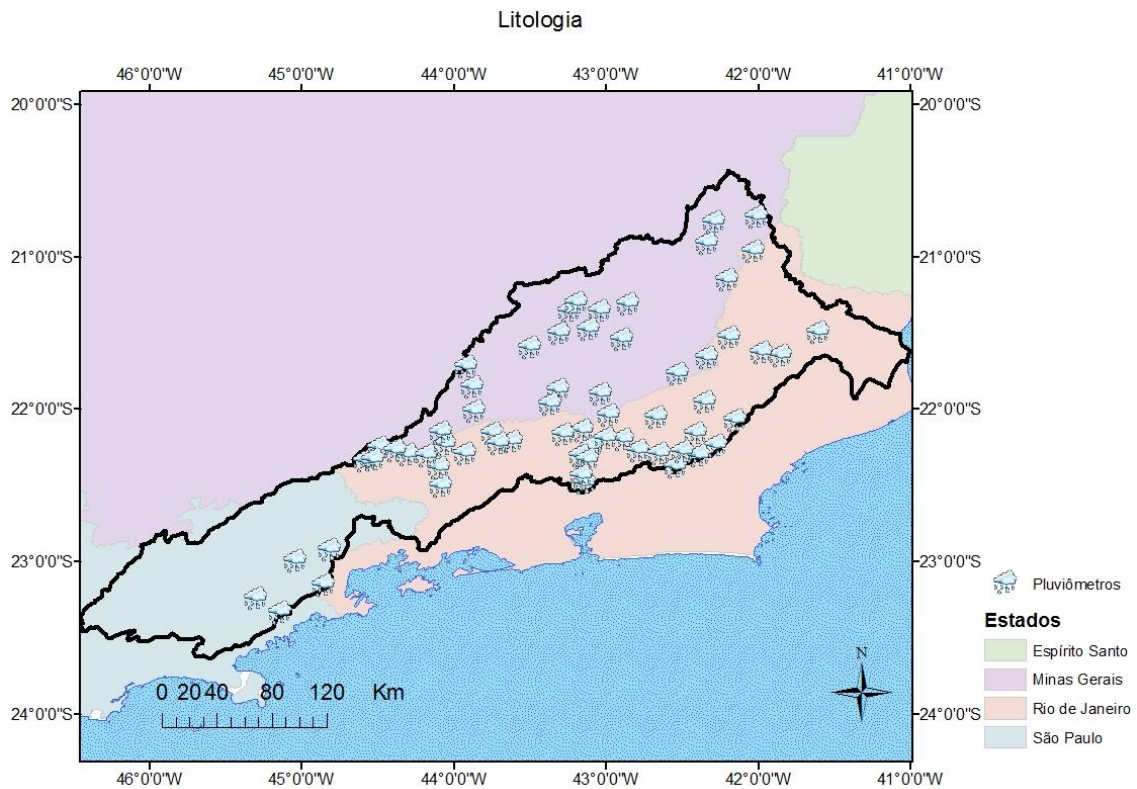


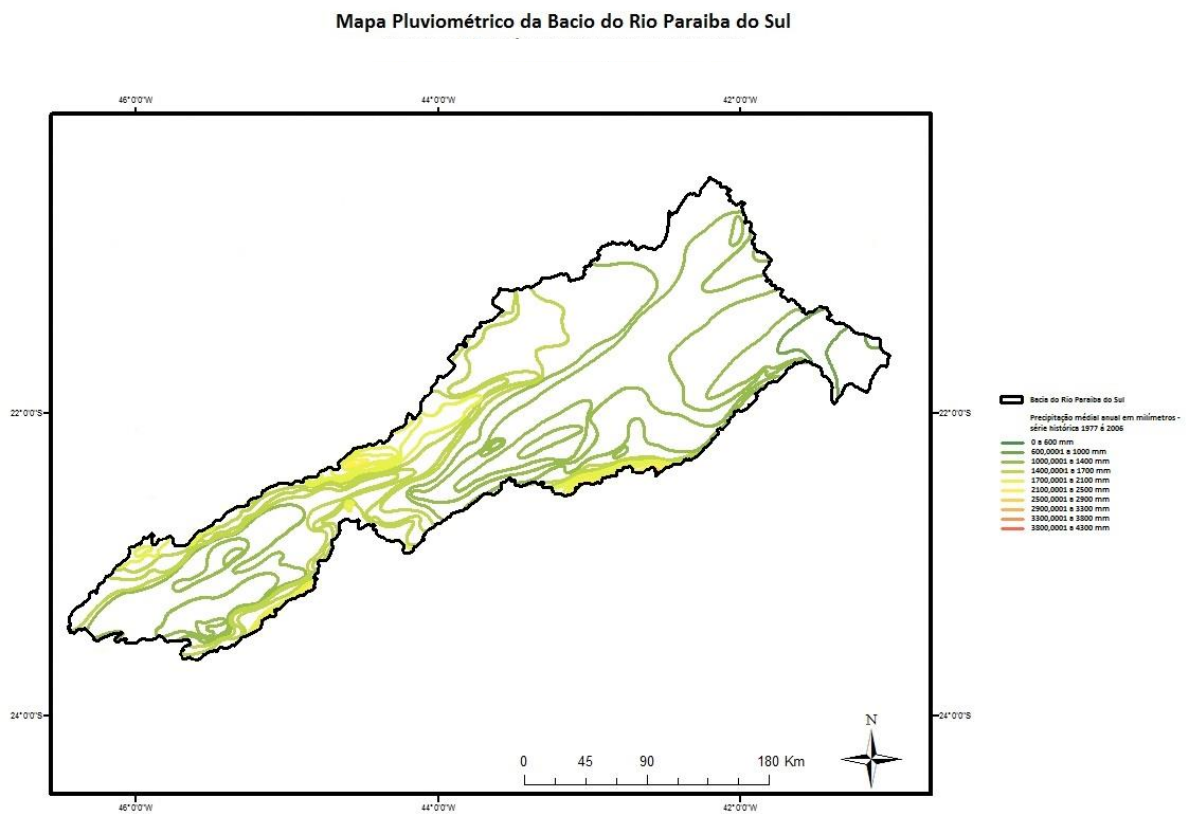
Figura 11 - Relevo da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Altitude. Fonte: Produção própria

Como é possível observar, as áreas mais altas são as próximas do Pico das Agulhas Negras, com 2791m de altitude, no Parque Nacional do Itatiaia (fronteira tríplice dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro) e nas áreas próximas do Parque Nacional da Serra da Bocaina, localizadas em trecho da Serra do Mar, na divisa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

Na figura 12 a seguir, apresentamos os pluviômetros constantes da Bacia do Paraíba do Sul, com dados da série histórica pluviométrica de 1982 a 2015, período analisado no presente trabalho.



Após o processamento dos dados pela técnica Trend Analysis, obtivemos a precipitação média anual em milímetros, conforme o figura 13.



Ao sobrepor os dois mapas de relevo e precipitação média, chegamos no seguinte resultado conforme o figura 14.

Mapa Pluviométrico da Bacia do Rio Paraíba do Sul

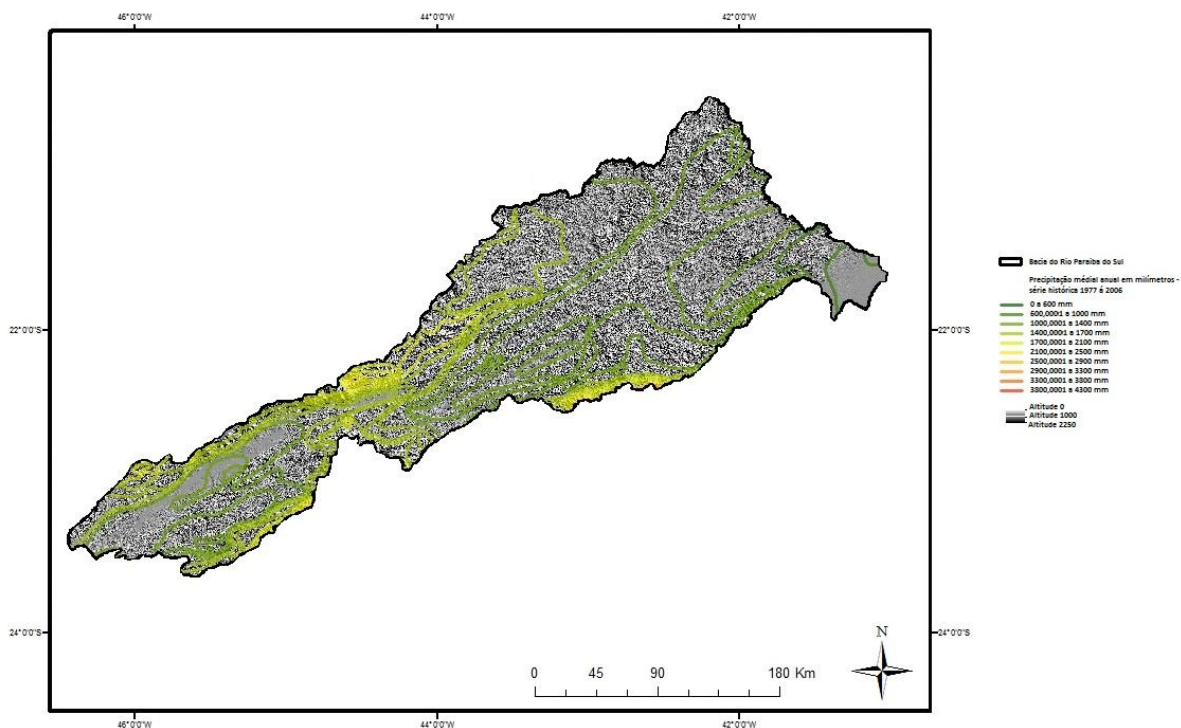


Figura 14 - Isoietas da média da série histórica pluviométrica (1982 a 2015) juntamente com o relevo sombreado. Fonte: Produção Própria.

Como é possível observar no mapa acima, as áreas que apresentam maiores médias anuais de precipitação são aquelas justamente de maior altitude, sendo o Pico das Agulhas Negras e o Parque Nacional da Serra da Bocaina.

Para fins comparativos, subdividimos a bacia para facilitar o estudo climático e geomorfológico, sendo: Alto Paraíba, Médio Paraíba, Baixo Paraíba, Muriaé, Pomba; que são apresentadas na figura 15, explanando melhor os tipos de relevo encontrados, tipos de solos e rochas, além do seu comportamento hidrodinâmico. A intensão é explicar sobre como o tipo de geoescultura encontrada no local influência na intensidade da precipitação.

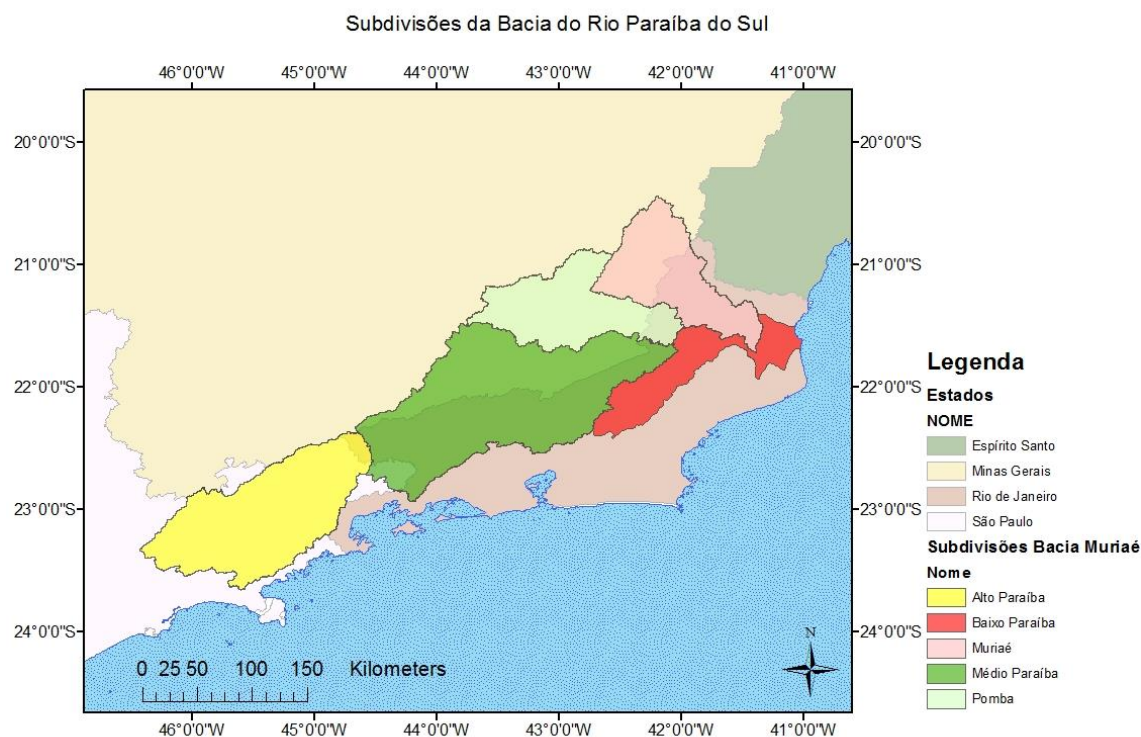


Figura 15 – Subdivisões da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Fonte: Produção Própria.

Na figura 16 identificamos as áreas com predominância de vegetação e ainda a ocupação do solo (espaço produzido), comumente conhecido como área urbanizada.

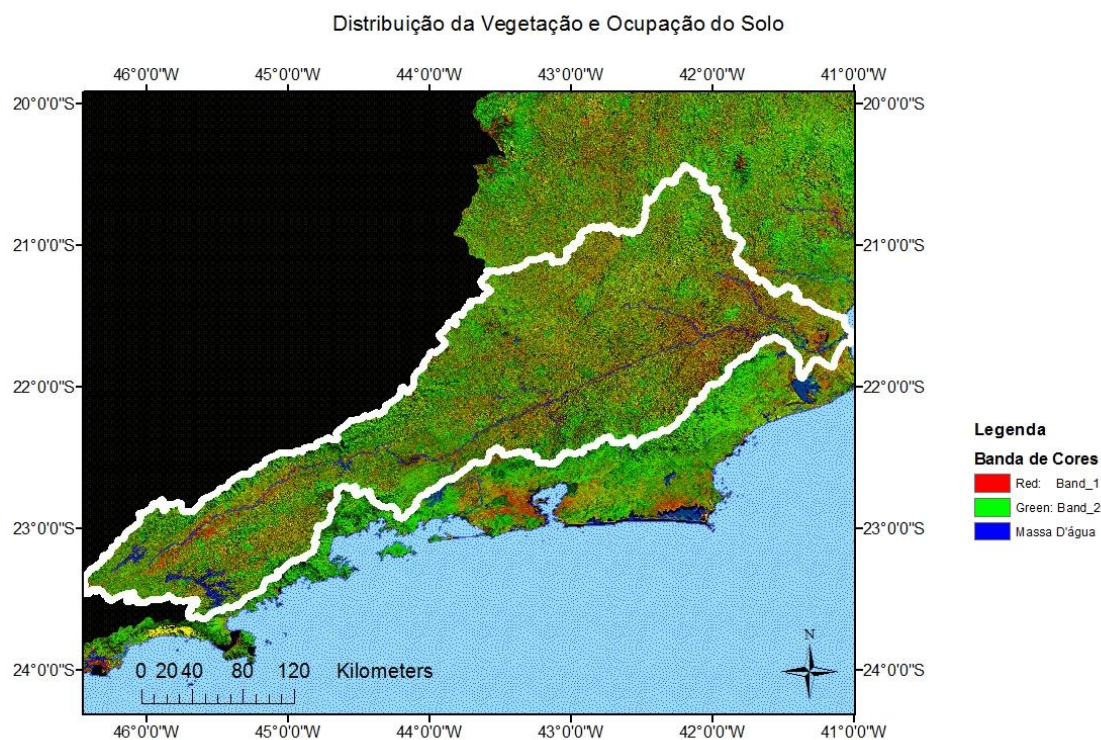


Figura 16 – Distribuição da Vegetação e Ocupação do Solo na bacia (delimitação em branco). Fonte: Produção Própria.

Note que internamente no envolto da bacia situação em azul a massa d'água estudada: O Rio Paraíba do Sul.

Na próxima figura é possível identificarmos a litologia, constando os vários tipos de rochas formadoras do relevo da bacia e, por consequência pedogenética, os vários tipos de solos.

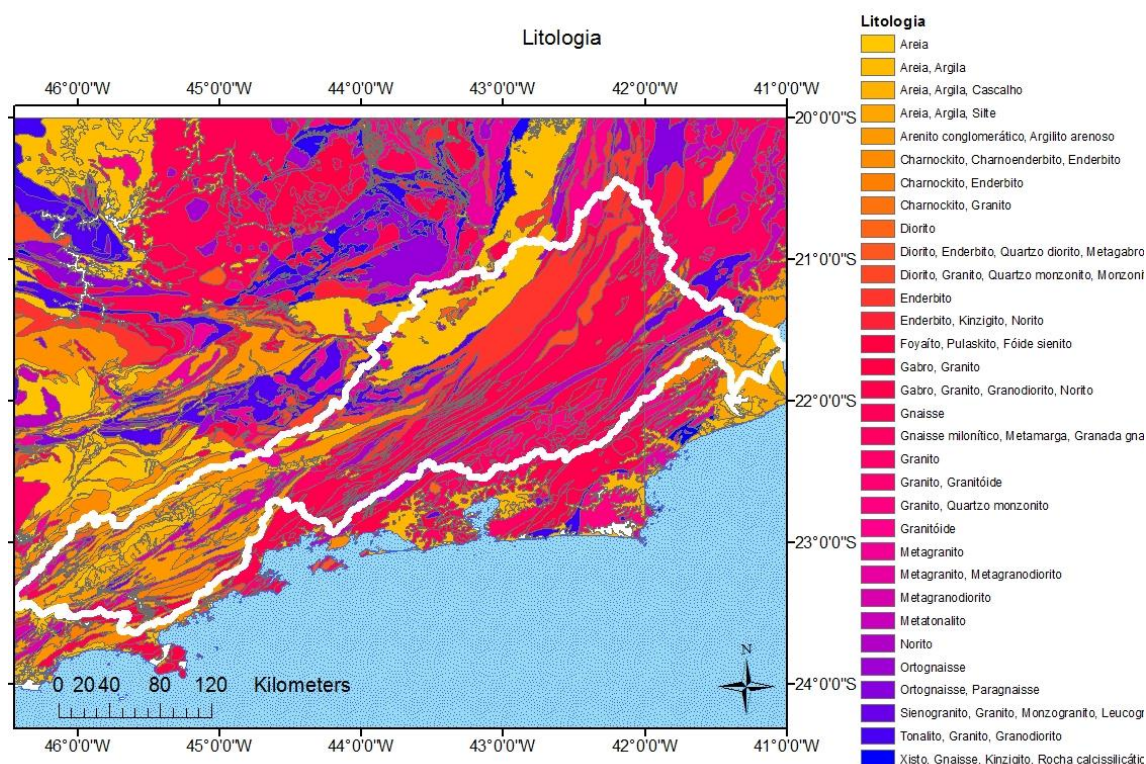


Figura 17 – Litologia – Tipos de rochas distribuídas pela bacia: Produção Própria

Na figura 18 identificamos os pluviômetros que geram em sua maioria tendências negativas em relação ao número de eventos de chuvas extremas. Os anos de El Niño e de La Niña podem explicar o porquê estes eventos diminuíram, já que em 1982 ocorreu o El Niño mais forte já registrado, interferindo nas séries históricas subsequentes, que foram muito mais moderadas.

No ano de 2000 houve uma variação abrupta na série histórica estudada, sendo causado pela intensificação da ZCAS com a formação de VCEZ (Vórtices Ciclônico Embebido na ZCAS), que intensifica por vários dias a umidade em altos e baixos níveis (BRASILIENSE, 2016). As precipitações intensas são mais severas quando efeitos orográficos são decorrentes, na presença de umidade em baixos níveis, que pode explicar o porquê ocorreu um aumento de eventos nos pluviômetros 02143019 e 02242024, ambos de regiões serranas.

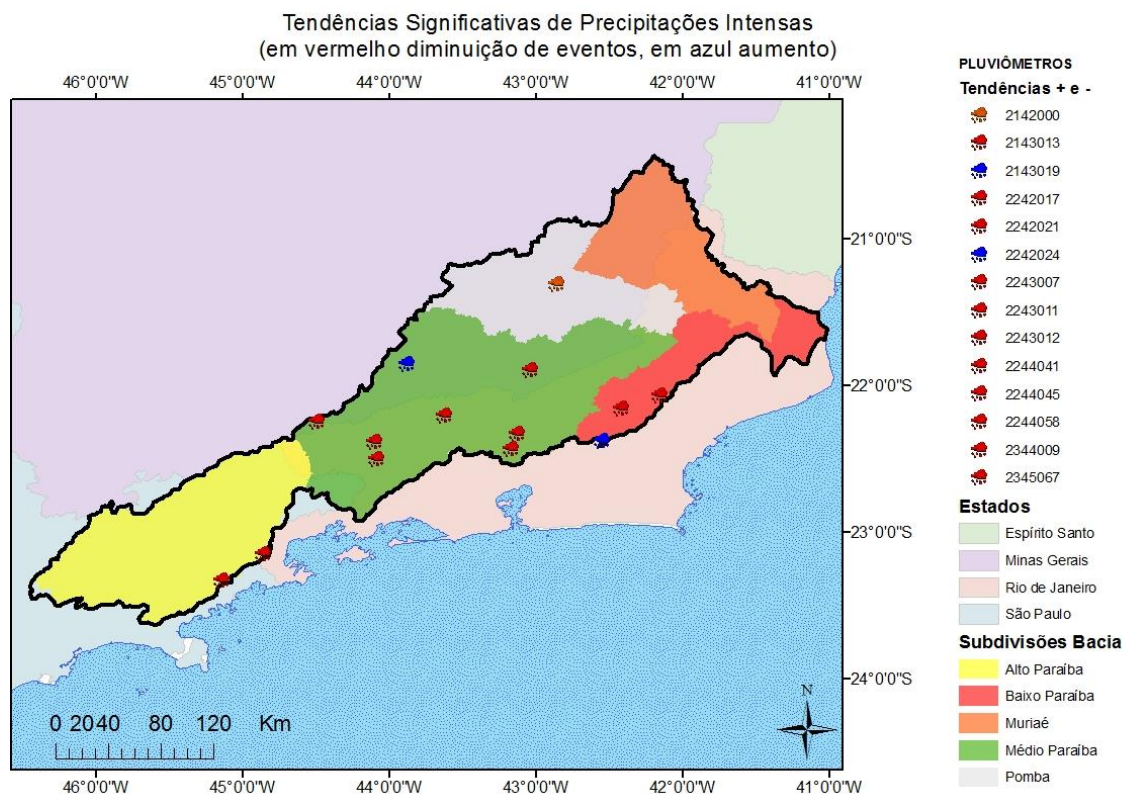


Figura18 – Tendências Significativas de Extremos Chuvosos (Precipitações Intensas) Fonte: Produção Própria.

No Figura 19 foram distribuídos os pluviômetros sendo que 8 mantiveram tendências negativas quanto ao número de eventos de extremos secos, e 6 o aumento desses eventos. Apesar dos últimos três anos (2013 a 2015) a bacia ter passado por um regime severo de estiagem, a série histórica demonstra que, em média ela se mantém regular e em alguns pontos até diminuiu a incidência.

Porém, isso não significa que isto não ocorra mais na bacia, mas apenas que estes fenômenos estão mais regulares e cíclicos. As influências das ZCAS que ocorrem na bacia faz com que a distribuição de chuvas ao longo da série histórica seja de forma moderada.

Vale salientar que o aumento ou a diminuição da tendência estão relacionados ao número de eventos ocorridos. Outra observação é que o pluviômetro 2344009 (Alto da Serra do Mar) é o único que se repete em relação aos extremos chuvosos. Todos os demais pluviômetros estão em localidades diferentes, demonstrando que os itens relacionados (extremos chuvosos e extremos secos) não são necessariamente inversamente proporcionais.

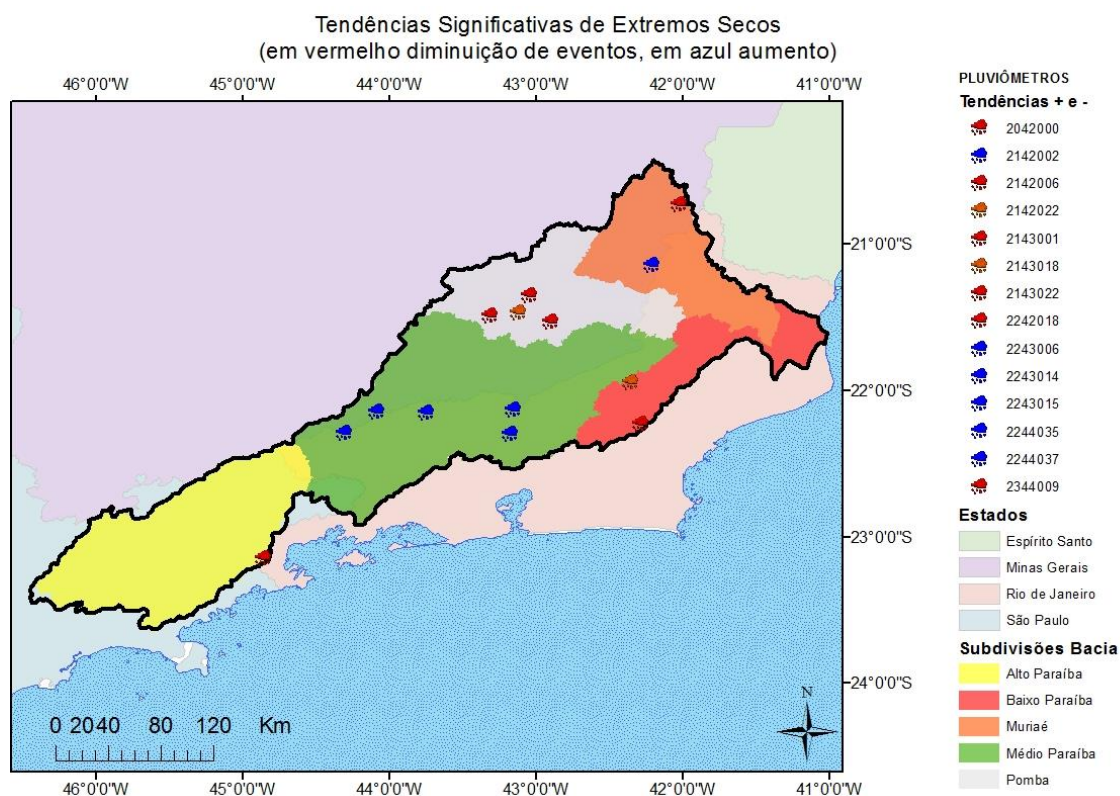


Figura 19 – Tendências Significativas dos Extremos Secos (Estiagens Severas) Fonte: Produção Própria.

Na figura 20 identificamos as tendências mensais da quantidade em milímetros de chuvas distribuídas pela bacia. Esta tendência foi realizada com a mesma metodologia em Mann Kendall, sendo que a lógica está no comparativo do total em milímetros de chuva de todos os “janeiros” de 1982 até 2015, todos os “fevereiros” de 1982 a 2015...assim sucessivamente até fechar em todos os dezembros da mesma série.

Sendo assim, é possível dizer se a sazonalidade nos pluviômetros estudados está homogênea ou não, exemplificando se as médias mensais apresentam tendência de queda, acrive ou se mantem. Obtivemos 54 pluviômetros sem tendência significativa, 9 pluviômetros com tendências negativas, e apenas 1 com tendência positiva.

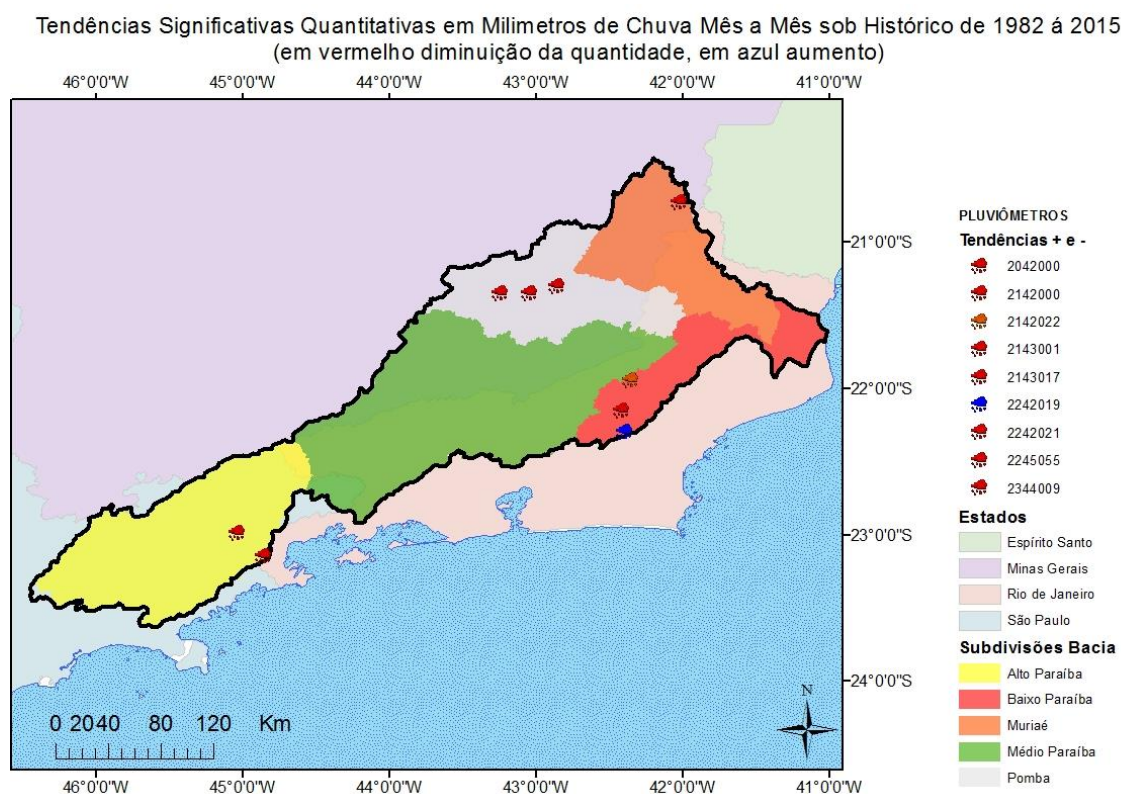


Figura 20 – Tendências Significativas dos Extremos Secos (Estiagens Severas) Fonte: Produção Própria.

Na Figura 21 conseguimos sobrepor a quantidade de chuvas com a geodiversidade, identificando que quando o relevo é dissecado e ainda quando existe presença intensa de inselbergs, pães de açúcar ou exposição da ossatura geológica, que impedem a distribuição homogênea da chuva. Todos os pluviômetros que foram identificados com tendência de diminuição de chuvas mensais estão em ambiente serrano.

Sendo assim, em períodos de fraca intensidade, as frentes frias originárias do Atlântico Sul que ocasionam as chuvas não conseguem se distribuir uniformemente. O mesmo ocorre quando a intensidade de umidade é alta, no qual o efeito orográfico gera diversas chuvas intensas, ora na Serra da Mantiqueira, ora na Serra do Mar. Em concordância com Brasiense (2016), alguns pontos como na represa do Funil entre Queluz e Nhangapi, as chuvas intensas podem ser extremamente severas devido ao “aprisionamento” destas frentes entre as Serras.

Entretanto, isto não ocorre quando se trata de eventos chamados extremos secos, já que não há apenas o fato da orografia em questão. Efeitos como o que ocasionam as chuvas convectivas estão ativos, principalmente nos locais favoráveis à intensa evaporação e aprisionamento das correntes de ar.

As frentes frias fracas a barlavento não conseguem atingir os vales, pois precisam “vencer” a Serra do Mar; porém, em alguns pontos a chuva se dá no modo convectivo. As frentes frias fracas a sotavento também devem ser suficientemente fortes para atingir o vale, pois precisam transpor a Serra da Mantiqueira.

Coltrinari (1975) ressalta a influência destas duas escarpas no clima da região, no qual esses relevos atuam como barreiras à penetração de massa úmida do Oceano Atlântico. Sendo assim, o vale apresenta-se como uma unidade de características próprias, com uma faixa de menos umidade e temperaturas mais altas.

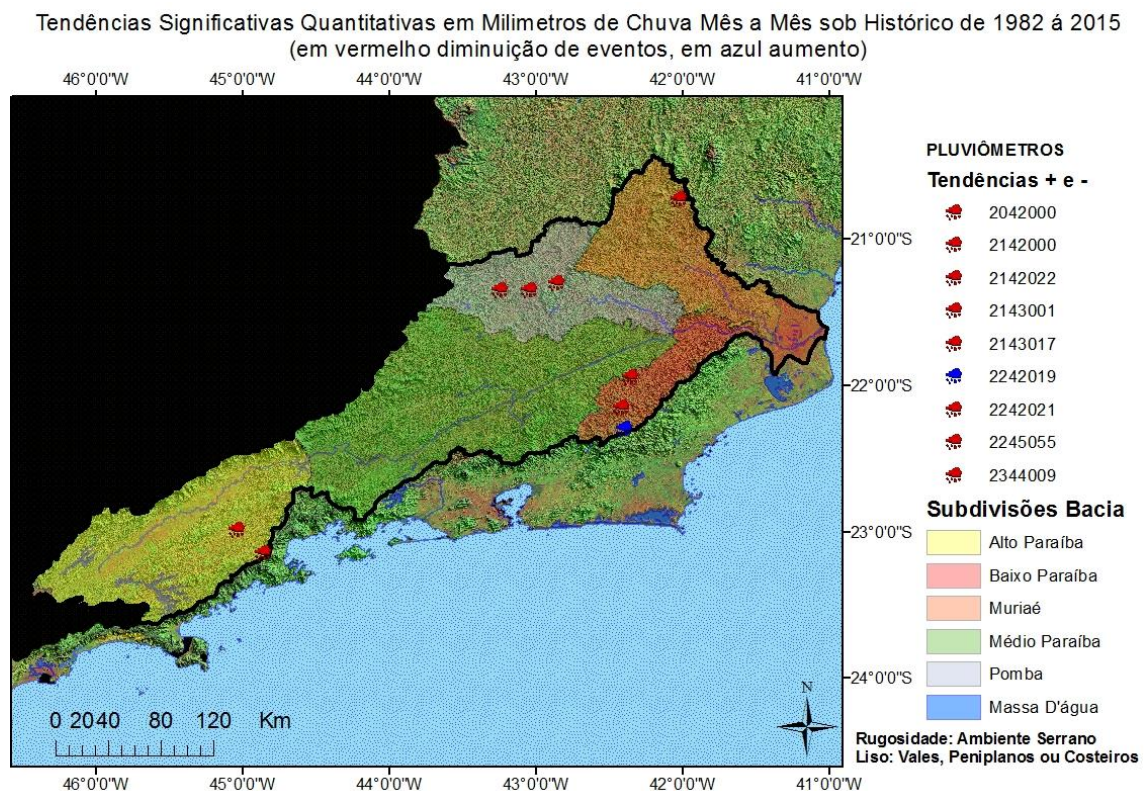


Figura 21 – Geomorfologia sobreposta com Tendências Mensais. Fonte: Produção Própria.

O Figura 22 demonstra o comportamento na Bacia do Pomba, que obteve 3 tendências negativas (Astolfo Dutra 2142000, Guarani 2143001, Tabuleiro 2143017), envoltos por morros. A massa d’água intrabacia é o Rio Pomba, que da o nome da bacia em questão.

Tendências Significativas Quantitativas em Milímetros de Chuva Mês a Mês sob Histórico de 1982 à 2015
(em vermelho diminuição de eventos, em azul aumento)

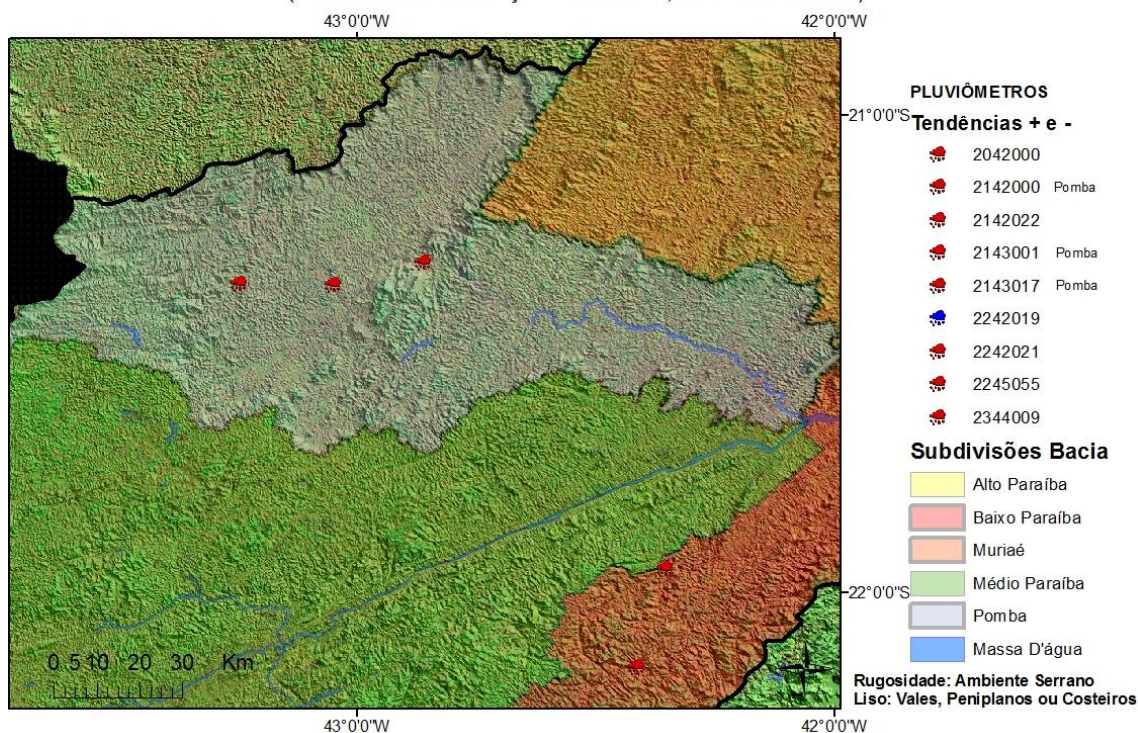


Figura 22 –Geomorfologia sobreposta com Tendências Mensais na Bacia do Pomba. Fonte: Produção Própria.

Na figura 23 abaixo podemos identificar um dos pluviômetros citados, o de Astolfo Dutra, envolto por morros da Serra da Mantiqueira (imagem no canto superior à esquerda).



Figura 23: Pluviômetro de Astolfo Dutra 02142000, envolto aos morros da Serra da Mantiqueira. Foto: Vinicius Ramos – 04.09.2015

Na figura 24 identificamos na paisagem ao redor do pluviômetro de Tabuleiro, envolto por morros altamente intemperizados por ação erosional em clima úmido, e ainda o peneplano (superfície aplainada) que é escavado pelo Rio Formoso, afluente do Rio Pomba.



Figura 24: Paisagem em derredor do pluviômetro de Tabuleiro - 02143017, caracterizado pelos morros altamente intemperizados e peneplanos. Foto: Vinicius Ramos 09.09.2015

A Figura 25 demonstra o comportamento na Bacia do Muriaé, que obteve 1 tendência negativa (Carangola 2042000) envoltos por morros e inselbergs. A massa d'água intrabacia é o Rio Muriaé, que dá o nome da bacia em questão.

Tendências Significativas Quantitativas em Milímetros de Chuva Mês a Mês sob Histórico de 1982 à 2015
(em vermelho diminuição de eventos, em azul aumento)

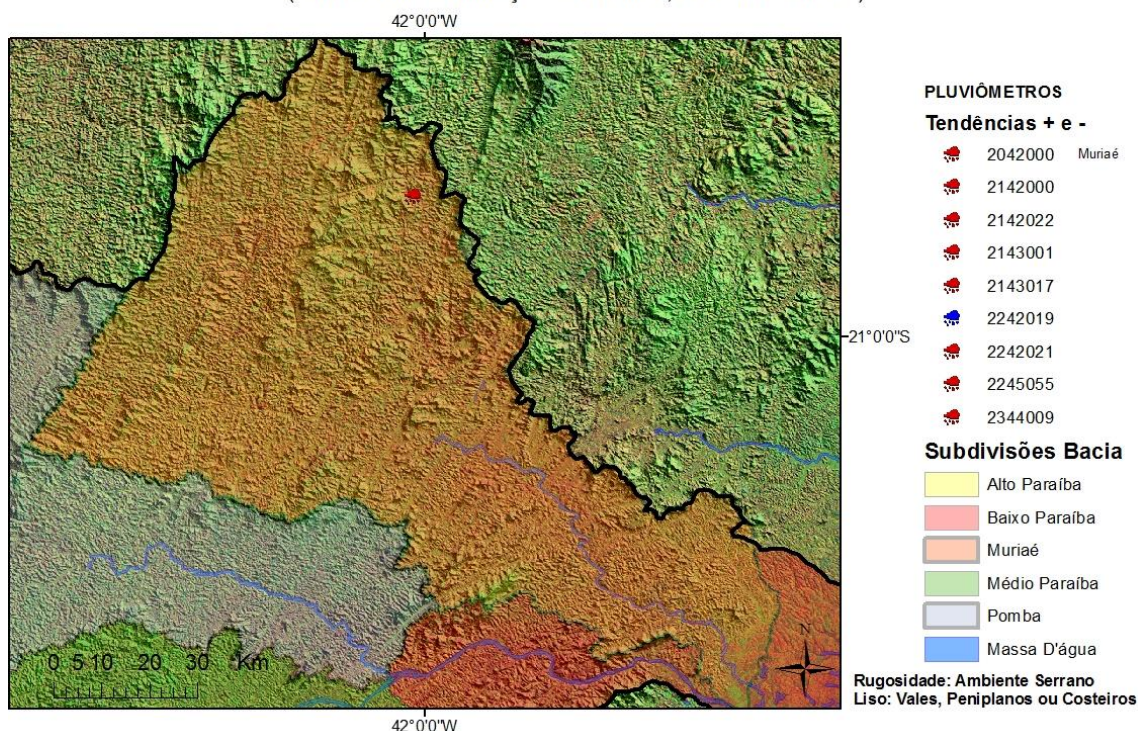


Figura 25 –Geomorfologia sobreposta com Tendências Mensais na Bacia do Muriaé. Fonte: Produção Própria.

A figura seguinte remete-se a um dos inselbergs granitóides característicos na paisagem que envolve o pluviômetro de Carangola – 02042000, com presença de argilo-solos. Quando ocorrem chuvas intensas no local a resposta é rápida, ou seja, a cota do Rio Carangola se eleva rapidamente devido à alta impermeabilidade do solo e rochas expostas.



Figura 26: Um dos Inselbergs granitóides característicos nas proximidades do pluviômetro de Carangola. Foto Vinicius Ramos 11.09.2015

Na figura 27 observamos o Baixo Paraíba e suas tendências significativas (Vargem Alta 2242019, Bom Jardim 2242021, Aldeia 2242022). Foram duas negativas e uma positiva, as duas negativas inseridas na região mais adentro da Serra do Mar e o vale, e a positiva mais próxima das regiões de escarpas.

Tendências Significativas Quantitativas em Milímetros de Chuva Mês a Mês sob Histórico de 1982 á 2015
(em vermelho diminuição de eventos, em azul aumento)

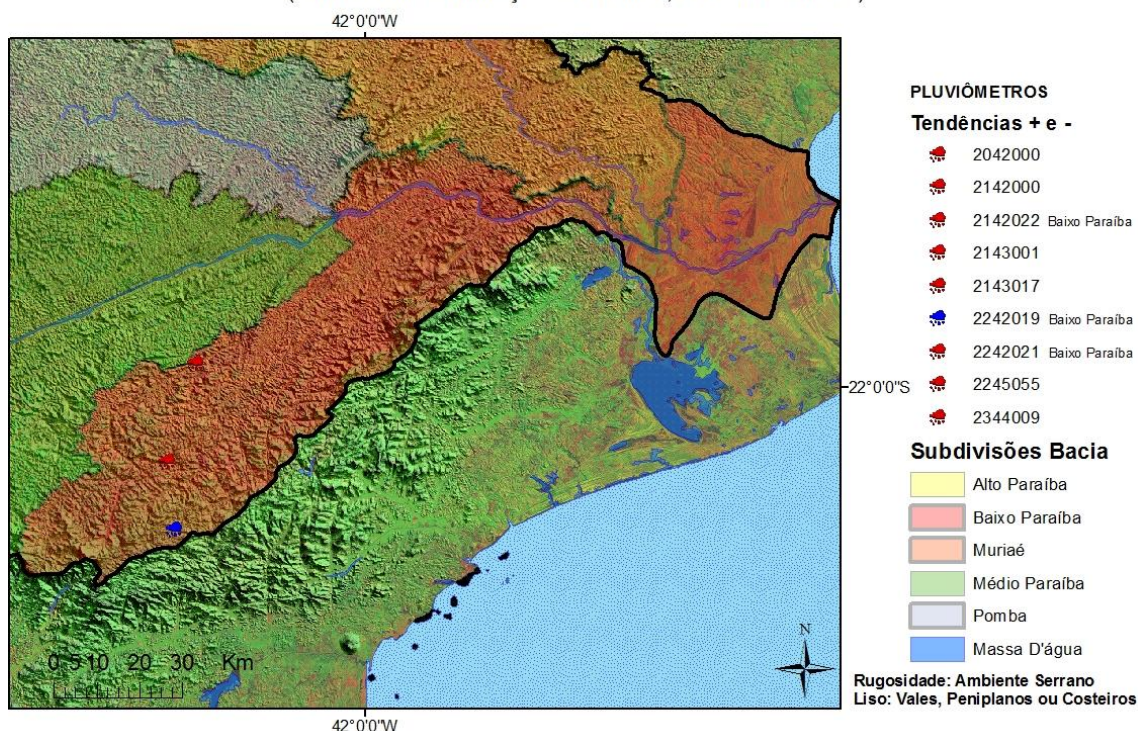


Figura 27 – Geomorfologia sobreposta com Tendências Mensais no Baixo Paraíba. Fonte: Produção Própria.

Na figura 28 observamos a paisagem do pluviômetro de Vargem Alta, as intensas formações de “Pães de Açúcar” que causam chuvas intensas orográficas. O local está ao lado de Nova Friburgo, onde ocorreu o maior desastre natural do país em 2011 com 905 óbitos. As chuvas intensas ficaram aprisionadas por dias no local, acarretando em inúmeros deslizamentos, enchentes severas e rompimento de barreiras.



Figura 28 – Paisagem nas proximidades do pluviômetro de Vargem Alta, a Serra do Mar e inselbergs graníticos elevados, ambiente propiciam a chuvas orográficas. Foto: Vinicius Ramos 03.05.2016

Na figura 29 e 30 existem formações rochosas, porém estão mais próximas do vale do que da costa. As chuvas a sotavento são menos presentes do que a de barlavento, devido à resistência anterior sofrida pelas sequências de inselbergs primários.



Figura 29: Inselbeg isolado nas proximidades do pluviômetro de Bom Jardim. Foto Vinicius Ramos 02.05.2016

Quando se atua em campo deslocando-se de Santa Maria Madalena para Itaocara, duas cidades próximas entre si (31 km em linha reta) e que estão inseridas no Baixo

Paraíba; percebe-se muito nitidamente as diferenças de temperatura e umidade, além da vegetação que muda consideravelmente.

Santa Maria Madalena é mais úmida e fria enquanto Itaocara seca e quente, isto se dá devido principalmente à mudança de relevo, sendo a primeira entre a Serra do Mar com vertentes inclinadas e floresta ombrófila densa, e a outra com morrotes, peneplanas com vegetação estacional semidecidual com muitas pastagens.



Figura 30: Inselbogs nas proximidades do pluviômetro de Aldeia. Foto Vinicius Ramos 02.05.2016

Na Figura 31 temos a subdivisão do Alto Paraíba, com duas tendências negativas significativas encontradas (Estrada do Cunha 2245055, Alto Serra do Mar 2344009).

Tendências Significativas Quantitativas em Milímetros de Chuva Mês a Mês sob Histórico de 1982 à 2015
(em vermelho diminuição de eventos, em azul aumento)

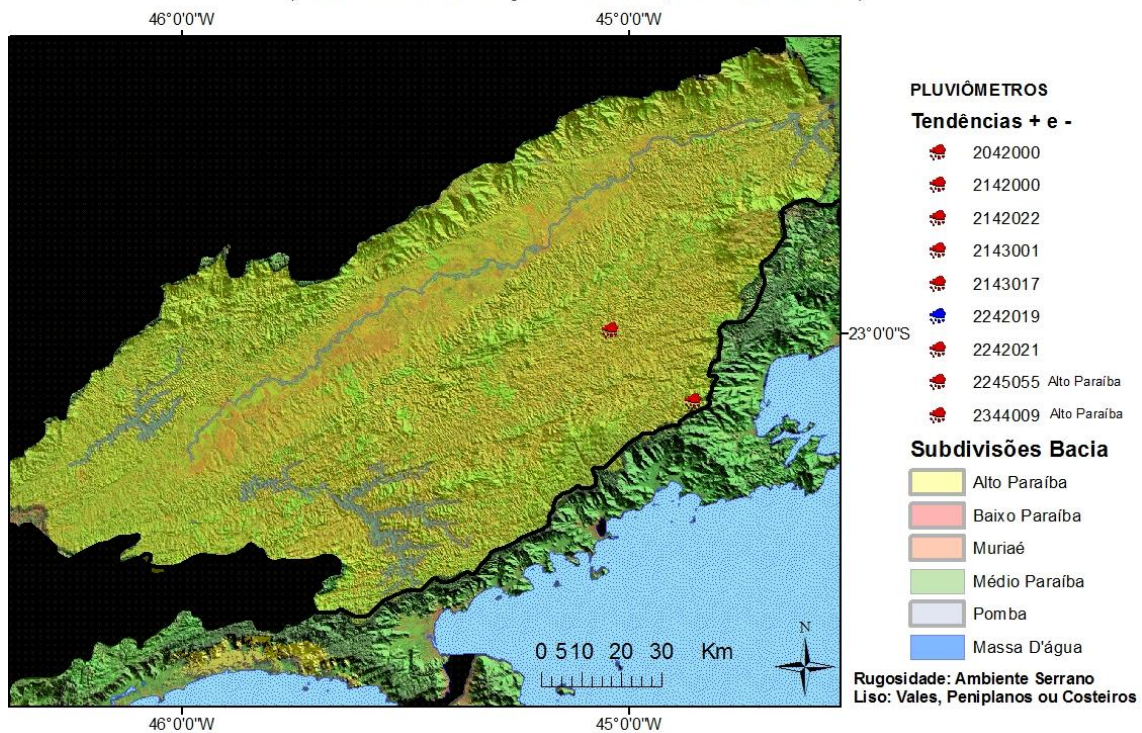


Figura 31 – Geomorfologia sobreposta com Tendências Mensais no Alto Paraíba. Fonte: Produção Própria.

Nas Figuras 32 e 33 observamos as paisagens encontradas em Alto da Serra do Mar e Estrada do Cunha. Notou-se uma diminuição em quantidade de chuva nestes dois pluviômetros talvez devido à resistência que a Serra do Mar exerce as chuvas de barlavento.



Figura 32: Paisagem vista a caminho do pluviômetro Alto da Serra do Mar. Ao fundo a Serra da Mantiqueira, no fundo do vale se dá o Rio Paraíba do Sul, na Represa do Funil. Foto: Vinicius Ramos 07.07.2016

Para tirar esta dúvida precisaríamos trabalhar os dados da bacia litorânea, com o intuito de saber se houve um aumento das chuvas nas escarpas da Serra do Mar. Caso o resultado fosse negativo, poderíamos inferir que a umidade que chega do Atlântico está menos presente do que no início da série histórica, porém requer maiores estudos.



Figura 33: Telemetria no topo da Serra do Mar, próximo aos 1500 metros. Foto Vinicius Ramos 27.04.2016

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal foi atingido, obtivemos dados estatísticos surpreendentes, gerando tendência negativa para ambos os eventos, tanto na diminuição dos eventos de extremo seco como extremos chuvosos. Com os resultados obtidos foi possível analisarmos dos dados correlacionando-os com a variação do clima e do relevo.

Entretanto, quanto ao objetivo específico de correlacionar os extremos com a variabilidade climática e as geoesculturas, foi atingido parcialmente, havendo a necessidade de pesquisas mais aprofundadas e tempo hábil. Embora os trabalhos de campo tenham cumprido com o desejado, a avaliação da influência do relevo sobre a distribuição espacial de precipitações poderiam futuramente realizar-se por modelo matemático, como exemplo de análise de regressão da precipitação média anual em função das altitudes médias.

Houve uma diminuição nas precipitações intensas em partes isoladas da bacia e também na diminuição de extremos chuvosos em áreas esparsas. Todos os pluviômetros que foram identificados com tendência de diminuição de chuvas mensais estão em ambiente serrano.

A somatória de todos os resultados nos remete à alusão de que as chuvas ao longo deste período histórico estão, de alguma maneira, distribuindo-se de forma mais regular. As influências das ZCAS que ocorrem na bacia fazem com que a distribuição de chuvas ao longo da série histórica seja de forma moderada.

Ocorreram períodos de eventos climáticos que foram determinantes para a tendência da série histórica estudada, a saber, os El Niños de 1982, 1998 e 2015, sendo os dois primeiros intensificando as chuvas intensas e o último intensificando os extremos secos. Notou-se que nem sempre o El Niño é determinante para a mudança das tendências, sendo observados eventos em época de La Niña.

Um deles foi em 2000, quando as precipitações intensas se intensificaram por conta de uma formação de VCEZ - Vórtices Ciclônicos Embebido na ZCAS. No Alto Paraíba houve um aumento nas precipitações intensas em um curto espaço de tempo, proporcionando grandes inundações. Em 2011 ocorreu um caso parecido, porém intensificado no Baixo Paraíba, mais especificamente na região de Nova Friburgo, onde ocorreu o maior desastre natural do país com chuvas intensas, deslizamentos e inundações.

Ficou muito claro que nestes dois casos que o relevo escarpado entre as Serras do Mar e Mantiqueira atuam como verdadeiras barreiras à penetração de massa úmida ou ainda ao aprisionamento pontual dela, aumentando a severidade dos eventos.

Desta maneira, em períodos de baixa intensidade, as frentes frias originárias do Atlântico Sul que ocasionam as chuvas não conseguem se distribuir uniformemente. O mesmo ocorre quando a intensidade de umidade é alta, no qual o efeito orográfico gera diversas chuvas intensas, ora na Serra da Mantiqueira, ora na Serra do Mar.

Em campo, foi possível identificar casos como Santa Maria Madalena e Itaocara, cidades próximas entre si em um raio de 31 km, inseridas no Baixo Paraíba. Enquanto Santa Maria Madalena é mais úmida e fria e com vegetação ombrófila densa, Itaocara é quente e seca, com vegetação estacional semidecidual. Isto ocorre pelo fato de as chuvas a sotavento serem menos presentes do que a barlavento, ocasionadas devido à resistência sofrida pelas sequências de inselbers primários.

Assim, a hipótese de que os eventos extremos seriam influenciados pela variabilidade climática e geoesculturas foi parcialmente corroborada, esclarecendo os resultados encontrados com as observações obtidas em campo, mas sendo necessária pesquisa mais aprofundada e detalhada.

A grande preocupação ficaria no Médio Paraíba, onde se nota a diminuição das chuvas intensas e o aumento dos extremos secos, sendo o local menos regular. Estes dois eventos alinhados poderão interferir negativamente na quantidade de chuva anual. Porém, estes dados sobrepostos às tendências mensais mantiveram-se regulares e homogêneos.

Outra observação ficaria na Bacia do Pomba em relação a quantidade mensal de chuvas. Houve tendência de queda em três pluviômetros centralizados nesta bacia. Embora tenham diminuído os eventos de extremos secos, em um pluviômetro ocorreu a tendência de queda de chuvas intensas.

Contudo, manteve-se homogênea a maior parte dos resultados, sem queda ou ascendência, concluindo que o regime de chuvas está regular na série histórica, e do fato de que, esses resultados estão distribuídos de forma regular ao longo da bacia.

7. BIBLIOGRAFIA

- AB´SABER, Assiz, N. São Paulo: Ensaios entreveros. Editora da Universidade de São Paulo. Imprensa Oficial do Estado de São Paulo. Pg. 227-229. 2004
- AB´SABER, Assiz, N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. São Paulo, IGEOG-USP, 1969.
- AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS, ANA. www.ana.gov.br
- ANTUNES, Adriano, S.A. Fenômenos de precipitação intensa: análise de espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP. FFLCH-USP. 2015
- BENTI, César, A.A. Caracterização hidrodinâmica e elétrica de sistemas convectivos de mesoescala. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. 2012.
- BRASILIENSE, C. S. Chuvas intensas associadas a inundações na bacia do rio Paraíba do sul em janeiro/2000. II IPTMU – Encontro sobre impactos potenciais de desastres naturais em infraestrutura de transporte e mobilidade urbana. São Jose dos Campos.Pg.3
- CARVALHO, L.M.V; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South American and large-scale convective patterns in the south Atlantic convergence zone. Department of Atmospheric Sciences, Institute of Astronomy and Geophysics, University of São Paulo, Brazil, 2002.
- CAVALCANTI, Iracema. F.A., Tempo e Clima no Brasil, Oficina de Textos, 2009.
- COLTRINARI, L. Contribuição a Geomorfologia da Região de Guaratingueta-Aparecida. Tese de Doutorado. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo. 1975. 156 pg.
- CHISTOFOLETTI, Antonio. Geomorfologia Fluvial. São Paulo. Edgard Blucher, 1981
- KENDALL, M.G.. Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London. 1975
- LONGLEY, P. A. et al. Sistemas da Informação Geográfica. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p.
- MONTEIRO, C.A.F.A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo. São Paulo: IG/USP, 1973. 130 pg.
- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Multivariate ENSO Index, MEI.
- NAGHETTINI, Mauro. PINTO, Éber, J.A. Hidrologia Estatística. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2007.
- NEETI, N; EASTMAN, J.R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. Transactions in GIS, 15(5): 599-611. 2011.
- NOGUEIRA, J. D. de L. AMARAL, R. F. do. Comparação entre métodos de interpolação (*krigagem e topo to raster*) na elaboração da batimetria na área da folha Touros - RN. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil, 25-30 Abril 2009, INPE, p. 4117-4123.
- ROSS, Jurandyr L., Sanches. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. Revista do Departamento de Geografia, FFLCH-USP, São Paulo.
- VENTURI, L.A.B. Recurso natural: a construção de um conceito. In: Ensaios geográficos. São Paulo: Humanitas, 2008.
- VENTURI, L.A.B. (Organizador) Práticas de Campo, Laboratório e Sala de Aula. Capítulo 3-Técnica em Hidrografia, Rodrigues (et al.). Editora Sarandi. 528 pgs.
- YAMAMOTO, J. K. Representações gráficas espaciais em geociências auxiliadas por computador. In: Revista Brasileira de Geociências. 3-26 Março 1988.
- YUE, S; PILON, P; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of Hydrology 259:254-271. 2002

XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S. Classificação de anos secos e chuvosos na região nordeste do Brasil e sua distribuição espacial. Hidráulica, Universidade do Ceará. 1982. ZHANG, W; YAN, Y; ZHENG, J; LI, L; DONG, X; CAI, H. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. Global and Planetary Change 69:35-47. 2009.

ANEXOS

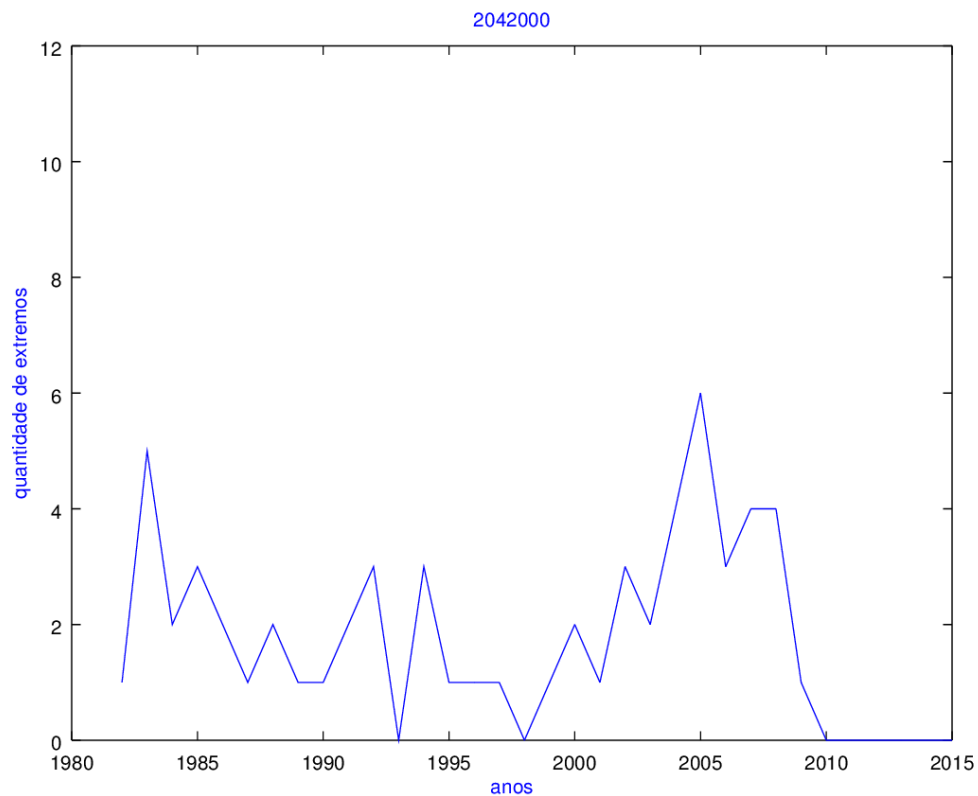


Figura 34– Exemplo de Gráfico de quantidade de eventos de chuvas intensas ao longo dos anos. Foram gerados 192 gráficos, três para cada pluviômetro e suas tendências significativas.