

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO**

**TENDÊNCIAS E EXTREMOS DA PLUVIOSIDADE NA REGIÃO HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO FRANCISCO**

MARIANA MENDES SILVA

UBERLÂNDIA/MG

2021

MARIANA MENDES SILVA

**TENDÊNCIAS E EXTREMOS DA PLUVIOSIDADE NA REGIÃO HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO FRANCISCO**

Tese de Doutorado apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como requisito parcial à obtenção do título de doutora em Geografia.

Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território

Linha de Pesquisa: Análise, Planejamento e Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira

UBERLÂNDIA

2021

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586
2021

Silva, Mariana Mendes, 1987-
Tendências e Extremos da Pluviosidade na Região
Hidrográfica do Rio São Francisco [recurso eletrônico] /
Mariana Mendes Silva. - 2021.

Orientador: Vanderlei de Oliveira Ferreira.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Geografia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.214>
Inclui bibliografia.

1. Geografia. I. Ferreira, Vanderlei de Oliveira, 1967-
, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	[GEOGRAFIA]				
Defesa de:	Tese de Doutorado Acadêmico, Número 207, PPGGEO				
Data:	26 de março de 2021	Hora de início:	14h:00m	Hora de encerramento:	17h:20m
Matrícula do Discente:	11713GEO008				
Nome do Discente:	MARIANA MENDES SILVA				
Título do Trabalho:	TENDÊNCIAS E EXTREMOS DA PLUVIOSIDADE NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO				
Área de concentração:	GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO				
Linha de pesquisa:	ANÁLISE, PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL/GEOPROCESSAMENTO				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se no Anfiteatro/Sala [\[online\]](#), formato [Google Meet](#), da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em [GEOGRAFIA](#), assim composta: Professores Doutores: [Rafael de Ávila Rodrigues - UFCAT - GO](#); [Cássia de Castro Martins Ferreira - UFJF - MG](#); [Rildo Aparecido Costa - UFU - PONTAL](#); [Claudionor Ribeiro da Silva - IG-UFU](#) e [Vanderlei de Oliveira Ferreira - IG-UFU](#), orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa, Dr(a). [Vanderlei de Oliveira Ferreira - IG-UFU](#), apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa. Em função da Pandemia COVID-19, todos os membros participaram de forma remota (online).

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de [Doutora](#).

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Vanderlei de Oliveira Ferreira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/03/2021, às 17:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Claudionor Ribeiro da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/03/2021, às 18:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rildo Aparecido Costa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/03/2021, às 10:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cássia de Castro Martins Ferreira, Usuário Externo**, em 29/03/2021, às 14:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael de Ávila Rodrigues, Usuário Externo**, em 29/03/2021, às 15:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2650222** e o código CRC **AEB658F2**.

MARIANA MENDES SILVA

**TENDÊNCIAS E EXTREMOS DA PLUVIOSIDADE NA REGIÃO HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO FRANCISCO**

Tese de Doutorado apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como requisito parcial à obtenção do título de doutora em Geografia.

Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território

Uberlândia, 26 de março de 2021.

Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira (Orientador - UFU)

Prof. Dr. Claudionor Ribeiro Silva (UFU)

Prof. Dr. Rildo Aparecido Costa (UFU)

Profª. Dra. Cássia de Castro Martins Ferreira (UFJF)

Prof. Dr. Rafael de Ávila Rodrigues (UFG)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e pela oportunidade de progresso intelectual e espiritual.

Ao meu marido, Dane Marques de Ávila, por fazer parte de minha vida com carinho, amor, dedicação e paciência. E por ter sido essencial no desenvolvimento desta tese.

Aos meus pais, Celma Camila Mendes Silva e Franco Genuino da Silva, por me darem a vida e por se dedicarem tanto a mim.

Às minhas irmãs, Catarina Mendes Silva e Graziela Mendes Silva, pelo carinho, amor e companheirismo.

À família de meu marido, pelo amor e carinho.

Ao Professor Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira pela amizade e carinho, além da sua dedicação e comprometimento com nosso trabalho.

Ao médico ginecologista Dr. Valdevino Casarotti, que me proporcionou uma melhor qualidade de vida e que tanto zelou e zela por mim. Além de toda a equipe médica envolvida nos procedimentos que fui submetida.

À Universidade Federal de Uberlândia – UFU, ao Instituto de Geografia – IG e ao Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGeo por me proporcionarem tanto uma formação de pesquisador e docente quanto de humanidade.

Aos amigos que fiz na Geografia e que tenho levado para a vida.

Às escolas que já lecionei, agradeço pelos ensinamentos e as doces lembranças.

Aos professores Dra. Cássia e Castro Martins Ferreira, Dr. Rafael de Ávila Rodrigues e, em especial, aos professores Dr. Rildo Aparecido Costa e Dr. Claudionor Ribeiro da Silva pela dedicação ao trabalho, ensinamentos e sugestões.

Enfim, a todos aqueles que direta e indiretamente cooperaram para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Estudos e conhecimentos do clima são fundamentais para o planejamento e gestão do uso dos recursos naturais pelas atividades econômicas. No contexto das mudanças climáticas, espera-se que o aumento da média da temperatura em todas as escalas, gere impactos no ciclo hidrológico e, conseqüentemente, afete todo o sistema natural e humano. Como a chuva representa a fase mais importante do ciclo hidrológico e é um dos elementos essenciais para a vida, é importante cada vez mais estudos científicos que identifiquem e analisem possíveis variabilidades e/ou mudanças no ritmo pluviométrico. Nesta perspectiva, esta pesquisa tem como objetivo geral estudar as tendências e extremos pluviométricos na Região Hidrográfica do Rio São Francisco, que por sua vez tem relevância nos contextos nacional e regional/local e pelo fato de apresentar adversidades quanto à disponibilidade e demanda hídrica. Acredita-se que esta região hidrográfica tem passado por um aumento de temperatura, uma diminuição das chuvas e apresentado eventos de extremos climáticos (principalmente com secas mais severas), agravando sua situação como um todo, mas principalmente da parte semiárida, causando impactos significativos para as populações que nela habitam. Para tanto, foram utilizados dados de 124 postos pluviométricos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), cujo período analisado foi de 1976 a 2015 (40 anos). Realizou-se, o tratamento estatístico dos dados de pluviometria para o conhecimento da variabilidade pluviométrica. Posteriormente, foram aplicadas outras ferramentas matemáticas e estatísticas apropriadas para o estudo de tendências pluviométricas, tais como: Análise de Regressão Linear, Teste de Mann-Kendall e Teste do Sinal e, para identificar e avaliar possíveis eventos extremos, foram utilizados o *Standardized Precipitation Index – SPI* (ou Índice de Precipitação Padronizada – IPP) e o *Rainfall Anomaly Index – RAI* (ou Índice de Anomalia de Chuva – IAC), além da análise do intervalo de confiança (máximo e mínimo) calculado a partir do desvio-padrão e da média. Os resultados confirmam que existe uma grande variação espacial da pluviometria na área de estudo, isto é, padrão decrescente das chuvas de suas nascentes até a foz do rio São Francisco. A pluviosidade média anual da área de estudo é em torno de 950 mm, variando ao longo das sub-bacias desde menos de 550 mm até um pouco mais de 1400 mm, ressaltando que as maiores médias dos totais anuais estão localizadas na parte mineira e as menores médias nas sub-bacias 47, 48 e 49, localizadas nos estados da Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. Constatou-se também que a maioria das sub-bacias concentram suas chuvas entre outubro e março, em exceção das sub-bacias 48 (entre dezembro e maio) e 49 (entre janeiro e agosto). Os meses que possuem as maiores médias mensais da área de estudo são janeiro e dezembro e os meses com menores médias mensais são agosto e setembro. Os episódios acima dos intervalos máximos do desvio padrão na região hidrográfica ocorrem no mês de abril e o mês de março é o que possui maior quantidade de episódios abaixo dos intervalos mínimos do desvio padrão. Os resultados do SPI indicam que 45% do total de ocorrências mensais estão na classe normal (N) e que a diferença de porcentagem do somatório dos extremos positivos e negativos é de apenas 5%. E nos produtos do RAI a classe muito seca (S2) é a que apresenta a maior porcentagem de ocorrências na área de estudo, além de que, a sub-bacia 47, em particular, tem nesta classe mais de 49% do total de eventos. Quanto aos testes de Regressão Linear, Mann-Kendall e do Sinal, os resultados mostram uma diminuição das chuvas na região hidrográfica no intervalo temporal deste estudo. Entre os 12 meses do ano, 11 apresentaram predominância no decréscimo da pluviometria na Regressão Linear e 10 meses em cada um dos outros dois testes. Ademais os meses com significativas ocorrências de diminuição da pluviometria nos 3 testes são: janeiro, fevereiro, julho e setembro, além do total anual. As ocorrências que ficaram acima dos intervalos máximos e

abaixo dos intervalos mínimos do desvio padrão por década indicam que há um decréscimo no número de eventos acima dos intervalos máximos, o que corresponde a uma maior homogeneidade dos dados ao longo das décadas, além de que, não foi possível fazer deduções sobre as ocorrências abaixo dos intervalos mínimos, em razão da aleatoriedade dos resultados. Sobre os produtos do SPI e do RAI por décadas, de modo geral, identificou-se que a diminuição dos extremos positivos e o aumento dos extremos negativos é mais facilmente detectado no RAI do que no SPI. O decréscimo das ocorrências do SPI também foi visualizado nos resultados do RAI e os aumentos dos extremos negativos foram constatados mais claramente no método RAI que no SPI.

Palavras-chave: Variabilidade Climática; Mudanças Climáticas; Tendências Pluviométricas; Eventos de Extremos Pluviométricos.

ABSTRACT

Studies and knowledge of the climate are fundamental for planning and managing the use of natural resources for economic activities. In the context of climate change, it is expected that the increase in the average temperature at all scales will generate impacts on the hydrological cycle and, consequently, affect the entire natural and human system. As rain represents the most important phase of the hydrological cycle and is one of the essential elements for life, it is increasingly important scientific studies that identify and analyze possible variability and/or change in the pluviometric rhythm. In this perspective, this research has as its general objective to study the trends and rainfall extremes in the São Francisco River Hydrographic Region, which in turn has relevance in national and regional/local contexts and because it presents adversities in terms of hydric availability and demand. It is believed that this hydrographic region is going through an increase in temperature, a decrease in rainfall and the presence of climatic extremes (mainly with more severe droughts), aggravating its situation as a whole, but mainly in the semiarid part, causing significant impacts for the populations that inhabit it. For this purpose, were used data from 124 pluviometric stations made available by Agência Nacional de Águas (ANA), whose analyzed period was from 1976 to 2015 (40 years). First, the statistical treatment of the pluviometry data was carried for knowledge of the rainfall variability. After, other appropriate mathematical and statistical tools were applied for the study of pluviometric trends, such as: Linear Regression Analysis, Mann-Kendall Test and Signal Test and, to identify and evaluate possible extreme events, the Standardized Precipitation Index – SPI (or Índice de Precipitação Padronizada – IPP) e o Rainfall Anomaly Index – RAI (or Índice de Anomalia de Chuva – IAC) were used, besides of the confidence interval analysis (maximum and minimum) calculated from the standard deviation and the average. The results confirm that there is a great spatial variation of pluviometric in the study area, that is, a decreasing standard of the rainfall from of its springs to the mouth of the São Francisco River. The average annual rainfall of the study area is around 950 mm, varying along the sub-basins from less than 550 mm to just over 1400 mm, emphasizing that the highest averages of the annual totals are located in the state of Minas Gerais and the lowest averages in sub-basins 47, 48 and 49, located in the states of Bahia, Pernambuco, Alagoas and Sergipe. It was also found that most of the sub-basins concentrate their rains between October and March, in exception of the sub-basins 48 (between December and May) and 49 (between January and August). The months with the highest monthly averages in the study area are January and December and the months with the lowest monthly averages are August and September. The episodes above of the maximum intervals of the standard deviation in the hydrographic region occur in the month of April and the month of March has the highest number of episodes below the minimum interval of the standard deviation. The SPI results indicate that 45% of the total monthly occurrences are in the normal class (N) and that the difference in percentage of the summation of the positive and negative extremes is only 5%. And in the RAI products, the very dry class (S2) is the one with the highest percentage of occurrences in the study area, besides that, the sub-basin 47, in particular, presents in this class more than 49% of the total events. About the tests of Linear Regression, Mann-Kendall and of the Sinal, the results show a reduction of the rainfall in the hydrographic region in the time interval of this study. Between the 12 months of the year, 11 showed a predominance of decreasing rainfall in Linear Regression and 10 months in each of the other two tests. Moreover, the months with significant occurrences of reduction of the pluviometry in the 3 tests are: January, February, July and September, in addition to the annual total. The occurrences that were above the maximum interval and below the minimum interval of the

standard deviation per decade indicate that there is a decrease in the number of events above the maximum interval, which corresponds to a greater homogeneity of data over the decades, in addition, it was not possible to make deductions about the occurrences below the minimum intervals, due to the randomness of the results. About the SPI and RAI products per decades, in general, it was identified that the reduction of the positive extremes and the increase of the negative extremes is more easily detected in RAI than in SPI. The decrease of the SPI occurrences was also visualized in the results of the RAI and the increase of the negative extremes were verified more clearly in the RAI method than in the SPI.

Keywords: Climatic Variability; Climate Changes; Pluviometric Trends; Events of Pluviometric Extremes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de localização da Região Hidrográfica do Rio São Francisco, 2019...	44
Figura 02 – Divisão Fisiográfica da Região Hidrográfica do Rio São Francisco, 2017....	46
Figura 03 – Fluxograma da Pesquisa, 2020.....	57
Figura 04 – Localização dos 124 postos pluviométricos adotados na pesquisa, 2018.....	61
Figura 05 – Máximo, média e mínimo da pluviosidade anual (mm) por sub-bacia (1976-2015).....	77
Figura 06 – Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) anual da pluviosidade (mm) por sub-bacia (1976-2015).....	79
Figura 07 – Porcentagem (%) do nº de ocorrências nos totais anuais por classes do SPI por Sub-bacia.....	82
Figura 08 – Porcentagem (%) do nº de ocorrências nos totais anuais por classes do RAI por Sub-bacia.....	83
Figura 09 – Média, máximo e mínimo da pluviosidade mensal (mm) por sub-bacia (1976-2015).....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Informações dos postos pluviométricos adotados na pesquisa, 2017.....	58
Quadro 02 – Valores do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) e categorias de seca ou umidade.....	68
Quadro 03 – Valores do Índice de Anomalia de Chuva (RAI) e categorias de seca ou umidade.....	69
Quadro 04 – Contagem do número de ocorrências que ficaram acima do intervalo máximo do desvio padrão.....	87
Quadro 05 – Contagem do número de ocorrências que ficaram abaixo do intervalo mínimo do desvio padrão.....	88
Quadro 06 – Número de ocorrências mensais por classes do SPI por Sub-bacia.....	89
Quadro 07 – Número de ocorrências mensais por classes do RAI por Sub-bacia.....	91
Quadro 08 – Resultados da Regressão Linear, do Teste de Mann-Kendall e do Teste do Sinal.....	95
Quadro 09 – Ocorrências que ficaram acima do intervalo máximo do desvio padrão por década.....	102
Quadro 10 – Ocorrências que ficaram abaixo do intervalo mínimo do desvio padrão por década.....	104
Quadro 11 – Número de ocorrências decadais por classes do SPI por sub-bacia.....	107
Quadro 12 – Número de ocorrências decadais por classes do RAI por sub-bacia.....	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ASF	Alto São Francisco
AST	Análise de Séries Temporais
BSF	Baixo São Francisco
CBHSF	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
CDD	Dias Consecutivos Secos
DOLs	Distúrbios Ondulatórios de Leste
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS/ENSO	<i>El Niño</i> Oscilação Sul
GEE	Gases do Efeito Estufa
ICLEI	<i>Local Governments for Sustainability</i> / Governos Locais pela Sustentabilidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> / Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
MCG	Modelo de Circulação Geral
MCGAO	Modelo de Circulação Geral Atmosfera-Oceano
NEB	Nordeste Brasileiro
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> / Administração Oceânica e Atmosférica Nacional
OL	Onda de Leste
OMM	Organização Meteorológica Mundial

ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RAI	<i>Rainfall Anomaly Index</i> / Índice de Anomalia de Chuva
SF	Sistema Frontal
SFHN	Sistema Frontal do Hemisfério Norte
SFHS	Sistema Frontal do Hemisfério Sul
SPI	<i>Standardized Precipitation Index</i> / Índice Padronizado de Precipitação
SRES	<i>Special Report on Emissions Scenarios</i> / Relatório Especial sobre Cenários de Emissões
SREX	<i>Managing the risks of extreme events and disasters to Climate Change</i> / Relatório Especial sobre Gerenciamento de Riscos de Eventos Extremos e Desastres para promover adaptação à Mudança Climática
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
Unicamp	Universidade de Campinas
Unesp	Universidade Estadual Paulista
UNISDR	<i>United Nations International Strategy for Disaster Reduction</i> / Estratégia Internacional das Nações Unidas para Redução de Desastres
USP	Universidade de São Paulo
VCAN	Vórtice Ciclônico de Alto Nível
VCAS	Vórtice Ciclônico de Ar Superior
ZCAT	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	17
CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL.....	20
1.1 As mudanças climáticas no Brasil: desafios da modelagem aplicada aos cenários regionalizados.....	20
1.1.1 O Brasil no contexto global.....	20
1.1.2 A questão dos extremos climáticos.....	26
1.1.2.1 Algumas ocorrências de extremos climáticos no mundo e no Brasil.....	31
1.1.3 A importância das ferramentas matemáticas e estatísticas para o estudo de tendências e de eventos extremos de pluviometria.....	38
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	43
2.1 A Região Hidrográfica do Rio São Francisco: localização e características fisiográficas.....	43
2.2 O clima e a dinâmica dos sistemas atmosféricos na Região Hidrográfica do Rio São Francisco.....	48
CAPÍTULO 3 – ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS.....	55
3.1 Fluxograma da pesquisa.....	55
3.2 Organização do banco de dados.....	57
3.3 Técnicas e instrumentos aplicados à avaliação de eventos de extremos pluviométricos.....	61
3.4 Técnicas e instrumentos aplicados à avaliação de tendências pluviométricas de longo prazo.....	70
CAPÍTULO 4 – VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA.....	74
4.1 Escala temporal anual.....	74

4.2 Escala temporal mensal.....	84
CAPÍTULO 5 – TENDÊNCIAS DE LONGO PRAZO.....	93
5.1 Análise pretérita e prognósticos relacionados às médias mensais e anuais.....	93
5.2 Avaliação de tendências relacionadas aos eventos de extremos pluviométricos.....	101
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
ANEXOS.....	125

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) existem evidências científicas que apontam para o aumento da temperatura no sistema Terra-Atmosfera, sinalizando um quadro de mudanças climáticas globais que repercutem nas escalas inferiores. Tal elevação da temperatura média do sistema Terra-Atmosfera altera o ciclo hidrológico, causando impactos ambientais intensos para o sistema natural e atividades econômicas.

Como a chuva representa a fase mais importante do ciclo hidrológico, sendo a fonte primária de água doce terrestre, é essencial ter o conhecimento da distribuição temporal e espacial da pluviosidade, assim como a identificação da existência de extremos pluviométricos e determinação de tendências para que a compreensão mais detalhada da variabilidade pluviométrica e dos efeitos das mudanças climáticas auxilie na gestão dos recursos naturais e na racionalização do uso e ocupação do solo.

Ainda que estudos voltados para as mudanças climáticas mostrem elevação de temperatura e seus impactos para as populações e a natureza, a temática até então se mostra complexa diante dos modelos matemáticos e computacionais, pois a mudança climática envolve um dinamismo sistêmico, já que o clima não é definido apenas pela temperatura. Além de que, pressupor as futuras ações humanas é algo difícil.

É possível afirmar que experiências de modelagem de projeções de mudanças climáticas em escala global têm apresentado resultados satisfatórios. Já em escala regional e local, os pesquisadores têm enfrentado maiores empecilhos devido ao fato da necessidade de melhorias na resolução espacial e do custo computacional, pois a quantidade de espaço para armazenamento das informações tem sido uma objeção que impossibilita muitas vezes este

caminho. Neste sentido, alternativas simplistas com a utilização de métodos, técnicas e instrumentos matemáticos e estatísticos para estudar as mudanças climáticas em escala regional têm mostrado bons resultados.

Compreender, estabelecer padrões e estudar anomalias em relação ao comportamento da pluviosidade e de suas tendências auxilia na tomada de decisões em relação às medidas necessárias para minimizar os danos das irregularidades climáticas nas atividades produtivas e subsídios para situações de alto risco para a sociedade, além de auxiliar no entendimento sobre as mudanças climáticas em escalas global e regional/local.

Nesta lógica, a presente tese tem como objetivo geral estudar os extremos e as tendências pluviométricas na Região Hidrográfica do Rio São Francisco no contexto das mudanças climáticas, fazendo o uso comparativo de técnicas e instrumentos matemáticos e estatísticos (critérios múltiplos). Para tanto, foram traçados os seguintes objetivos específicos: reafirmar de maneira sucinta a tese das mudanças climáticas e os desafios em relação à modelagem, sobretudo em cenários regionalizados; estudar os extremos climáticos e alguns exemplos de ocorrências no Brasil e no mundo; identificar e compreender a variabilidade pluviométrica nas escalas anual e mensal e observar os eventos extremos positivos e negativos; e, por fim, aplicar técnicas e instrumentos de tendências pluviométricas de longo prazo na área de estudo e avaliá-los e compará-los.

Tendo em vista tal objetivo de discutir as mudanças climáticas e compreender o regime pluviométrico e os seus extremos e tendências, a área de estudo selecionada como ponto central dessa pesquisa é a Região Hidrográfica do Rio São Francisco, dada a sua relevância no que se refere às adversidades nela existentes e principalmente no que diz respeito à disponibilidade e demanda hídrica. É importante ressaltar que 58% da área da bacia é parte do Polígono das Secas. Além de a mesma estar sujeita aos efeitos do processo de

desertificação e do empreendimento da transposição do Rio São Francisco e de outros projetos que interferem fortemente no perfil longitudinal e transversal dos cursos d'água.

A Região Hidrográfica do Rio São Francisco possui um desequilíbrio entre oferta e demanda dos recursos naturais frente às necessidades básicas das populações que nela habitam, tem especificidades fisiográficas e os sistemas atmosféricos dinâmicos atuantes ao longo da bacia resultam em condições particulares de clima, solo, vegetação e relações sociais.

Essa região possui diferentes climas, incluindo tropical úmido e temperado de altitude no Alto São Francisco, tropical semiárido e subúmido seco no Médio São Francisco, semiárido e árido no Submédio São Francisco e subúmido no Baixo São Francisco, conforme classificação climática de Köppen-Geiger (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2004). Dessa forma, é possível observar regiões onde o clima é mais chuvoso e áreas onde o clima tem por características ausência, escassez, frequência reduzida da quantidade e distribuição de chuvas.

A presente tese foi estruturada em cinco capítulos. Primeiramente, nas Considerações Iniciais são expostos a contextualização da proposta da tese, a justificativa, os objetivos e a estrutura da mesma. No primeiro capítulo “Referencial Teórico-Conceitual” são discutidas as mudanças climáticas no Brasil, os desafios da modelagem aplicada aos cenários regionalizados e a abordagem da questão dos extremos climáticos. Em adição, ainda é exposta a importância das técnicas e instrumentos matemáticos e estatísticos para o estudo de tendências e eventos extremos de pluviometria. No segundo capítulo “Caracterização da área de estudo” são apresentadas a área de estudo selecionada, sua localização e características fisiográficas, o clima e a dinâmica dos sistemas atmosféricos.

No terceiro capítulo “Estratégias Metodológicas” são descritos e detalhados o fluxograma da pesquisa, a organização do banco de dados e as ferramentas e instrumentos matemáticos e estatísticos aplicados na variabilidade pluviométrica, na identificação de eventos de extremos pluviométricos e na análise de tendências de longo prazo. Logo em seguida, no quarto capítulo, “Variabilidade Pluviométrica”, é discutida a variabilidade pluviométrica e seus eventos extremos positivos e negativos nas escalas anual e mensal.

Seguidamente, no quinto capítulo “Tendências de longo prazo” são expostos e examinados as tendências relacionadas às médias mensais e anuais da pluviometria e as tendências relacionadas aos eventos extremos. E por fim, são apresentados as “Considerações Finais”, as “Referências Bibliográficas” e os “Anexos”.

CAPÍTULO 1

REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

1.1 As mudanças climáticas no Brasil: desafios da modelagem aplicada aos cenários regionalizados

1.1.1 O Brasil no contexto global

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) em 1988 tem o propósito de amparar e oferecer o conhecimento científico mais avançado sobre as mudanças climáticas e suas implicações.

Assim, o IPCC já publicou cinco (5) relatórios, o primeiro em 1990, o segundo em 1995, o terceiro em 2001, o quarto em 2007 e o quinto em 2013. E em 2021 será lançado o sexto relatório. Além dos relatórios do IPCC, a comunidade científica que pesquisa e publica sobre as mudanças climáticas e suas consequências, tem buscado criar, aprimorar e aplicar métodos e modelos de projeções para melhor corroborar com a tese das mudanças climáticas.

Para projetar as mudanças climáticas ao longo do século XXI são utilizados como ferramentas os Modelos de Circulação Geral (MCG), sendo os mais sofisticados aqueles que consideram em totalidade o oceano, como os Modelos de Circulação Geral Atmosfera-Oceano (MCGAO).

[...] esses modelos globais baseiam-se em representações matemáticas detalhadas da estrutura e operação do sistema Terra-oceano-atmosfera. Os estados possíveis futuros (assim como os passados) do sistema aplicam-se supostas forçantes climáticas, com as concentrações de gases de efeito estufa, a irradiação solar (no caso de estudos paleoclimáticos) e a extensão dos mantos de gelo e a topografia. (BARRY & CHORLEY, 2013, p. 454)

Além da utilização de tais modelos matemáticos, um aspecto importante do terceiro, quarto e quinto relatórios é que as simulações foram projetadas numa variedade de cenários, isto é, foram comumente agrupados em quatro (4) famílias de cenários climáticos, denominados de “*Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*”. São eles: A1, B1, A2 e B2, que consideram diferentes projeções de emissões de gases de efeito estufa, relacionados com características do meio ambiente, desenvolvimento socioeconômico e tecnológico e crescimento populacional (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).

Segundo Barry e Chorley (2013, p. 455) “esse foi um avanço importante em vez de simplesmente pressupor-se uma taxa de crescimento de 1% ao ano ou mesmo uma duplicação do CO_2 ”. Ainda segundo esses autores,

Um conjunto de cenários de emissão (A1) pressupõe que haverá um rápido crescimento econômico, que a população global atingirá um pico na metade do século e depois decairá, e que tecnologias mais eficientes serão introduzidas [...] O cenário A2 considera a heterogeneidade global, um aumento na população e uma mudança tecnológica fragmentada e mais lenta [...] Um segundo conjunto contém B1, onde as tendências populacionais são como em A1, mas a economia global baseia-se no setor de serviços e informações, com tecnologias limpas e eficientes no uso de recursos [...] B2 projeta um aumento populacional mais lento, níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica diversa e de orientação regional. (2013, p. 455)

No último relatório do IPCC (2013), em particular, houve uma mudança na construção dos modelos globais de projeções climáticas. Logo foram desenvolvidos quatro (4) cenários denominados de *Representative Concentration Pathways* (RCPs), são eles: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 e RCP 8.5. Conforme Reboita et al. (2018, p. 112), “os números que acompanham as siglas indicam a forçante radioativa, que é uma perturbação no equilíbrio energético do planeta e, em geral, é expressa em $W \cdot m^{-2}$ ”. Para o RCP 2.6 o sistema terrestre armazenará $2,6 W \cdot m^{-2}$ e terá um aumento de temperatura do ar de aproximadamente $2^{\circ} C$ comparada com o período pré-industrial – sendo o cenário mais otimista – e para o RCP 8.5 o sistema terrestre terá um armazenamento de energia de $8,5 W \cdot m^{-2}$ e contará com um aumento de temperatura de cerca de $8^{\circ} C$ quando comparada com o período pré-industrial – sendo o cenário mais pessimista (REBOITA et al, 2018).

Ainda em relação ao quinto relatório do IPCC (2013) é afirmado que é irrefutável o aquecimento do sistema climático desde meados de 1950 e que muitas das implicações das mudanças do clima são sem precedentes nos últimos milênios. A atmosfera, os oceanos e os continentes têm-se aquecido, o nível do mar se elevou, neve e gelo diminuíram e a concentração de gases do efeito estufa (GEE) tem aumentado. Aliás, a influência humana no aquecimento global é clara e é altamente provável que os atos humanos, como a queima de combustível fóssil e o desmatamento, sejam as causas principais da elevação da média da temperatura global.

De acordo com Berlato e Cordeiro (2017, p. 275) “a concentração do gás carbônico (CO_2) aumentou em 40% desde a era pré-industrial, que era de cerca de 280 ppm. Pelo menos nos últimos 150 mil anos, o CO_2 nunca esteve acima do nível de 1950, em torno de 300 ppm”. Dados de janeiro de 2021 da *Global Monitoring Laboratory (Earth System Research Laboratories – NOAA)* retratam que a média mensal global de CO_2 é de 415,13 ppm.

Conforme relatório publicado pelo IPCC (2013) é retratado que a média global da temperatura teve um aumento linear médio de 0,85° C entre 1880 a 2012, que no período de 1901 a 2010 o mar subiu em média 0,19 m, que observações desde 1970 apresentam aumento no vapor d’água na superfície e na baixa atmosfera e que é provável que a ação humana esteja alterando o ciclo hidrológico global desde 1960.

No que diz respeito às mudanças climáticas na América do Sul, os resultados dos diferentes cenários e regionalizações, descritos no relatório 3 do Ministério do Meio Ambiente realizado por Ambrizzi *et al.* (2007), indicam que as mudanças do clima mais intensas para o final do século XXI irão ocorrer na região intertropical, mais especificamente no Peru, Equador, Amazônia e no Nordeste do Brasil.

Especificamente no Brasil, a região mais afetada ou mais vulnerável às mudanças do clima na componente social é o Nordeste e na componente de biodiversidade é a Amazônia (AMBRIZZI *et al.*, 2007). Além disso, tais regiões podem ser denominadas de *Climatic Change Hot Spots*, isto é, espaços onde as mudanças climáticas são mais significativas/expressivas.

No país os cenários de aquecimento para o futuro revelam, em especial no Nordeste, um aumento significativo da temperatura, principalmente, na região do semiárido. Nesta perspectiva,

O aquecimento tende a ser maior na primavera, verão e outono comparado com o inverno (julho-agosto). No verão, a temperatura tende a aumentar [...] chegando a aumentar entre 3 a 4° C em 2041-70 e até mais de 4° C em 2071-2100. Na estação seca (julho-agosto), é detectado o maior aquecimento com valores de 4 a 6° C no estado do Maranhão e Norte de Minas Gerais, tanto que nas outras épocas do ano, desde o Maranhão até o norte de Minas Gerais, também se experimentam aumentos de temperatura. (MARENGO *et al.*, 2011, p. 406)

Aumentos de temperatura relacionados com as mudanças de clima, independente do que possa vir a acontecer com as precipitações, já são suficientes para causar maior evaporação e evapotranspiração e assim modificar o ciclo hidrológico.

Resultados mostrados no Relatório do Grupo de Trabalho II do IPCC (2007 b) e comentados por Marengo *et al.* (2011) apontam que, no processo de aquecimento global, não só choverá em menor quantidade e as secas serão mais intensas,

[...] mas há outro perigo – alguns indicadores apontam que o processo de aquecimento global também significará uma redução no nível da água dos reservatórios subterrâneos. Comenta-se muito que a água do subsolo irá resolver, de vez, os problemas hídricos da região semiárida nordestina; porém, como consequência das mudanças climáticas, espera-se uma redução de água nos aquíferos nordestinos, que poderá chegar a 71% até o ano de 2050. (MARENGO *et al.*, 2011, p. 408-411)

Nesta lógica, o aumento de temperatura e, conseqüentemente, a provável modificação no ciclo hidrológico e na quantidade de chuvas, como sugerem as projeções e cenários de mudanças climáticas globais e regionais até o final do século XXI, poderá agravar a situação dos recursos hídricos, causando forte impacto na qualidade de vida das populações. Na perspectiva brasileira, um exemplo desse cenário é a Região Hidrográfica do Rio São Francisco, uma das doze (12) regiões hidrográficas do Brasil, que já possui uma situação adversa em relação à quantidade de água e que uma parte dela está inserida no clima semiárido.

Extremos climáticos intensos associados à degradação do solo, poderiam levar à aceleração do processo de desertificação no semiárido; assim, a possibilidade de secas mais intensas e prolongadas poderia elevar ainda mais o grau de exposição e vulnerabilidade das populações que habitam o semiárido, especialmente daqueles mais pobres. Desta forma, faz-se necessário entender o problema de mudanças do clima e seus impactos e então empreender ações de adaptação e mitigação. (MARENGO *et al.*, 2011, p. 384-385)

Ainda que estudos sobre mudanças climáticas regionais mostrem tendências de aumento ou redução de chuvas ao longo do século XXI, não se pode fazer afirmações concretas sobre as mesmas, pois existe ainda uma dificuldade em modelar a nível regional.

A técnica mais aceita e utilizada para mudanças climáticas em escala regional é denominada de “*downscaling*”, que consiste na manipulação de modelos climáticos de alta resolução sobre a área de interesse, tendo como condições de fronteira/contorno dados oriundos do modelo climático global (AMBRIZZI *et al.*, 2007). Porém, “como os modelos globais são executados com espaçamento de grade de cerca de 100 km (latitude por longitude), eles não conseguem capturar as características regionais do clima que são influenciadas” (REBOITA *et al.*, 2018, p. 111). Desse modo, os resultados não possuem uma representação adequada de alguns processos físicos naturais da região.

A principal razão é a resolução espacial destes métodos, que por vezes são da ordem de centenas de quilômetros, de forma que, forçantes de mesoescala (topografia complexas, cobertura vegetal, grandes lagos e rios) e uma gama de processos físicos (nuvens, processos de turbulência) com escala espacial inferior à resolução espacial da “grade” do modelo acarretam erros no decorrer da integração e, assim, limitando a possibilidade de simular/prever com exatidão satisfatória alguma variação, por exemplo, da temperatura ou precipitação, em escala regional. (AMBRIZZI *et al.*, 2007, p. 13)

Mas, para elevar a resolução espacial e, conseqüentemente melhorar as previsões em escala regional, é necessária uma grande quantidade de espaço para armazenamento dos dados simulados, além do fato da complexidade na capacidade computacional, o que resulta num aumento do custo computacional.

Ressalta-se também que por existir diferentes modelos regionais, cada um com uma estrutura diferenciada, isso dificulta a realização de comparações entre os modelos. E que as bases de dados e os períodos utilizados nas pesquisas de mudanças do clima a nível regional por serem diferentes, dificultam também a efetuação de comparações.

As mudanças climáticas são altamente complexas, devido tanto às incertezas do comportamento humano quanto das modelagens matemáticas das variadas interações entre a Terra-oceano-atmosfera em nível global e as especificidades fisiográficas na escala regional.

A comunidade científica que estuda as mudanças climáticas e os relatórios do IPCC tem buscado definir as características e implicações das mudanças do clima. É necessário continuar a desenvolver estudos mais detalhados e aprimorar os modelos de projeções do clima, principalmente em escala regional, para que dessa forma possam ser realizadas ações com o intuito de mitigar possíveis impactos nos ecossistemas e na qualidade de vida das populações.

1.1.2 A questão dos extremos climáticos

Conforme o IPCC (2014), “a variabilidade e os eventos climáticos extremos são, desde há muito tempo, importantes em muitos contextos de tomada de decisões”. Por isso, pode-se afirmar que os riscos associados ao clima estão agora a evoluir mais do que nunca devido às mudanças climáticas e ao desenvolvimento (IPCC, 2014).

E ainda que haja incertezas quanto aos resultados das projeções, em especial dos modelos regionais, os prognósticos sobre as mudanças climáticas provocadas pela ação humana têm mostrado, em nível regional, um aumento na frequência e intensidade de eventos

climáticos extremos. Conforme Marengo (2009, p. 05), “isso passou a ser observado de modo mais nítido a partir da segunda metade do século 20”. Nesta perspectiva,

Vários estudos e avaliações mostraram ligações entre mudanças no clima global e mudanças nos eventos regionais, como chuvas fortes, ondas de calor e inundações. A mudança climática global também provavelmente influenciará fenômenos locais, incluindo tempestades e tornados severos, mas a natureza e o grau da influência é incerto, particularmente para tornados. (LUBCHENCO & KARL, 2012, p. 32)

Segundo Collins *et al.* (2019) uma mudança climática abrupta é quando ocorre uma modificação em larga escala no sistema climático que acontece ao longo de algumas décadas ou persiste por pelo menos umas décadas e causa perturbações substanciais nos sistemas humano e natural. Ainda conforme esses autores, um evento extremo é um episódio raro em um local e época do ano específicos, mas tal denominação pode diferir de um lugar para outro, pois os elementos e fatores climáticos variam entre os espaços do globo.

Ressalta-se também que os últimos relatórios do IPCC têm demonstrado que além do aumento da temperatura média global, da elevação do nível do mar, da acidificação do oceano e degelo há fortes indicadores de mudanças nos extremos climáticos nas escalas global e regional, que estão resultando em grandes impactos econômicos e sociais. Logo, estudar, identificar e avaliar riscos e vulnerabilidade dos sistemas natural e humano quanto os extremos climáticos é fundamental.

Conforme Easterling *et al.* (2000), os extremos climáticos podem ser divididos em dois amplos grupos: o primeiro são aqueles baseados em estatísticas climáticas simples, que incluem extremos como temperatura diária muito baixa ou elevada ou quantidade diária ou mensal intensa de chuvas, que ocorrem todos os anos; e aqueles extremos mais complexos, orientados da ocorrência, por exemplo de secas, inundações ou furacões, que não acontecem necessariamente todos os anos em um determinado local.

Vale destacar que a atribuição de mudanças nas estatísticas observadas de extremos é frequentemente exposta utilizando métodos de detecção-atribuição (COLLINS et al., 2019). Logo, a atribuição de eventos extremos começa com o fato inicial de que o clima está mudando, com o objetivo de determinar estatisticamente quanto a mudança climática contribui para a gravidade do evento. Collins et al. (2019), evidenciaram que há diversos relatórios anuais dedicados à atribuição de eventos extremos como: Peterson et al. (2012); Peterson et al. (2013); Herring et al. (2013); Herring et al. (2014); Herring et al. (2018), que ajudaram a estimular mais estudos que adotam métodos de atribuição de eventos extremos. Isso resulta num conjunto de pesquisas cada vez maior sobre tais fenômenos, permitindo diferentes abordagens a serem constatadas e cria um consenso sobre o papel das mudanças climáticas nos eventos extremos do oceano e continentes.

Destaca-se que o IPCC lançou um relatório especial sobre gerenciamento de riscos e eventos extremos e desastres para promover a adaptação às mudanças climáticas. Conforme Lubchenco & Karl (2012, p. 32), esse relatório aborda sobre cinco tipos de eventos extremos em particular. São eles:

- Aumento da frequência e magnitude de extremos quentes e diminuição na frequência e gravidade nos extremos frios ocorrerão no século XXI em escala global;
- É muito provável que extremos quentes aumentem em frequência e/ou intensidade também em escala regional;
- Provavelmente a elevação média do nível do mar contribuirá para tendências ascendentes em níveis extremos de águas costeiras no futuro;
- Possivelmente a velocidade máxima dos ventos dos ciclones tropicais aumente no presente século, embora não em toda a bacia oceânica.;

- E é presumidamente certo que a frequência de fortes chuvas ou a proporção da precipitação total em tempos curtos aumentará no século XXI ao longo de muitas áreas do globo.

Se houver realmente tendências identificáveis em certos eventos climáticos extremos (como aumento ou diminuição expressiva da temperatura ou das chuvas) isso aumentaria o conjunto de evidências de que há um efeito humano discernível no clima e potencialmente isso trará significativas consequências para a sociedade e a natureza (EASTERLING et al., 2000).

O que há de certo e que é um consenso na comunidade científica que estuda sobre as mudanças do clima, é que a frequência e intensidade de eventos climáticos extremos têm impactos significativos tanto para a sociedade quanto para o sistema natural. E que as consequências de tais eventos, independentemente da intensidade e da quantidade de ocorrências, acontecerão em todos os espaços do globo. Assim,

[...] existe um fator que gera e/ou acentua desigualdade entre grupos e classes sociais no que tange a resiliência aos impactos as alterações no clima, tais como condições precárias de acesso à renda e a serviços básicos de cidadania (saúde, segurança, educação e infraestrutura em geral). [...] A diferença no nível de vulnerabilidade encontrada entre grupos sociais de um mesmo país também tem contrapartida no âmbito internacional. Existem países mais ou menos vulneráveis às mudanças climáticas, uma vez que as piores consequências das mudanças climáticas devem acontecer em países da América Latina, África e sul da Ásia. (MILANEZ & FONSECA, 2011, p. 88-89)

Ressalta-se também que, partindo do pressuposto que todas as pessoas têm direitos iguais, as demandas pela chamada Justiça Ambiental buscariam “remediar injustiças existentes ou eminentes na distribuição dos benefícios e prejuízos ambientais” (MILANEZ & FONSECA, 2011, p. 84).

Nesta lógica, em conformidade com o Relatório especial sobre gerenciamento de riscos de eventos extremos e desastres para promover adaptação à mudança climática (SREX), perceber que a “vulnerabilidade e exposição são aspectos dinâmicos e que dependem de fatores econômicos, sociais, demográficos, culturais, institucionais e governamentais” (SREX, 2012, s.p.) é fundamental. E que ainda de acordo com este relatório, a resiliência consiste na

[...] habilidade de um sistema e suas partes componentes de antecipar, absorver, acomodar ou se recuperar dos efeitos de um evento de risco de maneira tempestiva e eficiente, garantindo a preservação, restauração ou melhoria de suas estruturas básicas e funções essenciais. (2012, s.p.)

Por isso, a identificação dos eventos extremos relacionados, principalmente com a temperatura e as chuvas, consiste no primeiro passo para a compreensão do risco climático a que está sujeito a população e que identificar a vulnerabilidade associada aos diferentes fatores socioespaciais, combinadas aos eventos climáticos extremos, poderão resultar na definição de possíveis estratégias de prevenção e de ajuste para minimizar os impactos negativos desses fenômenos (SILVEIRA, 2014).

Ainda de acordo com Silveira (2014), a sociedade moderna é mais vulnerável aos riscos dos extremos climáticos, pois a vulnerabilidade “está relacionada ao nível de desenvolvimento da sociedade, seguindo a lógica de que quanto menor o nível de organização e de planejamento do espaço maior será o grau de vulnerabilidade da população exposta àquela ameaça” (SILVEIRA, 2014, p. 28), além de que isso está relacionado também à situação socioeconômica, já que classes sociais menos favorecidas estão mais expostas às consequências desses extremos climáticos.

Por exemplo, um processo de urbanização mal planejada expõe os habitantes de um meio urbano aos eventos climáticos extremos de forma mais intensa. Lombardo (1985) já

afirmava que a ocupação do espaço sem levar em consideração as características do sítio urbano provoca dificuldades na implantação de infraestruturas e desconforto ambiental de ordem térmica, acústica, visual e de circulação.

O fato é que eventos extremos de qualquer tipo devem ser mais bem observados e monitorados para que, prevendo esses acontecimentos extremos e gerenciando seus impactos, minimize ao máximo as perdas naturais e humanas. Para tanto, é essencial também o entendimento acerca dos padrões dos diferentes fenômenos climáticos, bem como suas mudanças no tempo e no espaço e o estabelecimento de padrões climáticos para prever ondas de calor, de frio e seca. Segundo Lubchenco e Karl (2012), é fundamental dar continuidade no avanço da inteligência ambiental, para melhorar a quantidade e qualidade dos dados, das observações, pesquisas e modelagem do ambiente.

Isso significa aprimorar as observações da Terra a partir de satélites e outras plataformas, aumentar a capacidade computacional, melhorar a resolução de modelos numéricos e a ciência subjacente, e fortalecimento da pesquisa para detectar e entender mudanças nos padrões climáticos e climáticos extremos. (LUBCHENCO & KARL, 2012, p. 33-34)

Logo, a capacidade de suportar e de se recuperar de eventos extremos vai depender certamente de muitos fatores, mas é garantido que o poder de monitorar e prever os eventos extremos climáticos ajudará a minimizar os impactos negativos.

1.1.2.1 Algumas ocorrências de extremos climáticos no mundo e no Brasil

Em conformidade com a *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR, 2012) os desastres naturais afetaram um total de 2,7 bilhões de pessoas e vitimaram um total de 1,1 milhão em todo o mundo entre 2000 e 2001. Os desastres ocorridos

por fenômenos como terremotos, maremotos, furacões e inundações produziram um custo total de US\$ 1,3 trilhões, além de perdas humanas. Segundo Silveira (2014), o IPCC também publicou um relatório em 2011, alertando para o possível aumento da frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos, decorrentes da ação humana.

Nos últimos anos, vários eventos climáticos causam grandes perdas de vida, além de um tremendo aumento nas perdas econômicas devido a riscos climáticos. Em 1998, o furacão Mitch causou mais de 10.000 mortes na América Central e, mais recentemente, ocorreram grandes inundações com grande perda de vidas na Venezuela e em Moçambique. Nos Estados Unidos, desde 1987, mais de 360 eventos climáticos produziram perdas superiores a US\$ 5 milhões, com várias catástrofes recorde. Isso inclui a seca no meio-oeste de 1988-1989 (US\$ 39 bilhões), o furacão Andrew no sul da Flórida em 1992 (US\$ 30 bilhões) e a inundação no meio-oeste de 1993 (US\$ 19 bilhões). Essas perdas de vidas e propriedades ajudaram a alarmar a possibilidade de que os recentes aumentos fossem devidos a um clima instável. (EASTERLING *et al.*, 2000, s.p)

Ainda segundo estes autores, o fato é que “no geral áreas do mundo afetadas pela seca ou umidade excessiva aumentaram” (EASTERLING *et al.*, 2000, s.p.). E a maioria dos países que experimentaram uma elevação ou diminuição significativa da precipitação mensal ou sazonal também passou por uma mudança desproporcional na quantidade de precipitação caindo durante os eventos de precipitação pesada e extrema. Mas, no Japão e em algumas áreas do globo, não houve aumento na frequência de eventos de precipitação pesada de 1 dia (EASTERLING *et al.*, 2000, s.p.).

Também conforme esses autores, estudos desenvolvidos que analisaram mudanças na forte precipitação encontraram aumentos ao longo do século XX na Austrália, exceto no sudoeste deste país, onde houve uma redução nos dias de chuva e nos extremos pesados. Já no Reino Unido, os eventos intensos de inverno aumentaram e os intensos eventos de verão diminuíram, e na região do Sahel da Nigéria e em toda a zona Sudano-Sahel, as maiores quantidades diárias de precipitação diminuíram, combinando com a diminuição geral da precipitação anual.

Resultados mostram também que, apesar da pradaria canadense ter experimentado aumento anual de chuvas e chuvas fortes nos últimos 40 anos, essa elevação aparece em especial devido a um aumento no número de chuvas diárias mais leves (< 5 mm). Todavia, outros pesquisadores que examinaram as tendências canadenses de precipitação no sul do Canadá, observaram aumento em todos os níveis de intensidade de precipitação e, na segunda metade deste século, os aumentos serão maiores em eventos intermediários e pesados, principalmente no Ártico do Canadá. Nos Estados Unidos a umidade excessiva aparenta estar aumentando, principalmente desde a década de 1970. Isso é consistente com aumentos de longo prazo na precipitação anual e elevações nas ocorrências de precipitação pesada. (EASTERLING *et al.*, 2000, s.p.)

Em contrapartida, há algumas regiões do mundo que mostram tendências para mais secas. As secas aumentaram, por exemplo, na Hungria e seus períodos úmidos diminuíram e, na China, houve uma diminuição da precipitação média, acompanhada por um aumento na área de secas e uma diminuição na área com precipitação excessiva. (EASTERLING *et al.*, 2000, s.p.).

Nessa perspectiva, a demanda por serviços prestados por agências ligadas ao clima está aumentando. Temos o exemplo da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), nos Estados Unidos, que com a ocorrência de eventos recordes de tornados, secas, ventos, inundações, incêndios florestais e ondas de calor em 2011, aumentou a necessidade dos serviços. Essa conseguiu prever a maioria dos eventos extremos relacionados ao clima, porém a sua capacidade em continuar fazendo isso está seriamente comprometida pela pressão negativa dos seus orçamentos, visto que é bastante oneroso o desenvolvimento de pesquisas no sentido da obtenção de dados e modelagem dos eventos climáticos (LUBCHENCO & KARL, 2012, p. 31).

Há também

Mecanismos de financiamento internacional como o Fundo dos Países Menos Desenvolvidos (LDCF), o Fundo Especial de Mudança Climática, o Fundo Fiduciário de Multidoadores para Mudança Climática (MDTF) e o Programa Piloto para Recuperação Climática (PPCR) sob o Fundo de Investimentos em Clima (CIF), estão disponibilizando financiamentos e recursos para países em desenvolvimento pilotarem e integrarem o gerenciamento de risco climático, e construir resiliência no desenvolvimento. (SREX IPCC, 2012, p. 15)

Salienta-se que apesar das perdas econômicas serem maiores em países desenvolvidos, há elevada confiança de que as taxas de fatalidades e perdas econômicas (tomadas proporcionalmente ao PIB) são mais altas em países em desenvolvimento. “Espera-se que os maiores custos absolutos e adaptação sejam na Ásia Oriental e no Pacífico, seguidos pelas regiões da América Latina e Caribe, e pela África Subsaariana” (SREX IPCC, 2012, p. 11).

Vale ressaltar também, que as megacidades enfrentam uma maior variabilidade climática e mudanças de clima associadas às ações antrópicas. Ilhas de calor, por exemplo, potencializam a ocorrência de chuvas torrenciais e os eventos extremos estimulam episódios de enchentes ou de secas (DI GIULIO *et al.*, 2017).

No caso brasileiro, os eventos climáticos extremos, sejam de desvio positivo ou negativo, ocorrem, principalmente, como enchentes (devido às fortes chuvas) e secas prolongadas (MARENGO *et al.*, 2010; MEDEIROS *et al.*, 2014). Conforme Marengo *et al.* (2009), os elevados índices pluviométricos mostram

[...] aumento na frequência e na intensidade das chuvas no Sul e no Sudeste do Brasil e, em menor grau, no oeste da Amazônia e na área litorânea do leste da Amazônia e no norte da região Nordeste. As chuvas diminuem ao longo da costa leste do Nordeste do Brasil, na faixa do Rio Grande do Norte até o Espírito Santo. (MARENGO *et al.*, 2009, p. 05)

Conforme Marengo *et al.*, 2009, Tebaldi *et al.* (2006) e Marengo (2009), analisaram projeções mundiais de mudanças nos extremos climáticos de um conjunto de 8 modelos globais AR4 do IPCC e de projeções de modelos regionais HadRM3P, sob diferentes cenários de emissões no período de 2071-2100. Os resultados mostram que tanto nos cenários de emissões altas quanto nos de baixas, existe uma tendência à redução de chuvas no centro-leste e no sul da Amazônia, devido, principalmente, ao aumento na frequência e intensidade dos dias secos consecutivos.

No Brasil subtropical Marengo *et al.* (2009) identificaram um significativo aumento sistemático da precipitação desde os anos de 1950 e, no Sudeste do Brasil, constataram um aumento na frequência de eventos extremos. Mesmo que não se possa afirmar com exatidão que enchentes e deslizamentos, por exemplo, vêm ocorrendo nos grandes centros urbanos do Brasil devido às mudanças climáticas, as previsões do IPCC são que esses eventos extremos se tornem cada vez mais frequentes nas regiões Sul e Sudeste (MILANEZ & FONSECA, 2011). “No caso do Sul, espera-se que o clima fique entre 5% e 10% mais chuvoso, e no Sudeste, a expectativa é que as chuvas se tornem mais intensas” (MILANEZ & FONSECA, 2011, p. 92).

Ainda segundo esses autores, uma rede de instituições de pesquisa constituída pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Universidade de Campinas (Unicamp), Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e Universidade Estadual Paulista (Unesp) realizaram um relatório sobre a vulnerabilidade das megacidades brasileiras às mudanças climáticas, com foco na Região Metropolitana de São Paulo. Os resultados indicam que

[...] caso a temperatura na região se eleve entre 2° C e 3° C, o número de chuvas intensas (acima de 10mm) poderá dobrar na cidade de São Paulo e as chuvas acima de 50mm, inexistentes antes da década de 1950, deverão ocorrer de duas a cinco

vezes por ano. Como consequência, inundações serão cada vez mais frequentes e abarcarão uma área cada vez maior na capital paulista [...] o estudo alerta que, somente na cidade de São Paulo, há cerca de 1,6 milhão de pessoas morando em favelas, concentradas principalmente em áreas de risco de escorregamentos ou inundações, pessoas estas que sofrerão os impactos mais intensos do aumento na intensidade das chuvas.” (MILANEZ & FONSECA, 2011, p. 95)

Sobre o estado do Paraná, Ferreira (2007) estudou a ocorrência e distribuição espacial das estiagens entre 1971-2004, assinalando que há distribuição irregular das chuvas em vários municípios analisados. Além de que identificou um acréscimo no total de precipitação anual ao mesmo tempo em que os períodos de estiagens também aumentaram.

As projeções de extremos climáticos apontam também um aumento no índice de dias secos consecutivos (CDD), que são os indicadores dos chamados veranicos. De acordo com Marengo *et al.* (2011), esse índice chega a aumentar em mais de 30 dias ano-1 entre 2071-2100, sendo o semiárido nordestino o mais impactado.

Os índices de extremos de chuva sugerem uma redução de chuva intensa no semiárido, norte de Minas Gerais e leste do Nordeste e aumento no litoral norte do Ceará e Piauí, com mudanças mais intensas nos médio e longo prazos. A redução dos extremos e o aumento na extensão e intensidade dos veranicos, acompanhados de uma redução no total de chuva, sugerem um clima futuro mais seco, com secas mais extensas e com estação chuvosa muito reduzida ou quase ausente, principalmente no sertão da região, como um todo.” (MARENGO *et al.*, 2011, p. 405)

Num estudo de Medeiros *et al.* (2014) sobre a ocorrência de eventos extremos de precipitação em Campina Grande-PB no período de 1970-2010 foi ressaltado que o Nordeste do Brasil possui uma variabilidade climática expressiva. Em relação à área de estudo abordada por esses autores, foi constatado que houve mudança no comportamento das ocorrências de precipitação, particularmente a partir da década de 1970. Na análise observaram que na década de 1970 ocorreu maior variabilidade nos eventos extremos de precipitação, com índices de precipitação variando entre 50 a 190 mm, com destaque aos anos

de 1972, 1981, 1982, 1991 e 2001, em que os valores pluviométricos foram superiores que 80 mm. Durante a década de 1980 houve variabilidade na intensificação da precipitação máxima anual “apresentando menores números de eventos com índices pluviométricos inferiores a 40 mm nos anos de 1982, 1987, 1995, 1997 e 1998” (MEDEIROS *et al.*, 2014, p. 438). E entre 2000 e 2010 esses eventos extremos oscilaram no espaço-tempo, apresentando precipitação máxima diária entre 30,1 a 85,4 mm (MEDEIROS *et al.*, 2014).

Esses autores concluíram que os eventos extremos de precipitação são mais perceptíveis nos meses da estação chuvosa (entre março e julho), com 88% de chances de ocorrência. Mas que durante a estação seca (entre os meses de setembro a fevereiro) ocorreram também eventos extremos de precipitação, representando 37,2% de chances de ocorrência e com valores de precipitação menores se comparado com os eventos extremos que ocorrem na estação chuvosa.

Pelos fatos expostos com relação à ocorrência dos eventos climáticos extremos e o aumento da vulnerabilidade, é certo que a adaptação climática tenha que ser levada em consideração nas agendas políticas nos âmbitos internacional e nacional, para que dessa forma sejam desenvolvidos mais pesquisas e debates e ações dentro da sociedade. Nesta perspectiva, o Brasil, mais especificamente, ainda que

[...] acordos globais e o contexto internacional tenham peso relevante nas políticas nacionais propostas, é possível pensar que o aumento da frequência de eventos climáticos extremos refletiu, em certa medida, na elaboração de políticas públicas, como o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, criado em 2008; a Política Nacional de Mudança do Clima, em 2009; a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), em 2012; e mais recentemente o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, em 2016. (DI GIULIO *et al.*, 2017, p. 79)

Em São Paulo, por exemplo, a questão climática está presente na agenda local desde 2003, quando a cidade passou a participar da campanha *Cities for Climate Protection*

(coordenada pelo ICLEI – *Local Governments for Sustainability*), associação mundial constituída por governos locais e subnacionais dedicados ao desenvolvimento sustentável. Mais tardiamente, a cidade passou a integrar o C40 (*Cities Climate Leadership Group*) que reúne cidades do mundo que estão comprometidas em reduzir as emissões de gases de efeito estufa e também diminuir as ameaças climáticas (DI GIULIO *et al.*, 2017). Conforme Setzer *et al.* (2015), essas iniciativas ajudaram o governo local de São Paulo a assumir compromissos para reduzir as emissões e instituíram em 2009 a Política Municipal de Mudança do Clima (Lei nº 14.933), “cujos eixos de estratégias são transporte, gerenciamento de resíduos, uso do solo, energia, construções sustentáveis e saúde” (DI GIULIO *et al.*, 2017, p. 81).

Assim, admitindo-se que há uma mudança climática em curso, o fundamental é que haja mais estudos, banco de dados com melhor qualidade e quantidade e o aperfeiçoamento de métodos para estimar com melhor precisão e probabilidade os efeitos adversos da mudança do clima, bem como da ocorrência de extremos climáticos em todas as escalas do espaço, para que dessa forma, a vulnerabilidade da população, bem como de suas atividades produtivas, sejam minimizadas.

1.1.3 A importância das ferramentas matemáticas e estatísticas para o estudo de tendências e de eventos extremos de pluviometria

Ao longo da história das sociedades, os homens sempre tiveram a necessidade de qualificar e/ou quantificar os diferentes fenômenos e acontecimentos. Atualmente, num mundo cada vez mais complexo e dependente da informação, a Estatística é um instrumento imprescindível na tomada de decisões em diversas áreas, como na Climatologia.

Pela razão do clima possuir variabilidade devido a diversos fatores e, por esse motivo suas causas não se mantêm constantes é que se aplica o método estatístico.

O método estatístico, diante da impossibilidade de manter as causas constantes, admite todas essas causas presentes variando-as, registrando essas variações e procurando determinar, no resultado final, que influências cabem a cada uma delas. (CRESPO, 1997, p. 13).

Como parte da Matemática Aplicada, a estatística fornece métodos de coleta, organização, análise e interpretação de dados, que permitem conclusões fundamentais para o diagnóstico e prognóstico que transcendem os dados obtidos inicialmente. Dessa forma, a estatística tem diversas aplicações e está dividida em três eixos: a estatística descritiva, a estatística inferencial e a estatística probabilística.

No presente trabalho a estatística descritiva foi utilizada com o objetivo de recolher, organizar, sintetizar e descrever os dados e a estatística inferencial ou indutiva para a análise e interpretação dos dados, com o intuito de realizar inferências sobre uma população com base no estudo de uma amostra (SANTOS, 2018).

Do ponto de vista estatístico, as séries temporais são consideradas indicadores quantitativos e sua análise é deve ser pautada na investigação do mecanismo gerador, descrição do comportamento e realização de prognósticos (CONTI, 2005). Como resultado, as séries temporais expressam tendências, ciclos e variabilidades relevantes ou se revelar aleatórias, sendo de relevância para a climatologia.

No contexto da presente pesquisa, as séries temporais de pluviosidade foram fundamentadas segundo sua descrição ao longo do tempo, juntamente com o estudo de sua frequência, indicando assim, uma série de resultados, como a probabilidade histórica de pluviosidades máximas e mínimas e a variabilidade climática.

Um conjunto de dados pode ser sintetizado, por meio da distribuição e análise de frequência e das medidas de posição, tais como média aritmética, moda, mediana e separatrizes. Visto que um conjunto de valores por mais que sejam simplificados por tais métodos resultando em características gerais da população ou amostra da pesquisa, é fundamental também aplicar medidas de dispersão ou de variabilidade, como o desvio-padrão para revelar o grau de homogeneidade ou heterogeneidade que há entre os valores que compõem o conjunto. Dessa forma, é denominada dispersão ou variabilidade a diversificação dos valores de uma dada variável em torno de um valor de tendência central considerado como ponto de comparação (CRESPO, 1997). A partir do cálculo do desvio-padrão das séries pluviométricas é possível constatar eventos extremos positivos ou negativos de pluviometria.

Contudo, para que as séries sejam confiáveis, bem como os resultados do tratamento estatístico, é exigida grande quantidade de observações ao longo do tempo – fator limitante para o desenvolvimento de uma pesquisa climática. Porém, grande parte dos estudos que utilizam séries temporais incluindo no âmbito mundial “trabalha com poucas décadas e, mesmo em virtude da insuficiência de dados, os resultados têm sido considerados expressivos pela comunidade científica” (CONTI, 2005, p. 10).

Neste trabalho foi incorporado o estudo de tendências em séries climatológicas. Particularmente na presente pesquisa, as tendências pluviométricas são definidas como modificações graduais no comportamento dessa variável que são observadas ao longo dos anos. Essas mudanças podem ser tanto de aumento quanto de redução nos índices pluviométricos que podem ser provocadas por diferentes causas.

Para identificar e analisar as possíveis tendências utiliza-se o conhecimento da chamada Análise de Séries Temporais (AST). De acordo com Jacobs (2011, p. 30), “a Análise de Séries Temporais (AST) é um método que mapeia uma determinada variável ao longo do

tempo, removendo as variações com causas assinaláveis e utilizando a extrapolação para previsão do comportamento futuro”. Os dados históricos de uma dada variável são coletados e analisados com a intenção de obter um modelo que melhor descreva a relação subjacente desta. A partir dos dados passados, bem como sua análise ajudam no desenvolvimento de um modelo que represente a relação não descoberta da variável e, com base nestes, prevê os valores futuros da série (JACOBS, 2011).

Como na literatura há diversos modelos que analisam o comportamento da série e estimam valores futuros com diferentes perspectivas, escolher o método ou os métodos que melhor descrevem e preveem esses valores não é uma tarefa fácil. Por isso, é necessário o conhecimento de modelos estatísticos mais aprimorados para que o resultado seja eficaz. Nesse sentido, os modelos de análise mais apropriados e bastante utilizados nos estudos climatológicos, em específico nas séries temporais de pluviosidade, são o Método de Regressão, o Teste de Mann-Kendall e o Teste do Sinal.

A Análise de Regressão tem como objetivo estudar a relação entre as variáveis dependente e independente para dessa forma, analisar possíveis tendências na série. A regressão linear é fundamentada na metodologia dos mínimos quadrados, que por sua vez consiste no ajuste de uma reta a um determinado conjunto de pontos.

A regressão linear é baseada na metodologia dos mínimos quadrados, que se consiste no ajuste de uma reta a um determinado conjunto de pontos. Este método foi utilizado na análise de tendências em dados climáticos por diversos autores, entre eles Ferrari (2012). A metodologia dos mínimos quadrados objetiva minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre os valores analisados e os valores correspondentes na reta de tendência [...]. A técnica de regressão linear ainda possibilita o cálculo do coeficiente de determinação R^2 , valor que pode variar entre -1 a 1 e que mensura o nível de relação entre as variáveis. Quanto mais próximo de 1 o valor obtido estiver, mais intensa será a correlação e a tendência entre as variáveis. (SANTOS, 2015, p. 7506).

Outro método utilizado para averiguar possíveis tendências em séries temporais é o teste de Mann-Kendall, que identifica se há ou não tendência em séries climáticas, além de permitir detectar e localizar aproximadamente o ponto inicial de determinada tendência. Segundo Back (2001), este teste parte do raciocínio que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão dos valores se dá de forma independente e a distribuição de probabilidade deve perdurar sempre a mesma. Ainda de acordo com este autor, o teste de Mann-Kendall é o método mais adequado para investigar mudanças climáticas em séries climatológicas.

O Teste do Sinal também pode ser utilizado como método de identificação de tendências, porém não deve ser a única ferramenta de análise para tal (FERREIRA, 2012). É um método simplista de detecção de tendências, que reparte a série temporal em duas partes idênticas, respeitando a ordem crescente dos anos e através do cálculo da diferença entre os pares é que se contabilizam as quantidades de sinais positivos e negativos. Se o sinal negativo prevalecer, logo o resultado indicará elevação na pluviosidade e, caso o sinal positivo predomine, a pluviosidade está diminuindo. Quando a quantidade de positivos e negativos forem iguais a série temporal não tem tendência.

Além da utilização das ferramentas já explicitadas anteriormente, neste trabalho, foram aplicados métodos matemáticos para detectar e avaliar possíveis eventos de extremos negativos e positivos nas séries de pluviometria. Isto porque, segundo Fernandes et al. (EMBRAPA, Documentos 244, 2009), a escassez de precipitação tem vários impactos na água subterrânea, no armazenamento do reservatório, na quantidade de umidade no solo e nos escoamentos dos rios, além de causar prejuízos nas atividades humanas, principalmente aquelas ligadas à água como a agricultura. Neste sentido, foram aplicados dois métodos:

Standardized Precipitation Index – SPI (ou Índice de Precipitação Padronizada) e *Rainfall Anomaly Index – RAI* (ou Índice de Anomalia de Chuva).

McKee et al. (1993) desenvolveram o chamado *Standardized Precipitation Index* (SPI), elaborado, primeiramente para detectar secas, mas que na atualidade são também utilizados na identificação de extremos positivos de pluviosidade. Assim,

O cálculo do índice SPI para qualquer local é baseado no registro de precipitação de longo prazo ajustado a uma distribuição normal, de modo que o SPI médio para uma localização e período desejados seja zero. Os valores positivos de SPI indicam a precipitação maior do que a mediana ou média e os valores negativos indicam precipitações menores que a mediana ou média. Devido ao fato de o SPI ser normalizado, climas mais secos ou úmidos podem ser representados do mesmo modo. Assim, períodos úmidos podem também ser monitorados usando o SPI. (FERNANDES et al., EMBRAPA, Documentos 244, 2009, p. 17).

O *Rainfall Anomaly Index* (RAI) desenvolvido por Rooy (1965) tem o propósito de determinar e monitorar meses ou anos secos ou de chuvas excessivas de maneira simples. É calculado utilizando apenas dados de pluviosidade e auxilia na caracterização da variabilidade espacial e temporal das chuvas. Trabalhos como de Freitas (2005), Noronha et al. (2016), Alves et al. (2016), Silva et al. (2017), Costa & Silva (2017), o IAC foi aplicado com a finalidade de identificar e analisar diferentes graus de intensidade de anomalias no regime de chuvas ou secas.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 A Região Hidrográfica do Rio São Francisco: localização e características fisiográficas

O Brasil possui 12 regiões hidrográficas. Uma delas é a Região Hidrográfica do Rio São Francisco (Figura 1), que corresponde a 8% do território nacional. Ela possui uma área de drenagem de aproximadamente 640.000 km² (7,5% do país) e está localizada nos estados da Bahia/BA (48,2%), Minas Gerais/MG (36,8%), Pernambuco/PE (10,9%), Alagoas/AL (2,2%), Sergipe/SE (1,2%), Goiás/GO (0,5%) e Distrito Federal/DF (0,2%), abrangendo 507 municípios, o que corresponde à cerca de 9% do total de municípios do país (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF, s. d.). Além de estar dividida em dez (10) sub-bacias: Alto São Francisco até Três Marias (40); das Velhas (41); Paracatu e outros (42); Urucuaia (43); Verde Grande (44); Corrente e outros (45); Grande e outros (46); Salitre e outros (47); Pajéu e outros (48); São Francisco a jusante do Pajéu (49).

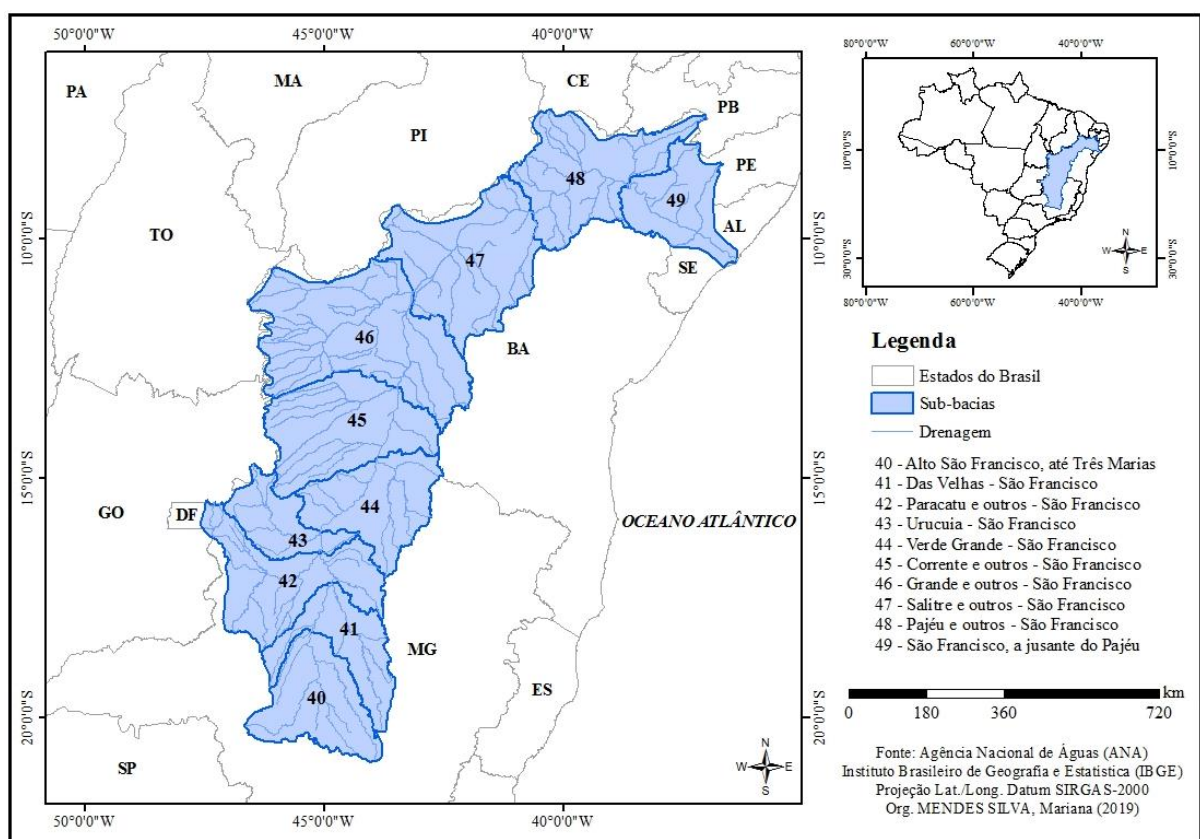


Figura 01 – Mapa de localização da Região Hidrográfica do Rio São Francisco, 2019

Segundo o CBHSF (s.d.), o Rio São Francisco tem aproximadamente 2.700 km de extensão e nasce no Parque Nacional da Serra da Canastra no sudoeste do estado de Minas Gerais/MG, escoar no sentido sul-norte pelos estados da Bahia/BA e Pernambuco/PE, quando altera seu curso para este, chegando ao Oceano Atlântico através da divisa entre Alagoas/AL e Sergipe/SE. Em seu trajeto corta três biomas: a Caatinga na região nordeste da Bahia/BA; o Cerrado entre o sudoeste de Minas Gerais/MG e norte da Bahia/BA; e a Mata Atlântica na região da Serra da Canastra. O principal rio desta Região Hidrográfica é o Rio São Francisco conhecido popularmente como “Velho Chico”.

Conforme Pereira et al. (2007), devido à sua extensão e aos diferentes ambientes percorridos, a Região Hidrográfica do Rio São Francisco foi dividida, para fins de estudo e planejamento, em quatro unidades fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco (Figura 2).

[...] na região do Alto São Francisco, correspondente a 19% da área da bacia, que vai da nascente até a cidade de Pirapora, MG; no Médio São Francisco, que se estende de Pirapora a Remanso, BA, correspondente a 55% da bacia; no Submédio São Francisco, de Remanso até Paulo Afonso, BA (24% da bacia) e no Baixo São Francisco, que vai de Paulo Afonso até a foz (7% da bacia). (PEREIRA et al., 2007, p. 616).

Ainda conforme esses autores, esta região hidrográfica abriga 36 afluentes mais importantes, dentre os quais apenas 19 são perenes, destacando-se, os Rios Pará, Paraopeba, Velhas e Verde Grande, ambos na margem direita e os Rios Abaeté, Paracatu, Urucuia, Pandeiros, Carinhanha, Corrente e Grande, na margem esquerda. As áreas de drenagem dos mesmos, com exceção do Rio Verde Grande, não se situam na região do Polígono das Secas.

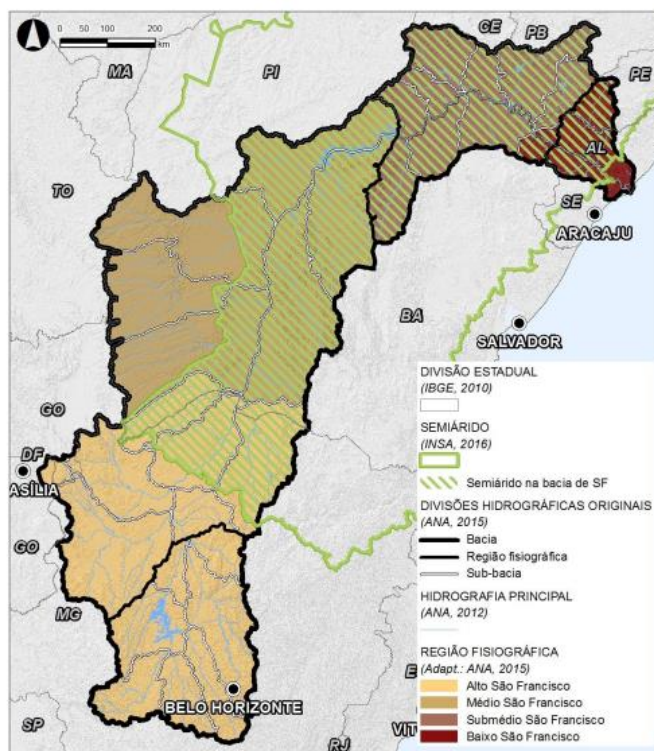


Figura 02 – Divisão Fisiográfica da Região Hidrográfica do Rio São Francisco, 2017

Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF, 2017

A área do Polígono abrange cerca de 58% da Região Hidrográfica do Rio São Francisco e é caracterizado por ser a porção do espaço geográfico sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens com diferentes índices de aridez. São num total 270 municípios – grande parte deles na região nordeste do Brasil e alguns deles no norte de Minas Gerais – que estão inseridos em tal situação.

Conforme Tucci et al. (2000), as atuais condições de disponibilidade e demanda hídrica mostram que na maior parte do território brasileiro não há déficit nos recursos hídricos. Porém, ressaltam que são observadas condições críticas em períodos de estiagem no semiárido nordestino e em algumas regiões onde o uso da água é intenso, como em regiões metropolitanas.

Nesta perspectiva, Tucci et al. (2000) ainda destacam que o nordeste brasileiro apresenta condições hídricas desfavoráveis devido à combinação entre “evapotranspiração alta durante todo ano, baixa precipitação, subsolo desfavorável em muitas regiões (água salobra ou formação cristalino) e baixo desenvolvimento econômico social” (TUCCI et al., 2000, p. 33). Isso tende a comprometer seriamente as condições de vida da população que vive nesta área.

No que diz respeito à caracterização climática da bacia

O clima apresenta uma variabilidade associada à transição do úmido para o árido, com temperatura média anual variando de 18 a 27° C, baixo índice de nebulosidade e grande incidência de radiação solar. A pluviosidade apresenta média anual de 1036 mm, sendo que os mais altos valores de precipitação, da ordem de 1400 mm, ocorrem nas nascentes do rio e, os mais baixos, cerca de 350 mm, entre Sento Sé e Paulo Afonso, na Bahia. O trimestre mais chuvoso é de novembro a janeiro, contribuindo com 55 a 60% da precipitação anual, enquanto o mais seco é de junho a agosto. A evapotranspiração média é de 896 mm/ano, apresentando valores elevados entre 1400 mm (sul) a 840 mm (norte), em função das elevadas temperaturas, da localização geográfica intertropical e da reduzida nebulosidade na maior parte do ano. (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF, s. d.).

Devido ao baixo índice de nebulosidade, grande incidência de radiação solar e elevada temperatura, a evapotranspiração potencial é alta, principalmente na Região do Submédio São Francisco. E a elevada evapotranspiração potencial, não recompensada pelas chuvas, afeta significativamente o balanço hídrico dos solos (PEREIRA et al., 2007).

Consoante com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco,

As áreas mais afetadas pelas secas no Nordeste são aquelas que se encontram sob influência direta da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, quer se trate de secas anuais ou plurianuais. As evidências empíricas disponíveis indicam que a variabilidade climática decorrente da ação da ZCIT é combinada com os fatores que determinam o regime pluviométrico na Zona da Mata e no Nordeste meridional. Quando essa conjunção de fatores se articula é que ocorrem as secas de amplas proporções [...]. (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF, s.d.).

Além disso, Galvêncio (2000) observou que há relação direta entre a precipitação e os índices de anomalias de temperatura de superfície do mar (TSM) nas diferentes áreas dos Niños, resultando contrastes entre as unidades fisiográficas da Região Hidrográfica do Rio São Francisco.

Em anos de El Niño, ocorrem altas precipitações na sub-bacia do Alto São Francisco (ASF), e conseqüentemente altas vazões, e baixas precipitações na sub-bacia do Baixo São Francisco (BSF). Em anos de La Niña, ocorre exatamente ao contrário, ou seja, altas precipitações na sub-bacia do BSF e baixas sobre a sub-bacia do ASF. (SILVA et al., 2011, p. 47).

O desenvolvimento e exploração econômica no decorrer dessa região hidrográfica estão muitas vezes associados à disponibilidade hídrica. Neste sentido, ressalta-se que a área de estudo possui inúmeros projetos de irrigação implantados e a serem implantados, principalmente ao longo dos principais rios; necessita do abastecimento de água nas cidades, que depende do escoamento dos rios e do volume acumulado nas barragens; e a maioria das culturas agrícolas depende exclusivamente da regularidade das chuvas.

Dessa maneira, um conflito observado ao longo dessa região hidrográfica é entre água para abastecimento e irrigação, sobretudo nas regiões críticas em relação à disponibilidade de água. Salienta-se a agricultura irrigada que foi intensificada a partir de 1976 (ONS, 2004), com destaque para as Regiões do Submédio e Baixo São Francisco (RODRIGUEZ & HOLTZ, 2003). Ademais, a bacia tem seu potencial hidrelétrico aproveitado com diversas usinas hidrelétricas instaladas: Três Marias, Sobradinho, Xingó, Paulo Afonso, Itaparica, Moxotó e Retiro Baixo.

2.2 O clima e a dinâmica dos sistemas atmosféricos na Região Hidrográfica do Rio São Francisco

A variabilidade climática pode apresentar nas escalas de tempo e espaço um ritmo desigual, ou seja, um padrão de variação sazonal, interanual ou decadal diferenciado. Desse modo, a pluviosidade ou sua ausência estão associadas aos padrões de circulação atmosférica de macro, meso e micro escala.

Neste sentido, o regime de chuvas e secas da Região Hidrográfica do Rio São Francisco está condicionado não somente aos elementos climáticos e diversidade das características fisiográficas da bacia em questão, mas também por sistemas atmosféricos tais como: a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), El Niño Oscilação Sul (ENSO), TSM do Atlântico Sul, Sistemas Frontais (SF), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), dentre outros.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), atuante no período primavera-verão no Hemisfério Sul, “é caracterizada por uma persistente banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, que se estende desde a Amazônia até o oceano Atlântico sudoeste” (ESCOBAR, 2019, s.p.), causando pluviosidades abundantes e episódios de chuva extrema.

É usualmente identificada pela convergência de umidade na baixa troposfera, penetração de ar frio ao sul da banda de nebulosidade; presença de um cavado a leste da Cordilheira dos Andes, associado a movimentos ascendentes e orientado na direção noroeste-sudeste em 500h Pa; pela presença da Alta da Bolívia em altos níveis e um cavado sobre a região Nordeste do Brasil e, em determinadas situações, um vórtice ciclônico e uma faixa de vorticidade anticiclônica em altos níveis, reflete uma interação entre os sistemas tropicais e extratropicais associados ao jato subtropical no lado polar dos sistemas frontais. (BARRETO, 2009, p. 30-31).

A ZCAS tem por área de atuação o centro-sul da Amazônia, as regiões Centro-Oeste e Sudeste, o centro-sul da Bahia, o norte do Estado do Paraná até o sudoeste do Oceano

Atlântico (MENEZES, 2010). Por se tratar de um fenômeno que acontece no período de verão no Hemisfério Sul e que proporciona altos níveis pluviométricos, acaba causando consequências catastróficas em muitos estados brasileiros (BRANDÃO & FISH, 2008).

Segundo Menezes (2010), ao norte do Equador a convergência dos ventos relacionada à circulação meridional de Hadley produz uma zona de intensa atividade convectiva, chamada de Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que resulta na variabilidade de pluviosidade em várias áreas do globo. Analisando a estrutura vertical da ZCIT, Estoque & Douglas (1978) observaram que existe uma variação consoante com a zona do cavado equatorial, que tem por variável representativa a região de máxima nebulosidade. Conforme Barreto

Em sua marcha anual, a ZCIT alcança sua posição mais ao norte, aproximadamente 15°N, durante o verão boreal, e a sua posição mais ao sul, aproximadamente 5°S, durante o mês de abril e sofre variações sazonais com referência a sua posição geográfica, permanecendo perto do equador geográfico nas longitudes predominantemente oceânicas, tais como os Oceanos Pacífico e Atlântico e mostrando somente pequenas variações sazonais. Seu posicionamento está associado à nebulosidade e estação chuvosa na região Norte do Brasil. Sobre o continente, a ZCIT migra com a latitude em função da estação do ano à medida que o aquecimento solar ocorre sobre a superfície. (BARRETO, 2009, p. 28).

Ainda de acordo com Barreto (2009), em anos chuvosos sobre o Nordeste brasileiro, a ZCIT mantém-se ao sul de suas posições latitudinais médias até o mês de abril, ao passo que, em anos secos, esta zona de convergência retorna ao Hemisfério Norte já em março. Além disso, deve-se considerar que existem evidências observacionais de que o deslocamento latitudinal da ZCIT esteja relacionado à processos de interação entre o oceano e a atmosfera, abarcando o acoplamento lateral com distúrbios atmosféricos extratropicais de ambos os hemisférios.

Esses contribuem para o aparecimento de anomalias de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) ao norte e ao sul do equador com sinais opostos, formando assim, um gradiente meridional de anomalias de TSM, responsável pelo

deslocamento e permanência da ZCIT mais para o sul ou para o norte. (BARRETO, 2009, p. 28).

Segundo Lopes et al. (2013), pesquisas têm mostrado que as condições oceânicas, sobretudo a temperatura da Superfície do Mar (TSM), apresentam influência considerável sobre o clima global e regional. Nesta perspectiva, Barreto (2009) aborda que os oceanos são fundamentais na modulação da variabilidade climática por meio de processos dinâmicos e termodinâmicos em uma complexa relação/interação entre esses e a atmosfera.

Isso se deve ao fato dos oceanos servirem de forçante para a atmosfera bem como por ocuparem 71% da superfície terrestre e também por controlar as trocas de calor latente e sensível. Assim a temperatura da superfície do mar (TSM) nos oceanos tem um papel preponderante na variabilidade climática interanual e interdecenal, já que é a principal condição de contorno inferior do sistema climático que modula o clima global. (BARRETO, 2009, p. 16-17).

Dessa forma é possível considerar que os oceanos são os principais articuladores do clima. Conforme Barreto (2009), o Oceano Pacífico assume grande importância por se tratar do maior oceano do planeta ocupando aproximadamente 40% da superfície terrestre e que por esse motivo “os fenômenos associados à sua variabilidade térmica afetam direta e indiretamente todo o globo” (BARRETO, 2009, p. 17). Nesta lógica, um fenômeno climático bastante investigado na comunidade científica que envolve o oceano Pacífico é o El Niño – Oscilação Sul (ENOS).

A oscilação sul funciona como um balanço de massas atmosféricas de grande escala, envolvendo trocas entre leste e oeste do Pacífico. O centro de ação localiza-se entre a Indonésia e o Oceano Pacífico Tropical Sul. Esta circulação leste-oeste, denominada Célula de Walker, com ramo ascendente no oceano Pacífico oeste e subsidente no Pacífico leste. O ENOS é uma anomalia na TSM do Pacífico, desloca as águas mais quentes de oeste para leste. Este fato desloca a Célula de Walker para leste, o ramo descendente desloca-se do oeste da América do Sul para Leste da América do Sul [...]. (TUCCI & BRAGA, 2003, p. 90).

Ropelewski e Halpert (1987) estudaram um padrão de precipitações em escala regional e global em conexão com o ENOS e concluíram que quatro regiões na Austrália, duas na América do Norte, duas na América do Sul, duas na Índia, duas na África e uma na América Central mostravam variações no regime de precipitações relacionadas a esse fenômeno.

Quanto ao Brasil, estudos como o de Souza et al. (2000) apresentam áreas de atuação do El Niño em regiões do semiárido nordestino, norte e leste da Amazônia e sul do país. De acordo com Barreto (2009) em fase de El Niño, o norte e leste da Amazônia juntamente com o Nordeste são afetados com a diminuição da pluviosidade. Quando da ocorrência do La Niña, as consequências são inversas.

Mais especificamente da Região Hidrográfica do Rio São Francisco em associação às influências das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) nas diferentes áreas do El Niño, há contrastes entre o Alto São Francisco / Médio São Francisco e Baixo São Francisco. Conforme Silva et al.

[...] em anos de El Niño ocorrem altas precipitações na sub-bacia do Alto São Francisco, e consequentemente altas vazões, e baixas precipitações na sub-bacia do Baixo São Francisco. Em anos de La Niña, ocorre exatamente o contrário, ou seja, altas precipitações na sub-bacia do Baixo São Francisco sobre a sub-bacia do Alto São Francisco. (SILVA et al., 2011, p. 47).

As projeções futuras sobre o clima sugerem que os eventos de El Niño deverão ter maior frequência de acontecimentos com o maior aquecimento da troposfera, resultando em um aumento na variabilidade interanual no Pacífico Tropical (SANTOS et al., 2019, p. 97). Por conseguinte, com o aumento da frequência e intensidade do ENSO causados pelas mudanças climáticas pode haver aumento dos riscos de secas intensas no semiárido

nordestino, elevando a escassez hídrica e gerando um estado maior de pobreza para grande parte da população local.

O fenômeno ENSO sobre o Pacífico Equatorial somado ao gradiente meridional de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical “modulam conjuntamente uma grande parte da variância interanual do clima sobre a América do Sul” (NOBRE, 1996, s.p.).

O fenômeno El Niño [...] dependendo da intensidade e período do ano em que ocorre, é um dos responsáveis por anos considerados secos ou muito secos, principalmente quando acontece conjuntamente com o dipolo positivo do Atlântico (Dipolo do Atlântico: diferença entre a anomalia da Temperatura da Superfície do Mar-TSM na Bacia do Oceano Atlântico Norte e Oceano Atlântico Sul), que é desfavorável às chuvas. O fenômeno La Niña [...] é normalmente responsável por anos considerados normais, chuvosos ou muito chuvosos na região. (FERREIRA & MELLO, 2005, p. 25).

Vale ressaltar que a combinação dos sistemas atmosféricos anômalos acompanhados das distribuições espaciais de TSM sobre tais oceanos afetam o posicionamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico, que por sua vez resulta na forma como é distribuída a pluviometria na América do Sul, mas principalmente, sobre a Região Nordeste do Brasil.

Em anos de El Niño, quando as águas superficiais da Bacia do Pacífico, em torno do Equador, e sobre o lado centro-leste, estão mais aquecidas, toda a convecção equatorial também se desloca para o leste, alterando assim o posicionamento da Célula de Walker. Devido à continuidade da circulação atmosférica, o ar quente sobre aquela região é empurrado, originando uma célula descendente sobre o Oceano Atlântico, próximo à região Nordeste do Brasil (NEB) e à Amazônia oriental. Dependendo da intensidade dessa célula de circulação e de sua fase de ocorrência, pode haver inibição da formação de nuvens e descida da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e, conseqüentemente, pode haver deficiência das chuvas na região do NEB. (FERREIRA & MELLO, 2005, p. 24-25).

Em relação aos sistemas frontais, as frentes foram definidas como “a zona de transição entre duas massas de ar com características físicas distintas e fortes gradientes de temperatura e umidade, o que é atualmente chamada de zona frontal” (ANDRADE, 2005, p. 29). As

frentes atuam durante o ano todo no Brasil, mas afetam principalmente as regiões Sul e Sudeste, sendo responsáveis por chuvas e frio. No entanto, conforme Andrade (2005, p. 30) “a penetração dos sistemas frontais e seus remanescentes têm um papel importante também na precipitação no sul da Região Nordeste”.

Estudos como de Oliveira (1986) e Kousky (1979) constataram que algumas frentes frias podem atingir o Nordeste e, posteriormente, se deslocarem para o oceano onde, em seguida, dá-se uma frontólise. Segundo Oliveira (1986) na faixa latitudinal de 35°S – 25°S há uma redução do número de ocorrência de frentes frias e, portanto, as frentes que ultrapassam os 20°S rumo ao nordeste são menos frequentes. Conforme Andrade

Kousky (1979) também identificou uma maior frequência de ocorrência de sistemas frontais no sul da Bahia nos meses de março a dezembro para o período de 1961 a 1970. Notou que há uma tendência de anos com maiores totais de precipitações corresponder a anos com maior número de passagem de frentes. Às vezes, as frentes frias afetam também o estado do Ceará contribuindo para o total pluviométrico mensal, como verificado por Alves (1992). Sobre o Nordeste, as frentes não apresentam grande contraste de temperatura, entretanto, ficam ativas devido ao grande contraste de umidade. (ANDRADE, 2005, p. 41).

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) ou Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) são faixas de intensa atividade convectiva em movimento circular que “em sua periferia, [...] formam-se nuvens produtoras de chuva e no centro há movimentos de ar subsidente, aumentando a pressão à superfície e inibindo a formação de nuvens” (BARRETO, 2009, p. 32). Os vórtices que atuam na área semiárida da Região Hidrográfica do Rio São Francisco, ocorrem na primavera, verão e outono, mas com maior ocorrência em janeiro (SANTOS et al., 2010) e resultam em episódios de precipitações muito acima das médias registradas.

Esses vórtices são sistemas de escala sinótica que influenciam fortemente as condições de tempo, pois estão, geralmente, associados a alguns episódios de chuvas

intensas. Na região Nordeste do Brasil, tais vórtices formam-se sobre Oceano Atlântico entre os meses de dezembro a março, com maior frequência no mês de janeiro, e sua trajetória normalmente é de leste para oeste. [...] as condições adicionais seriam as penetrações de um Sistema Frontal do Hemisfério Norte (SFHN), ou seus restos, em latitudes equatoriais sobre o Atlântico e o posicionamento da Alta da Bolívia mais para leste de sua posição normal durante o verão da América do Sul, além da penetração de um Sistema Frontal do Hemisfério Sul (SFHS). (BARRETO, 2009, p. 33).

Já os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) ou Ondas de Leste (OL) são formadas na região do Oceano Atlântico Sul, “deslocam-se para oeste e se intensificam à medida que se aproximam da costa leste do Nordeste Brasileiro (NEB)” (SILVA, 2011, p.01). São sistemas de escala sinótica que se dão na baixa Troposfera Tropical na área de influência dos ventos alísios, que trazem chuva para a Zonta da Mata e o Agreste nos meses do inverno e secundariamente no outono (ZANELLA, 2014, p. 129).

Souza (2012), em um estudo sobre análise multivariada de chuva-vazão na Região Hidrográfica do Rio São Francisco, afirmou que o DOL causa chuva, principalmente na costa leste do NEB, mas que esse distúrbio ondulatório atua de maneira menos intensa no baixo da região hidrográfica com pouca contribuição nesta área, onde se percebe valores positivos, mas pouco significativos.

CAPÍTULO 3

ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS

3.1 Fluxograma da pesquisa

Preliminarmente, a definição da temática e a escolha da área de estudo se deram por meio do levantamento bibliográfico referente à variabilidade e mudanças climáticas e do

conhecimento, especialmente da Região Hidrográfica do Rio São Francisco. A partir desta fase inicial, foram delimitados a tese, a seleção dessa região hidrográfica e traçados os objetivos do presente estudo.

Com intuito de alcançar com êxito os objetivos propostos, foi dada continuidade à pesquisa bibliográfica relativa aos conceitos e teorias acerca do assunto, fundamentação da base metodológica e da verificação da disponibilidade de dados pluviométricos na área escolhida para o estudo. Foram selecionados livros, artigos científicos e base documental do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco para o desenvolvimento do estudo.

O referencial teórico-conceitual foi direcionado especialmente para o conhecimento e caracterização da Região Hidrográfica do Rio São Francisco; para a importância do clima e da atuação dos sistemas atmosféricos; para a compreensão das mudanças climáticas nas escalas global e regional (Brasil) e dos extremos climáticos com a abordagem de algumas ocorrências de eventos extremos no mundo e no Brasil; para as técnicas matemáticas e estatísticas para análise das séries pluviométricas e dos métodos e modelos aplicados ao reconhecimento de tendências.

O diagrama (Figura 3) demonstra a representação visual da estrutura simplificada do percurso metodológico utilizado na pesquisa.

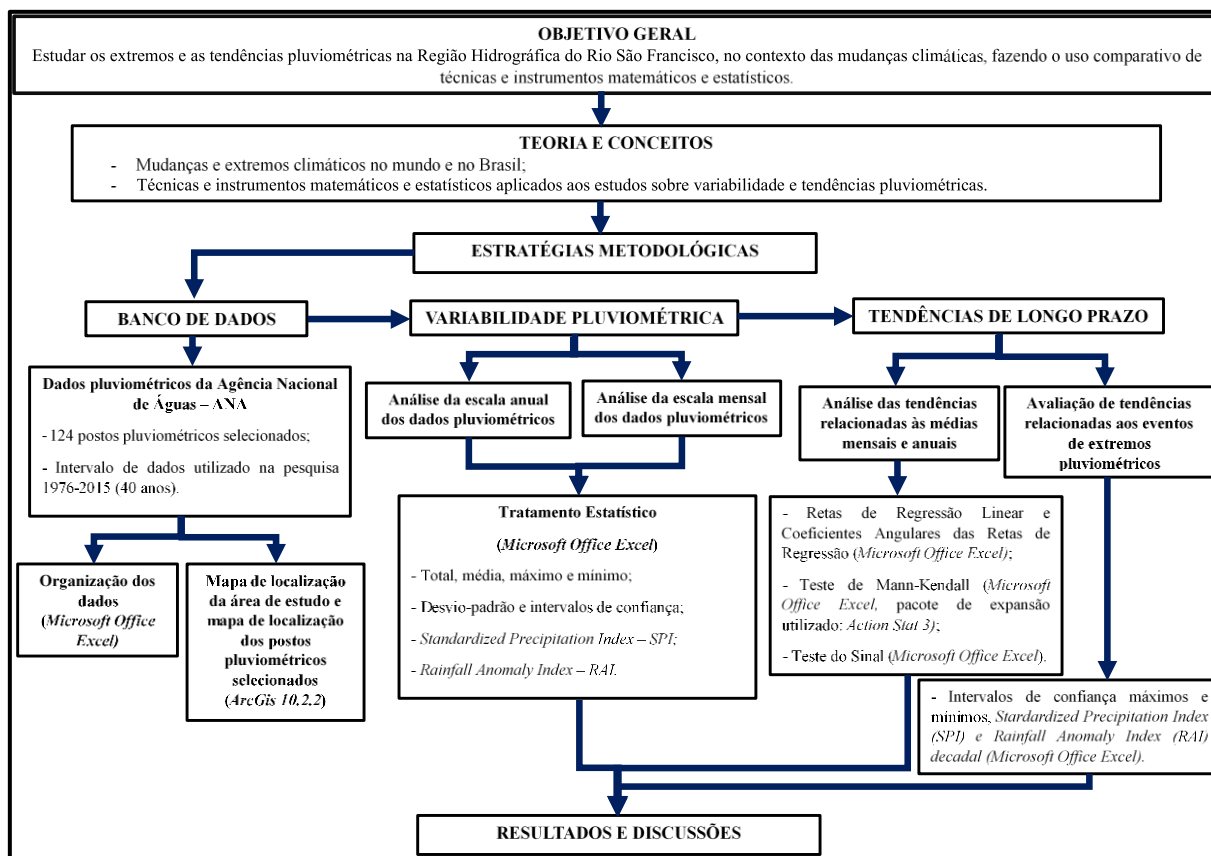


Figura 03 – Fluxograma da Pesquisa, 2020

Org.: MENDES SILVA, M., 2020.

3.2 Organização do banco de dados

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi realizado o levantamento histórico de todas as estações de pluviometria da rede de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA) distribuídas na área de estudo. Após o *download* dos dados, foram analisados a qualidade dos dados levantados quanto à presença de lacunas na série temporal; o intervalo de dados que obedecessem ao mínimo 30 anos, pois conforme Ayoade (2010) essa quantidade de anos é necessária para a realização de uma análise climática; e a distribuição/espacialização das estações no território da área de estudo. Após todas as etapas mencionadas, 124 postos

pluviométricos foram selecionados (Quadro 1 e Figura 4), pois foram considerados suficientes e viáveis do ponto de vista do tratamento estatístico e geração das informações para a execução dos procedimentos metodológicos.

Quadro 01 – Informações dos postos pluviométricos adotados na pesquisa, 2017

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SUB-BACIA 40							
Nº DO POSTO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO/ESTADO	LAT	LONG	ALT (m)	PERÍODO DE DADOS	
1	1845002	Fazenda São Félix	São Gonçalo do Abaeté/MG	18° 27' 52"	45° 38' 48"	760	1969-2015
2	1845004	Lagoa da Gouvêia	Tiros/MG	18° 50' 29"	45° 51' 5"	1035	1975-2016
3	1944004	Ponte Nova do Paraopeba	Juatuba/MG	19° 56' 56"	44° 28' 20"	721	1941-2016
4	1944007	Fazenda Escola Florestal	Florestal/MG	19° 52' 47"	44° 25' 18"	745	1958-2016
5	1944010	Horto Florestal	Paraopeba/MG	19° 16' 5"	44° 24' 6"	733	1942-2016
6	1944011	Jaguaruna - jusante	Onça de Pitangui/MG	19° 43' 41"	44° 48' 24"	684,9	1971-2016
7	1944026	Barro Preto	Mateus Leme/MG	19° 57' 51"	44° 27' 7"	846,7	1971-2016
8	1944031	Ponte da Taquara	Paraopeba/MG	19° 25' 24"	44° 32' 54"	624,3	1976-2016
9	1944049	Papagaios	Papagaios/MG	19° 25' 42"	44° 43' 11"	703	1976-2016
10	1945002	Barra do Funchal	Serra da Saudade/MG	19° 23' 41"	45° 53' 4"	720	1942-2015
11	1945008	Bom Despacho	Bom Despacho/MG	19° 44' 33"	45° 15' 18"	750	1959-2016
12	1945019	Dores do Indaia	Dores do Indaia/MG	19° 28' 7"	45° 36' 6"	692	1975-2016
13	1945035	Abaeté	Abaeté/MG	19° 9' 47"	45° 26' 33"	565	1942-2016
14	1946000	Tapirai - jusante	Tapirai/MG	19° 52' 46"	46° 1' 58"	670	1975-2015
15	1946009	São Gotardo	São Gotardo/MG	19° 18' 55"	46° 2' 40"	1094	1941-2016
16	2043005	Conselheiro Lafaiete	Conselheiro Lafaiete/MG	20° 37' 30"	43° 45' 13"	996	1942-2016
17	2043013	Congonhas - Linigrafo	Congonhas/MG	20° 31' 19"	43° 49' 48"	871	1942-2016
18	2044002	Itaúna - montante	Itaúna/MG	20° 4' 17"	44° 34' 13"	859	1942-2016
19	2044003	Carmo do Cajuru	Carmo do Cajuru/MG	20° 11' 32"	44° 47' 37"	746	1942-2016
20	2044007	Entre Rios de Minas	Entre Rios de Minas/MG	20° 39' 40"	44° 4' 20"	840	1942-2016
21	2044008	Melo Franco	Brumadinho/MG	20° 11' 52"	44° 7' 15"	761	1943-2016
22	2044009	Fazenda Campo Grande	Passa Tempo/MG	20° 37' 31"	44° 26' 0"	915	1945-2014
23	2044012	Ibirité	Ibirité/MG	20° 2' 34"	44° 2' 36"	1073	1945-2014
24	2044016	Fazenda Benedito Chaves	Itatiaiuçu/MG	20° 10' 9"	44° 30' 54"	944	1971-2016
25	2044019	Fazenda Vista Alegre	Mateus Leme/MG	20° 3' 5"	44° 27' 6"	913,4	1971-2015
26	2044020	Calambau	Itaúna/MG	20° 4' 6"	44° 29' 32"	943	1973-2014
27	2044021	Alto da Boa Vista	Mateus Leme/MG	20° 6' 20"	44° 24' 4"	905,2	1973-2015
28	2044024	Fazenda Curralinho	Mateus Leme/MG	20° 0' 27"	44° 19' 52"	786,1	1975-2016
29	2044026	Fazenda Coqueiros	Itaúna/MG	20° 7' 47"	44° 28' 28"	974,7	1977-2016
30	2045001	Bambuì	Bambuì/MG	20° 1' 16"	45° 57' 58"	654	1941-2016
31	2045002	Iguatama	Iguatama/MG	20° 10' 44"	45° 42' 1"	606	1942-2015
32	2045010	Arcos - Copasa	Arcos/MG	20° 17' 41"	45° 32' 34"	791	1975-2016
33	2045011	Lagoa da Prata	Lagoa da Prata/MG	20° 2' 12"	45° 32' 7"	658	1975-2016
34	2045012	Piumhi	Piumhi/MG	20° 27' 43"	45° 56' 42"	806	1975-2016
35	2045013	Santo Antônio do Monte	Santo Antônio do Monte/MG	20° 5' 4"	45° 17' 48"	950	1942-2016
36	2046007	Fazenda Ajudas	Bambuì/MG	20° 6' 6"	46° 3' 18"	705	1975-2016
37	2046013	Vargem Bonita	Vargem Bonita/MG	20° 19' 48"	46° 21' 58"	743	1941-2016

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SUB-BACIA 41							
Nº DO POSTO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO/ESTADO	LAT	LONG	ALT (m)	PERÍODO DE DADOS	
1	1744009	Várzea da Palma	Várzea da Palma/MG	17° 35' 46"	44° 42' 4"	488	1942-2016
2	1744010	Lassance	Lassance/MG	17° 53' 24"	44° 34' 36"	536	1949-2016
3	1843000	Usina Paraúna	Presidente Juscelino/MG	18° 38' 8"	43° 57' 57"	648	1942-2015
4	1843002	Gouvêia	Gouvêia/MG	18° 27' 56"	43° 44' 35"	1200	1942-2016
5	1844009	Presidente Juscelino	Presidente Juscelino/MG	18° 38' 38"	44° 2' 53"	633	1975-2016
6	1844010	Ponte do Licínio	Presidente Juscelino/MG	18° 40' 17"	44° 11' 29"	560	1975-2016
7	1845013	São Gonçalo do Abaeté	São Gonçalo do Abaeté/MG	18° 20' 37"	45° 50' 12"	836	1959-2016
8	1845014	Tiros	Tiros/MG	18° 59' 59"	45° 57' 58"	1030	1959-2016
9	1845021	Canoeiros	São Gonçalo do Abaeté/MG	18° 2' 18"	45° 31' 25"	760	1971-2016
10	1846003	Major Porto	Patos de minas/MG	18° 42' 25"	46° 2' 13"	672	1969-2016
11	1943006	Sabarã	Sabarã/MG	19° 53' 35"	43° 48' 54"	720	1942-2016
12	1943009	Vespasiano	Vespasiano/MG	19° 41' 14"	43° 55' 15"	676	1942-2015
13	1943010	Caeté	Caeté/MG	19° 54' 10"	43° 39' 59"	825	1942-2016
14	1943023	Taquaraçu	Taquaraçu de Minas/MG	19° 39' 50"	43° 41' 17"	710	1942-2016
15	1943024	José de Melo	Juatuba/MG	19° 41' 23"	43° 35' 8"	825	1944-2016
16	1943035	Vau da Lagoa	Santana do Riacho	19° 13' 8"	43° 35' 17"	1090	1956-2016
17	1943042	Fazenda Caraibas	Baldim/MG	19° 7' 11"	43° 50' 15"	700	1975-2016
18	1943055	Belo Horizonte (Horto)	Belo Horizonte/MG	19° 54' 0"	43° 55' 0"	915	1962-2015
19	1944009	Pedro Leopoldo	Pedro Leopoldo/MG	19° 38' 4"	44° 3' 12"	698	1942-2016
20	1944024	Fazenda Vargem Bonita	Jequitibá/MG	19° 14' 14"	44° 7' 23"	636	1961-2016
21	2043002	Lagoa Grande (MMV)	Nova Lima/MG	20° 10' 45"	43° 56' 34"	1350	1941-2016
22	2043004	Rio do Peixe (MMV)	Nova Lima/MG	20° 8' 16"	43° 53' 33"	1097	1941-2016

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SUB-BACIA 42							
Nº DO POSTO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO/ESTADO	LAT	LONG	ALT (m)	PERÍODO DE DADOS	
1	1644028	São João da Vereda	Montes Claros/MG	16° 42' 9"	44° 7' 2"	847	1976-2016
2	1645009	Cachoeira da Manteiga	Buritizero/MG	16° 39' 25"	45° 4' 51"	475	1973-2016
3	1645013	Fazenda Água Branca	Buritizero/MG	16° 48' 23"	45° 1' 49"	513	1975-2016
4	1646000	Porto dos Poções	Dom Bosco/MG	16° 49' 47"	46° 19' 20"	540	1964-2016
5	1646003	Santo Antônio do Boqueirão	Unai/MG	16° 31' 47"	46° 43' 16"	570	1977-2016
6	1745001	Cachoeira do Paredão	Buritizero/MG	17° 6' 40"	45° 26' 16"	520	1967-2016
7	1746001	Porto da Extrema	João Pinheiro/MG	17° 1' 51"	46° 0' 49"	510	1963-2016
8	1746002	Santa Rosa	Paracatu/MG	17° 15' 19"	46° 28' 26"	490	1968-2016
9	1746007	Ponte da BR-040 - Paracatu	Paracatu/MG	17° 29' 50"	46° 34' 54"	537	1973-2016
10	1747005	Guarda-Mor	Guarda-Mor/MG	17° 46' 21"	47° 5' 55"	1000	1974-2016
11	1846015	Vazante	Vazante/MG	18° 0' 18"	46° 54' 40"	673	1959-2016
12	1846016	Ponte Firme	Presidente Olegário/MG	18° 2' 2"	46° 25' 10"	819	1959-2016

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SUB-BACIA 43							
Nº DO POSTO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO/ESTADO	LAT	LONG	ALT (m)	PERÍODO DE DADOS	
1	1546000	Arinos - montante	Arinos/MG	15° 55' 4"	46° 7' 9"	492	1963-2016
2	1546005	Cabeceiras	Cabeceiras/GO	15° 48' 3"	46° 55' 29"	900	1974-2016
3	1644027	Fazenda Conceição	São Romão/MG	16° 25' 43"	45° 44' 32"	604	1975-2016
4	1645000	São Romão	São Romão/MG	16° 22' 18"	45° 4' 58"	472	1953-2016
5	1645002	Santo Inácio	São Romão/MG	16° 16' 54"	45° 24' 51"	460	1963-2016
6	1645005	Vila Uruçua	São Francisco/MG	16° 8' 1"	45° 44' 32"	447	1968-2016

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SUB-BACIA 44							
Nº DO POSTO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO/ESTADO	LAT	LONG	ALT (m)	PERÍODO DE DADOS	
1	1443001	Manga	Manga/MG	14° 45' 24"	43° 55' 56"	452	1939-2016
2	1543002	Colônia do Jaíba	Jaíba/MG	15° 20' 28"	43° 40' 31"	450	1963-2016
3	1543013	Janaúba	Janaúba/MG	15° 46' 32"	43° 16' 47"	598	1970-2016
4	1544012	São Francisco	São Francisco/MG	15° 56' 58"	44° 52' 5"	448	1939-2016
5	1544019	São João da Ponte	São João da Ponte/MG	15° 55' 49"	44° 0' 15"	752	1976-2016

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SUB-BACIA 45							
Nº DO POSTO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO/ESTADO	LAT	LONG	ALT (m)	PERÍODO DE DADOS	
1	1344002	Mocambo	Santa Maria da Vitória/BA	13° 16' 40"	44° 33' 32"	520	1946-2016
2	1344014	Correntina	Correntina/BA	13° 20' 11"	44° 39' 8"	566	1973-2016
3	1344015	Colônia do Formoso	Coribe/BA	13° 34' 0"	44° 18' 22"	447	1973-2016
4	1443002	Carinhanha	Carinhanha/BA	14° 18' 16"	43° 46' 5"	440	1967-2015
5	1444000	São Gonçalo	Montalvânia/MG	14° 18' 49"	44° 27' 37"	475	1947-2016
6	1444001	Capitânea	Montalvânia/MG	14° 25' 52"	44° 28' 54"	523	1954-2016
7	1444003	Miravânia	Manga/MG	14° 44' 51"	44° 24' 40"	963	1967-2016
8	1444004	Juvenília	Montalvânia/MG	14° 15' 57"	44° 9' 26"	440	1965-2016
9	1444005	Lagoa das Pedras	Montalvânia/MG	14° 16' 50"	44° 24' 34"	450	1970-2016
10	1444017	Fazenda Porto Alegre	Cocos/BA	14° 16' 6"	44° 31' 18"	500	1947-2016

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SUB-BACIA 46							
Nº DO POSTO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO/ESTADO	LAT	LONG	ALT (m)	PERÍODO DE DADOS	
1	1143010	Boqueirão	Mansidão/BA	11° 20' 29"	43° 49' 40"	411	1937-2016
2	1144005	Fazenda Macambira	Cotegipe/BA	11° 36' 50"	44° 9' 27"	421	1964-2016
3	1144008	Santa Rita de Cássia	Santa Rita de Cássia/BA	11° 0' 9"	44° 31' 29"	550	1973-2016
4	1144014	São Sebastião	Angical/BA	11° 58' 46"	44° 52' 38"	447	1973-2016
5	1145004	Fazenda Bom Jardim	Formosa do Rio Preto/BA	10° 59' 33"	45° 31' 36"	451	1978-2016
6	1145013	Ponte Surafim	Barreiras/BA	11° 53' 46"	45° 36' 43"	713	1978-2016
7	1145014	Nova Vida - montante	Barreiras/BA	11° 51' 9"	45° 7' 20"	458	1973-2016
8	1242015	Brotas de Macaúbas	Brotas de Macaúbas/BA	12° 0' 13"	42° 37' 42"	837	1976-2016
9	1242016	Ponte BR-242	Oliveira dos Brejinhos/BA	12° 15' 7"	42° 45' 46"	440	1973-2016
10	1243000	Gameleira	Sítio do Mato/BA	12° 52' 1"	43° 22' 53"	413	1977-2016
11	1243011	Ibotirama	Ibotirama/BA	12° 10' 50"	43° 13' 24"	420	1953-2016
12	1244011	Barreiras	Barreiras/BA	11° 9' 16"	45° 0' 33"	444	1937-2016
13	1244019	Fazenda Coqueiro	São Desidério/BA	12° 23' 21"	44° 55' 56"	502	1973-2016
14	1245005	Derocal	São Desidério/BA	12° 24' 41"	45° 7' 13"	502	1973-2016
15	1245007	Sítio Grande	São Desidério/BA	12° 25' 50"	45° 5' 9"	512	1977-2016

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SUB-BACIA 47							
Nº DO POSTO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO/ESTADO	LAT	LONG	ALT (m)	PERÍODO DE DADOS	
1	940018	Campo dos Cavalos	Juazeiro/BA	9° 33' 35"	40° 38' 48"	377	1955-2016
2	940028	Junco	Juazeiro/BA	9° 40' 36"	40° 36' 14"	397	1973-2016
3	1142017	Fazenda Cabeceiras	Ibipeba/BA	11° 19' 43"	42° 18' 18"	490	1973-2016

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SUB-BACIA 48							
Nº DO POSTO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO/ESTADO	LAT	LONG	ALT (m)	PERÍODO DE DADOS	
1	737023	Afogados da Ingazeira (DNOCS)	Afogados da Ingazeira/PE	7° 44' 20"	37° 38' 54"	525	1915-2016
2	737027	Flores	Flores/PE	7° 52' 4"	37° 58' 21"	460	1912-2016
3	838000	Airi (Rochedo)	Floresta/PE	8° 32' 21"	38° 11' 34"	361	1935-2016
4	838002	Açude Serrinha	Mirandiba/PE	8° 14' 23"	38° 31' 40"	375	1963-2016
5	838004	Belém de São Francisco	Belém de São Francisco/PE	8° 45' 54"	38° 57' 38"	305	1947-2016
6	839009	Jacaré	Parnamirim/PE	8° 15' 46"	39° 50' 50"	390	1963-2016
7	839014	Poço do Fumo	Parnamirim/PE	8° 10' 40"	39° 43' 53"	350	1963-2016
8	840010	Fazenda São Bento	Santa Maria da Boa Vista/PE	8° 36' 58"	39° 59' 58"	350	1969-2015
9	840015	Lagoa Grande	Santa Maria da Boa Vista/PE	8° 59' 56"	40° 16' 23"	365	1941-2016
10	940025	Lagoa do Boi	Juazeiro/BA	9° 29' 27"	40° 12' 16"	378	1974-2015

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SUB-BACIA 49							
Nº DO POSTO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO/ESTADO	LAT	LONG	ALT (m)	PERÍODO DE DADOS	
1	837038	Inajá	Inajá/PE	8° 55' 15"	37° 49' 50"	355	1978-2016
2	936076	Traipu	Traipu/AL	9° 58' 22"	37° 0' 12"	109	1978-2016
3	937013	Delmiro Gouvêia	Delmiro Gouvêia/AL	9° 23' 34"	37° 59' 39"	256	1936-2016
4	1036005	Penedo	Penedo/AL	10° 17' 6"	36° 33' 23"	28	1935-2016

Fonte: ANA (2017)

Org.: MENDES SILVA, M., 2017.

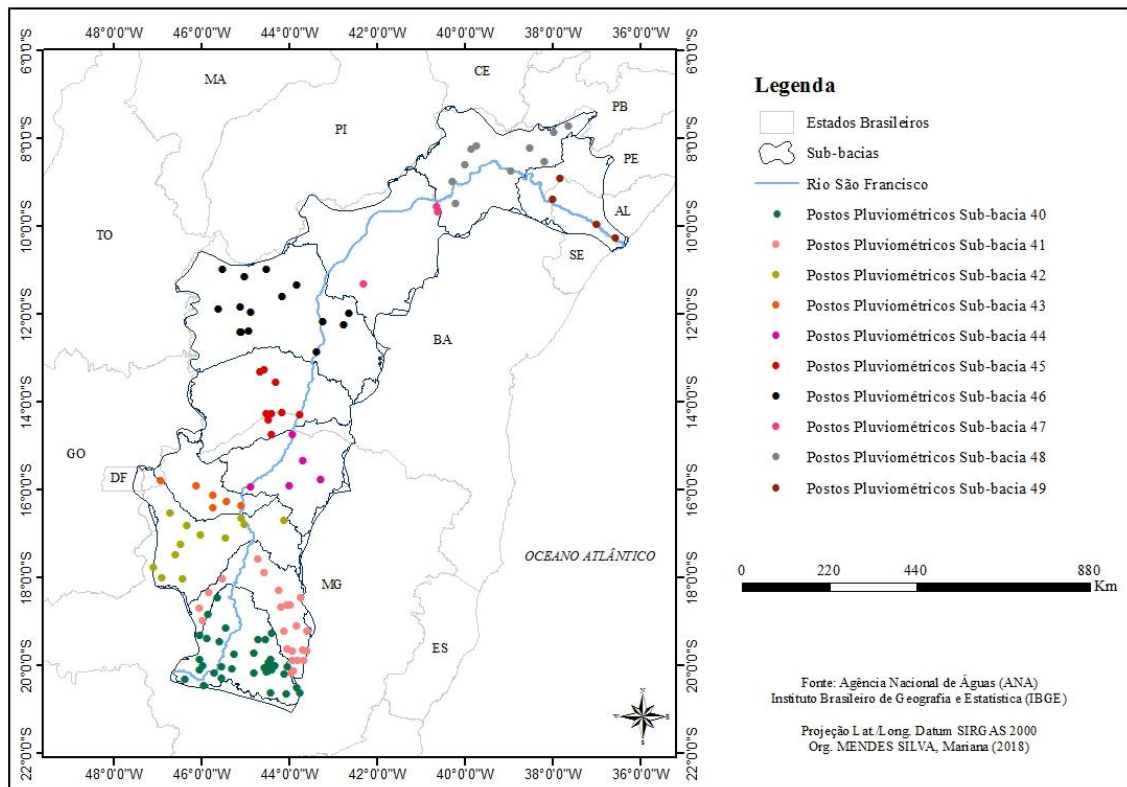


Figura 04 – Localização dos 124 postos pluviométricos adotados na pesquisa, 2018

Org.: MENDES SILVA, M., 2018.

Em relação às eventuais ausências de dados, optou-se por preencher tais falhas com o valor da média mensal calculado a partir de todo o rol de dados do específico mês e posto pluviométrico, isto é, se não há um dado no mês de Janeiro (por exemplo) de um ano qualquer, essa lacuna foi preenchida com a média mensal de Janeiro calculada no período de 1976-2015 do respectivo posto pluviométrico.

3.3 Técnicas e instrumentos aplicados à avaliação de eventos de extremos pluviométricos

Com o propósito de compreender a variabilidade pluviométrica da Região Hidrográfica do Rio São Francisco e determinar os eventos de extremos pluviométricos

existentes após a coleta, os dados foram reorganizados para facilitar o emprego métodos matemáticos e estatísticos. Como os dados baixados são visualizados no *Microsoft Office Access 2016*, o primeiro passo foi copiar os dados dos totais mensais no intervalo delimitado de 1976-2015 para planilhas do *Microsoft Office Excel 2016*. Devido à grande quantidade de postos pluviométricos utilizados nesta pesquisa, adotou-se a regionalização por sub-bacia empregada pela Agência Nacional de Águas (ANA) como forma de simplificar o entendimento e a demonstração dos resultados. Para esta reestruturação, foram efetuados os seguintes cálculos:

- Total anual em cada um dos anos por posto pluviométrico. Em seguida, a partir desses novos dados foi calculada a média desse total anual a fim de obter um total anual médio da sub-bacia. Os máximos e os mínimos anuais de cada uma das sub-bacias também foram calculados;
- Média mensal histórica de cada um dos meses do ano para cada posto pluviométrico. Posteriormente, em posse desses dados, foi computada a média mensal histórica de cada um dos meses agora por sub-bacia. Concomitantemente a tal processo foram estabelecidos os máximos e os mínimos mensais.
- Média mensal anual de cada um dos meses do ano para cada um dos anos do intervalo da pesquisa. Para tanto, foi construída uma planilha para cada mês do ano por sub-bacia, contendo os dados históricos mensais de cada posto. Por exemplo, na planilha do mês de janeiro da sub-bacia 40, foram colocados os totais pluviométricos de cada um dos postos pluviométricos dessa sub-bacia referentes ao mês de janeiro em cada um dos anos do intervalo estabelecido neste estudo.

A partir dos totais anuais médio, máximo e mínimo por sub-bacia no intervalo de 1976-2015 foram produzidos gráficos com tais informações com o intuito de visualizar as variações anuais da pluviometria em cada uma das sub-bacias.

Ainda utilizando os dados do total anual médio por sub-bacia no intervalo de anos desse estudo, foram calculados a média e o desvio-padrão do todo. Após tal procedimento, foi estabelecido um intervalo de confiança a fim de demonstrar os extremos pluviométricos anuais por sub-bacia. Este intervalo de confiança foi calculado a partir dos intervalos máximo (*média + desvio-padrão*) e mínimo (*média - desvio-padrão*). Com base nessas informações foram gerados gráficos de cada uma das sub-bacias do total anual médio e seus respectivos intervalos de confiança.

Com o intuito de visualizar o quanto cada mês contribui no total pluviométrico anual por sub-bacia e ainda identificar os meses mais chuvosos e os mais secos, foram produzidos gráficos representando a média, o máximo e o mínimo mensal histórico de cada um dos meses do ano. Ainda levando-se em consideração as séries temporais mensais, foram gerados dois quadros com a contagem do número de ocorrências mensais que ficaram acima e abaixo dos intervalos máximos e mínimos do desvio-padrão e mais dois quadros com as ocorrências que ficaram acima dos intervalos máximos e mínimos do desvio-padrão por década.

Com a finalidade de estabelecer e avaliar os eventos de extremos pluviométricos foram utilizados, além dos resultados do desvio-padrão mensal e os cálculos dos intervalos máximos e mínimos, os cálculos dos chamados *Standardized Precipitation Index (SPI)* ou Índice Padronizado de Precipitação e *Rainfall Anomaly Index (RAI)* ou Índice de Anomalia de Chuva.

O SPI é aplicado em estudos sobre secas e extremos de chuvas. Quando criado, tinha como principal finalidade auxiliar na quantificação e no monitoramento de eventos de secas,

mas na atualidade, ele tem sido empregado também no reconhecimento de episódios ligados ao excesso de pluviosidade (GARCIA et al., 2018). Para o cálculo do SPI é necessário um intervalo mínimo de 30 anos de dados de pluviosidade. Os dados são ajustados por meio da distribuição gama “que posteriormente é transformada em uma distribuição normal, que por definição, apresenta sua média com valor zero e variância unitária” (FERNANDES et al., EMBRAPA – Documentos 244, 2009).

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade por meio da seguinte função:

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

Onde:

$\alpha > 0$, parâmetro de forma (adimensional);

$\beta > 0$, parâmetro de escala (mm);

$x > 0$, total de precipitação (mm);

$\Gamma(x)$, função gama.

A função gama é calculada pela seguinte equação:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

Para estimar os parâmetros α e β – método da máxima verossimilhança – foram utilizadas as equações abaixo:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{\frac{1 + 4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

$$A = I_n(\bar{x}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x)$$

Onde:

\bar{x} , é a média aritmética da precipitação pluvial (mm);

I_n , é o logaritmo neperiano;

N , é o número de observações de precipitação.

Os resultados desses parâmetros foram empregados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para uma escala de tempo mensal, utilizando a seguinte fórmula:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx$$

Substituindo $t = \frac{x}{\beta}$ na equação, a função gama incompleta fica:

$$G_{(x)} = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

Sob condição de que a função gama é indeterminada para $x = 0$ e uma distribuição de pluviosidade pode conter zeros, a probabilidade cumulativa leva em consideração:

$$H(x) = q + (1 - q)G_{(x)}$$

Sendo,

$H(x)$, distribuição de probabilidade cumulativa;

q , probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros);

$G_{(x)}$, distribuição cumulativa teórica.

Uma vez que m é a quantidade de zeros da série de pluviometria, Thom (1966) aponta que q pode ser estimado por $m / n + 1$ e utiliza tabelas da função gama incompleta para determinar a probabilidade cumulativa $G_{(x)}$.

A distribuição dessa probabilidade cumulativa $G_{(x)}$ é alterada para uma variável aleatória normalizada (*SPI*) com média zero e desvio padrão 1.

Essa é uma transformação equiprobabilística que Panofsky e Brier (1958) definiram como uma característica essencial para transformar uma variável de distribuição gama para uma variável com a distribuição normal, onde a probabilidade de ser menor que um valor dado será igual à probabilidade de ser menor que o valor correspondente da variável transformada. (FERNANDES et al., EMBRAPA - Documentos 244, p. 19-20).

Nessa perspectiva, os dados de pluviosidade são ordenados em ordem crescente de magnitude de modo que os valores são baixos e no qual o tamanho da amostra é calculado pela seguinte equação:

$$q = \frac{m}{n + 1}$$

Onde,

m , é o número de ordem dos valores de zero em uma série de pluviometria;

n , corresponde ao tamanho da amostra.

O valor do (SPI) é estimado pelas equações desenvolvidas por Abramowitz & Stegun (1965), que transformam a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável (SPI). Os valores de (SPI) são definidos da seguinte maneira:

$$SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1$$

Sendo t determinado pelas equações:

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{[-1(H(x))]^2} \right]} \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1$$

E os coeficientes utilizados nas equações de determinação dos valores de *SPI*, são: $C_0 = 2,515517$; $C_1 = 0,802853$; $C_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; e $d_3 = 0,001308$.

Com os valores do *SPI* calculados para cada um dos dados de pluviosidade os mesmos foram enquadrados nas seguintes categorias (Quadro 2):

Quadro 02 – Valores do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) e categorias de seca ou umidade

Valores do SPI	CATEGORIAS
$\geq + 2,00$	Extremamente Úmido
+ 1,00 a + 1,99	Muito Úmido
+ 0,50 a + 0,99	Moderadamente Úmido
+ 0,49 a - 0,49	Normal
- 0,50 a - 0,99	Moderadamente Seco
- 1,00 a - 1,99	Muito Seco
$\leq - 2,00$	Extremamente Seco

Fonte: Mackee et al. (1993).

Org.: MENDES SILVA, M., 2020

Outro índice utilizado neste trabalho para identificar e analisar anomalias pluviométricas da Região Hidrográfica do Rio São Francisco foi o RAI, método matemático considerado de simples cálculo e interpretação. O mesmo é calculado pelas seguintes fórmulas:

- Para meses ou anos com anomalias positivas: $RAI = 3 \left[\frac{(p-\bar{p})}{(\bar{m}-\bar{p})} \right]$
- Para meses ou anos com anomalias negativas: $RAI = -3 \left[\frac{(p-\bar{p})}{(\bar{x}-\bar{p})} \right]$

Sendo,

p , a pluviosidade observada (mm);

\bar{p} , a pluviosidade média (mm);

\bar{m} , a média dos dez valores mais altos de pluviosidade da série temporal e escala (mensal ou anual) utilizados;

\bar{x} , a média dos dez valores mais baixos de pluviosidade da série temporal e escala (mensal ou anual) utilizados.

No entanto, para saber se o valor da pluviosidade observada (p) se encaixa na fórmula das anomalias positivas ou na equação das anomalias negativas, bastou comparar a mesma com a pluviosidade média (\bar{p}), ou seja, se p foi maior que \bar{p} , aplicou-se a primeira equação e se p foi menor que \bar{p} , empregou-se a segunda equação. Após a determinação do RAI para os valores de pluviometria, os mesmos são classificados nos grupos (Quadro 3):

Quadro 03 – Valores do Índice de Anomalia de Chuva (RAI) e categorias de seca ou umidade

Valores do SPI	CATEGORIAS
$\geq + 4,00$	Extremamente Úmido
+ 2,00 a + 3,99	Muito Úmido
+ 1,99 a 0	Úmido
0 a - 1,99	Seco
- 2,00 a -3,99	Muito Seco
$\leq - 4,00$	Extremamente Seco

Fonte: Adaptado de Rooy (1965).

Org.: MENDES SILVA, M., 2020

Após o término da aplicação dos índices de detecção das anomalias de pluviometria (SPI e RAI), os resultados foram dispostos: em gráficos com as porcentagens do número de

ocorrências dos totais anuais por classes do SPI e do RAI por sub-bacia; em quadros com as contagens dos números de ocorrências mensais por classes do SPI e do RAI por sub-bacia; e em quadros com as quantidades de ocorrências mensais e dos totais anuais por décadas e por classes do SPI e do RAI por sub-bacia.

3.4 Técnicas e instrumentos aplicados à avaliação de tendências pluviométricas de longo prazo

Como tentativa de determinar e demonstrar as possíveis tendências nas séries de pluviometria na Região Hidrográfica do Rio São Francisco foram necessários o entendimento melhor detalhado da dinâmica da pluviometria na área de estudo e a pesquisa bibliográfica referente às técnicas e instrumentos matemáticos e estatísticos mais usuais no meio científico para tal propósito.

A partir disso, as técnicas e instrumentos mais empregados para identificação, previsão e demonstração de tais tendências na bibliografia sobre o assunto são os mesmos que foram utilizados nesta pesquisa: a Reta de Regressão Linear juntamente com a apreciação do Coeficiente Angular da Reta de Regressão Linear; o Teste de Mann-Kendall; e o Teste do Sinal.

1. *Regressão Linear*: a análise de regressão tem por intenção descrever por meio de um modelo matemático, a relação entre duas variáveis, baseando-se nas n observações das mesmas. Neste sentido, a reta de regressão serve para resumir a relação entre as variáveis e para fazer previsões a partir dos dados. Então, primeiramente é estabelecida a equação da reta por meio da função $Y = aX + b$ (sendo Y a variável

dependente, X a variável independente e a e b os parâmetros), cuja reta resultante representa a correlação das variáveis, que neste estudo são elas: pluviometria e tempo. Para definir a equação da reta, foram calculados os valores dos parâmetros utilizando as seguintes fórmulas:

$$a = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

Onde: n é o número de observações; \bar{x} é a média dos valores x_i ($\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$); e \bar{y} é a média dos valores y_i ($\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$).

Como parte da definição das retas de regressão, o coeficiente angular de cada uma das retas (parâmetro a) corresponde ao valor da tangente do ângulo formado entre a reta de regressão e o eixo “X” (eixo horizontal representado pela variável tempo), o que determina a inclinação da reta. O parâmetro a permite observar o quanto a inclinação da reta é expressiva ou não, demonstrando se há tendência e o quanto ela é significativa ou não. Tais cálculos foram processados no *Microsoft Office Excel 2016*;

2. *Teste de Mann-Kendall*: parte do princípio de que só se pode aplicar tal teste para detectar tendência na série temporal se a série for independente e identicamente distribuída. Dessa forma, para testar se a série temporal de pluviometria é serialmente independente, deve-se testar as hipóteses: H_0 = as observações da série são independentes e identicamente distribuídas – não há tendência; e H_1 = as observações da série possuem tendência monotônica no tempo – há tendência. Na perspectiva do H_0 , a estatística do teste é dada por:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k)$$

$$\text{sign} = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x = 0 \\ -1, & \text{se } x < 0 \end{cases}$$

Para demonstrar que S é normalmente distribuída,

$$S \sim N(\mu, \sigma^2) \text{ com } \mu = 0$$

e

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^P t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18}$$

Em que n é o número de observações; P é o número de grupos de observações iguais e t_j é o número de observações iguais no grupo j . E no caso, do número de observações ser superior a 30, a estatística do teste é dada por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

Para um teste bilateral, não se pode rejeitar a hipótese nula H_0 para um dado nível de significância α , se para o quantil $Z_{\alpha/2}$ de uma distribuição normal padrão temos $|Z| \leq$

$Z_{\alpha/2}$. O teste de Mann-Kendall foi executado no *Action Stat 3*, um *software* estatístico desenvolvido pelo “Portal Action” mantido pela empresa “Estatcamp Consultoria Estatística e Qualidade”. Este *software* se conecta com a interface do *Microsoft Office Excel*. Os resultados dos testes foram apreciados juntamente com a Análise de Regressão e também com os cálculos do Coeficiente Angular das Retas de Regressão Linear;

3. *Teste do Sinal*: é calculado pelas diferenças entre os pares de observações, sendo necessário primeiramente, dividir a série temporal em duas subséries de tamanhos iguais. Como as séries pluviométricas utilizadas nesta pesquisa são de 40 anos (1976-2015), elas foram divididas em duas partes com tamanhos idênticos: x_i (1976-1995) e y_i (1996-2015). Em seguida, foi realizado o cálculo da diferença (D_i) para cada par de observações ($D_i = x_i - y_i$). Portanto, se D_i é maior que zero, ao par é atribuído um sinal de (+); se D_i é menor que zero, ele recebe um sinal de negativo (-); e se D_i é igual a zero, exclui-se o par de observações na contabilização entre a quantidade de números de sinais positivos e negativos e a amostra é reduzida. Após o cálculo de D_i , compara-se a quantidade de resultados com sinal negativo e positivo. Se a quantidade de negativos prevalecer, assume-se que está havendo tendência de aumento da pluviometria na série analisada; se predominar a quantidade de positivos, admite-se que há tendência de redução na série de pluviometria; e quando o número de sinais positivos for igual ao número de sinais negativos, a tendência indicada é de manutenção do comportamento da variável. Ressalta-se que o teste do sinal é considerado um método simplista, não podendo inferir qualquer suposição tendo como base somente ele. Por isso, o teste mencionado não pode ser utilizado como ferramenta

única na detecção de tendências nas séries pluviométricas. Vale lembrar que todo esse procedimento foi realizado no *Microsoft Office Excel 2016*.

Após a aplicação dos referidos métodos em cada um dos postos pluviométricos selecionados nessa pesquisa, os produtos foram agrupados em um quadro para melhor análise e comparação dos resultados entre os métodos utilizados.

E como forma de avaliar as tendências relacionadas aos eventos de extremos pluviométricos, os resultados do SPI e do RAI foram dispostos em quadros com a contagem decadal do número de ocorrências por classes de tais métodos em relação ao somatório dos episódios mensais e dos totais anuais, para averiguar se há acréscimo, decréscimo ou se a quantidade de ocorrências desses eventos se mantém ao longo das décadas na área de estudo.

CAPÍTULO 4

VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA

4.1 Escala temporal anual

A chuva, bem como outros fenômenos climáticos, é dotada de dinamismo que resulta em sua própria variabilidade. Conforme Tucci & Braga (2003, p. 01) a variabilidade climática é “um processo de variação do clima condicionado por fatores naturais existentes no globo terrestre e suas interações”. Vale ressaltar que os eventos extremos podem se tornar mais frequentes e intensos devido ao incremento energético do sistema Terra-Atmosfera, assim, o sistema torna-se mais dinâmico e mais instável.

A precipitação é amplamente reconhecida como uma das variáveis climatológicas mais importantes. A irregularidade na sua distribuição sequencial e a presença de eventos extremos têm se mostrado como fatores limitantes ao desenvolvimento das atividades humanas, principalmente aquelas ligadas ao uso da água.

Neste sentido, a entrada de precipitação no solo e sistemas hídricos superficiais muitas vezes é insuficiente para cumprir com as demandas, resultando em escassez de água e podendo gerar sérias consequências para as atividades humanas e as necessidades dos outros seres vivos. Há que se considerar também que a chuva intensa ou máxima tida como chuva extrema, com duração, distribuição espacial e temporal (FILHO & MARCELLINI, 1995) é um fato crítico para uma área ou bacia hidrográfica, pois a ocorrência da mesma pode causar consequências, tais como: erosão do solo acentuada, inundações em áreas urbanas e rurais, necessidade de projetos de obras hidráulicas, perdas agrícolas, dentre outras (SILVA & CLARKE, 2004).

A Região Hidrográfica do Rio São Francisco, como já dito anteriormente, possui características fisiográficas diversificadas devido às variações hipsométricas, sua extensão e sua posição quanto à atuação dos sistemas atmosféricos de micro, meso e macro escala, que atuam direta ou indiretamente no regime e quantidade pluvial. Por isso, essa região hidrográfica apresenta características climáticas diferenciadas, ou seja, climas com uma maior quantidade de chuvas (tropical úmido, temperado de altitude e subúmido) e climas caracterizados pela ausência, escassez, acentuada irregularidade espaço-temporal e frequência reduzida da quantidade de chuvas, como o tropical semiárido, subúmido seco, semiárido e árido.

Nesta perspectiva, a variação espacial da pluviometria na área de estudo é evidente tanto quando se observam os dados de cada um dos postos utilizados nesta pesquisa, quanto

se consideram os dados espacializados por sub-bacia. É possível notar um padrão decrescente das chuvas de suas nascentes até a foz do rio São Francisco.

Assim, a pluviosidade média anual da região hidrográfica é por volta de 950 mm e há uma variação expressiva dessa quantidade ao longo das sub-bacias. A chuva anual pode variar desde menos de 550 mm (no semiárido nordestino, em especial nas sub-bacias 47 e 48), até mais de 1.400 mm, nas nascentes localizadas no Alto São Francisco, no estado de Minas Gerais (em particular na sub-bacia 40).

Essa variação espacial da pluviometria anual dentro da região hidrográfica é bastante evidente, como pode ser observado na Figura 05. Assim, é possível concluir que as regiões com as maiores médias dos totais anuais de pluviosidade se localizam nas sub-bacias 40, 41, 42 e 43, situadas no estado de Minas Gerais/MG e as menores médias encontram-se nas sub-bacias 47, 48 e 49, localizadas nos estados da Bahia/BA, Pernambuco/PE, Alagoas/AL e Sergipe/SE.

Também pode ser observado na Figura 5 que as médias dos máximos e as médias dos mínimos dos totais anuais têm valores mais altos nas sub-bacias inseridas no estado de Minas Gerais e vão tendo menores valores à medida que vão alcançando outros espaços da área de estudo. Destaca-se as sub-bacias 40 (com médias máximas dos totais anuais de 2234 mm e mínimas de 863 mm), 41 (com médias máximas de 1921 mm e mínimas de 723 mm) e 42 (com médias máximas de 1839 mm e mínimas de 833 mm).

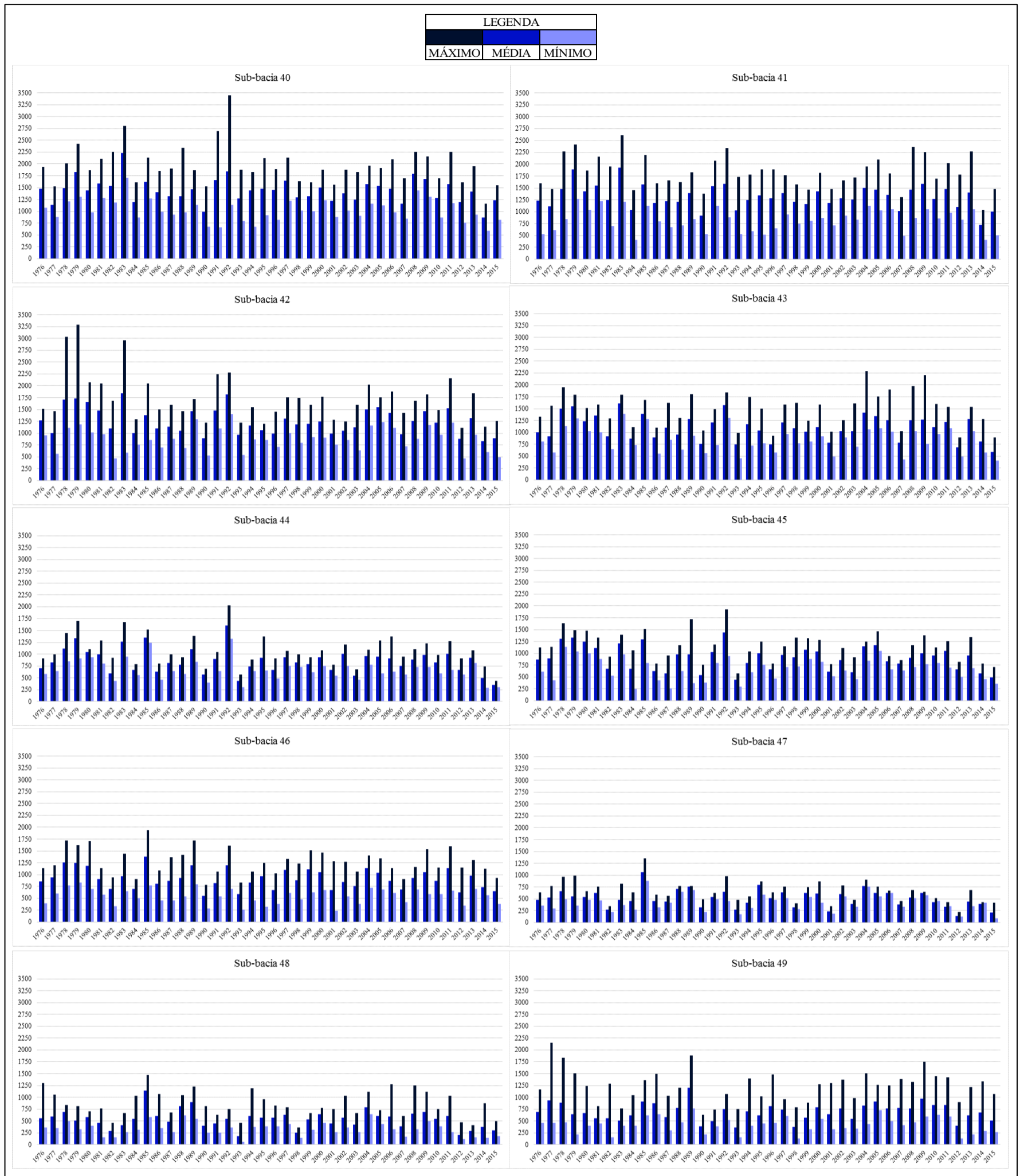


Figura 05 – Máximo, média e mínimo da pluviosidade anual (mm) por sub-bacia (1976-2015)

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018)

Org.: MENDES SILVA, M. (2019)

Ainda é possível verificar que as pluviosidades máximas no intervalo estudado em cada uma das sub-bacias (de 40 a 49 respectivamente) são: 3446 mm no ano de 1992; 2603 mm em 1983; 3286 mm no ano de 1979; 2290 mm em 2004; 2031 mm em 1992; 1928 mm em 1992; 1934 mm em 1985; 1351 mm em 1985; 1472 mm em 1985; e 2155 mm em 1977. E as pluviosidade mínimas na mesma ordem são: 586 mm (2014); 400 mm (1984); 466 mm (1982); 405 mm (2015); 287 mm (2014); 252 mm em 1984; 230 mm (2001); 94 mm (2015); 59 mm (1993); e 128 mm (2012).

A descrição desse contexto de climas adversos com escassez e má distribuição da pluviometria mostram dificuldades naturais e a necessidade de uma gestão territorial mais eficaz, com a reorganização fundiária, o planejamento e gestão dos recursos hídricos e usos mais adequados, com culturas mais adaptáveis às condições fisiográficas, para que assim, haja a fixação da população de forma sustentável nesses espaços.

Relacionando as médias dos totais anuais no intervalo de 1976-2015 e os intervalos máximos e mínimos (calculados a partir do desvio-padrão) para cada uma das sub-bacias (Figura 6) é possível averiguar que a ocorrência dos chamados fenômenos normais ou habituais de pluviometria (ou seja, aqueles que não se afastam significativamente da média, estando no interior dos intervalos máximo e mínimo) ocorrem com alta frequência.

Já os eventos extremos, definidos como acontecimentos raros, com valores mais distantes da média e que variam em sua magnitude (PINHEIRO, 2016), também podem ser constatados na região hidrográfica estudada, estando portanto, representados acima ou abaixo dos intervalos máximo e mínimo. Ainda segundo a autora, tais eventos extremos, em geral, possuem caráter altamente dinâmico, “apresentando um rompimento na variabilidade natural do ritmo no qual se inserem os eventos extremos e excepcionais, sejam eles de ordem atmosférica [...]” (PINHEIRO, 2016, p. 76-77).



Figura 06 – Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) anual da pluviosidade (mm) por sub-bacia (1976-2015)

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018)

Org.: MENDES SILVA, M. (2019)

Assim, levando-se em consideração tais ocorrências extremas na Região Hidrográfica do Rio São Francisco, há um maior número de episódios de anos secos, ou seja, 66 eventos (uma média de 6,6 episódios por sub-bacia), do que acontecimentos acima do intervalo máximo, que por sua vez, tem 57 ocorrências, equivalendo a uma média de 5,7. A sub-bacia que possui uma maior quantidade de eventos fora do habitual (seja acima ou abaixo) é a 46, com 8 eventos máximos e 9 eventos mínimos, episódios que estão relativamente distribuídos no intervalo estudado.

A partir desses resultados pode-se inferir também que isso possa ser produto da própria variabilidade pluviométrica anual compreendida como a variação das condições climáticas em torno da média climatológica ou estado médio da atmosfera no tempo e no espaço. Salientando a importância de se considerar a atuação dos sistemas atmosféricos, que agem nas diferentes áreas da região hidrográfica estudada. Isso proporciona chuvas consideradas normais em quantidade e distribuição, pluviosidades bastante expressivas e fora da normalidade e escassez de água bastante acentuada (secas).

Além disso, é necessário destacar que tais eventos fora do habitual possam ser devido aos vários graus de suscetibilidade à desertificação que estão sujeitas a área de estudo e as possíveis mudanças climáticas. Em relação a este último fato, tais prováveis alterações no clima estão associadas à variabilidade climática regional, influenciadas por fatores externos a área da bacia, como por exemplo as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) dos oceanos tropicais (Pacífico e Atlântico) que acabam por afetar o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), resultando em modificações na distribuição da pluviometria na Região Nordeste do Brasil (BRITO, 2000).

Tais resultados de ocorrências de anomalias pluviométricas nos totais anuais também podem ser notados nos produtos do SPI e do RAI sobre a porcentagem do número desses

eventos por classes e por sub-bacia (Figuras 7 e 8). Assim é possível constatar em relação ao SPI que em todas as sub-bacias a porcentagem de ocorrência de eventos ditos normais (N) é acima de 40% e que as porcentagens de episódios de anomalias mais extremas variam entre 1,3 a 2,5 % nos extremamente úmidos e 0,3 a 2,3% nos extremamente secos. A porcentagem das outras classes muito úmido (A2), moderadamente úmido (A1), muito seco (V2) e moderadamente seco (V1), em grande parte das sub-bacias têm mais que 10%, dando destaque as sub-bacias que possuem mais que 15 % de ocorrências, mais presentes nas classes A2 e V1.

Em relação aos resultados do RAI é presumível verificar que as classes úmido (C1) e seco (S1) possuem as porcentagens mais significativas que se comparado as outras classes em todas as sub-bacias, estando em grande maioria acima de 28%. Pode ser observado também que a medida que percorre-se as classes até os extremamente úmidos (C3) e secos (S3) a porcentagem de ocorrências vai diminuindo.

Se comparar os resultados das classes extremas dos métodos SPI e RAI nota-se que a porcentagem dos extremos úmidos e secos é maior no RAI que no SPI. Mas que ambas as ferramentas matemáticas demonstram que os eventos expressivos estão relativamente distribuídos na série temporal utilizada (1976-2015), como já foi constatado e demonstrado anteriormente. E também é verificado que a ocorrência de anos normais é mais expressiva no SPI do que no RAI.

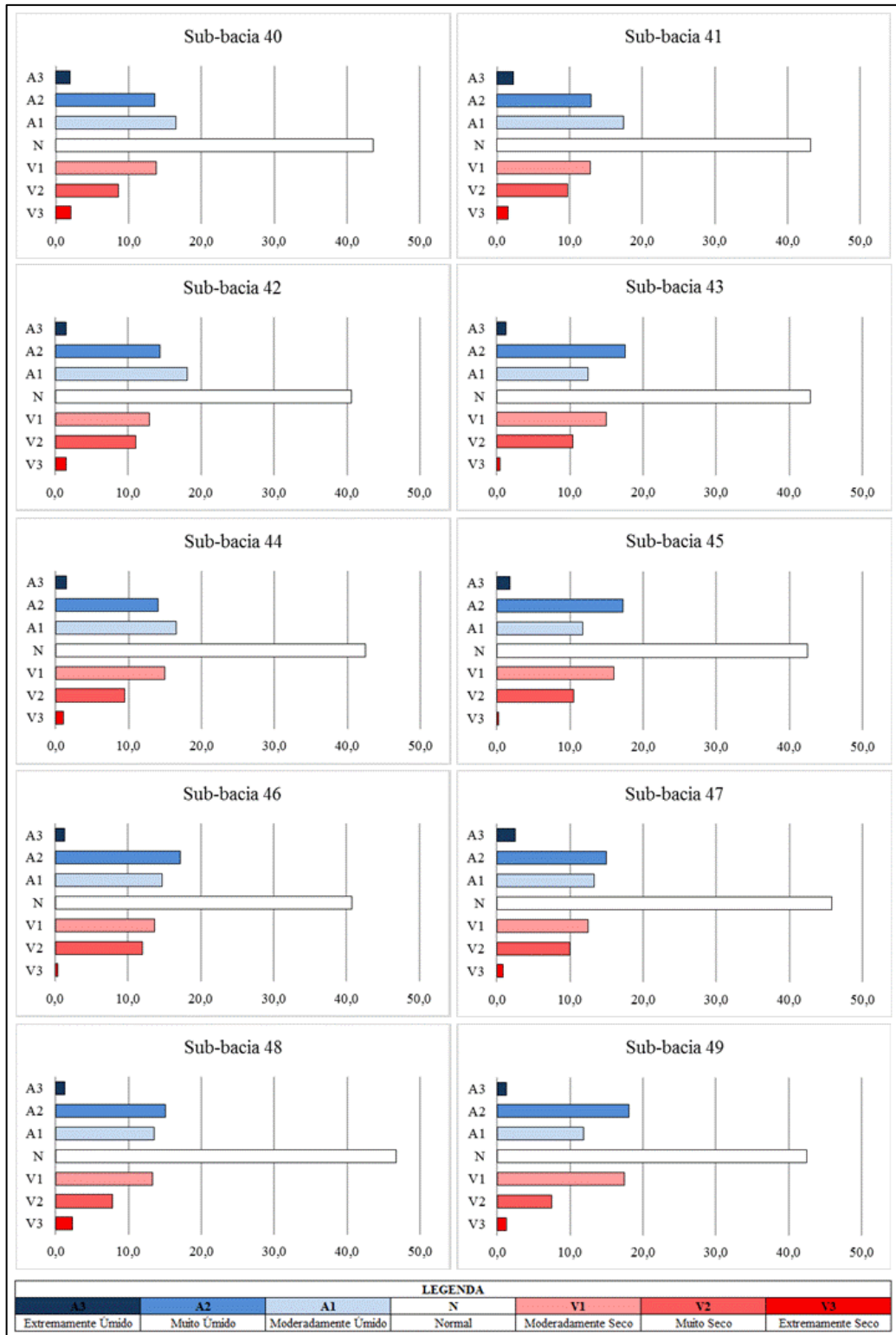


Figura 07 – Porcentagem (%) do nº de ocorrências nos totais anuais por classes do SPI por Sub-bacia

Org.: MENDES SILVA, M. (2020)

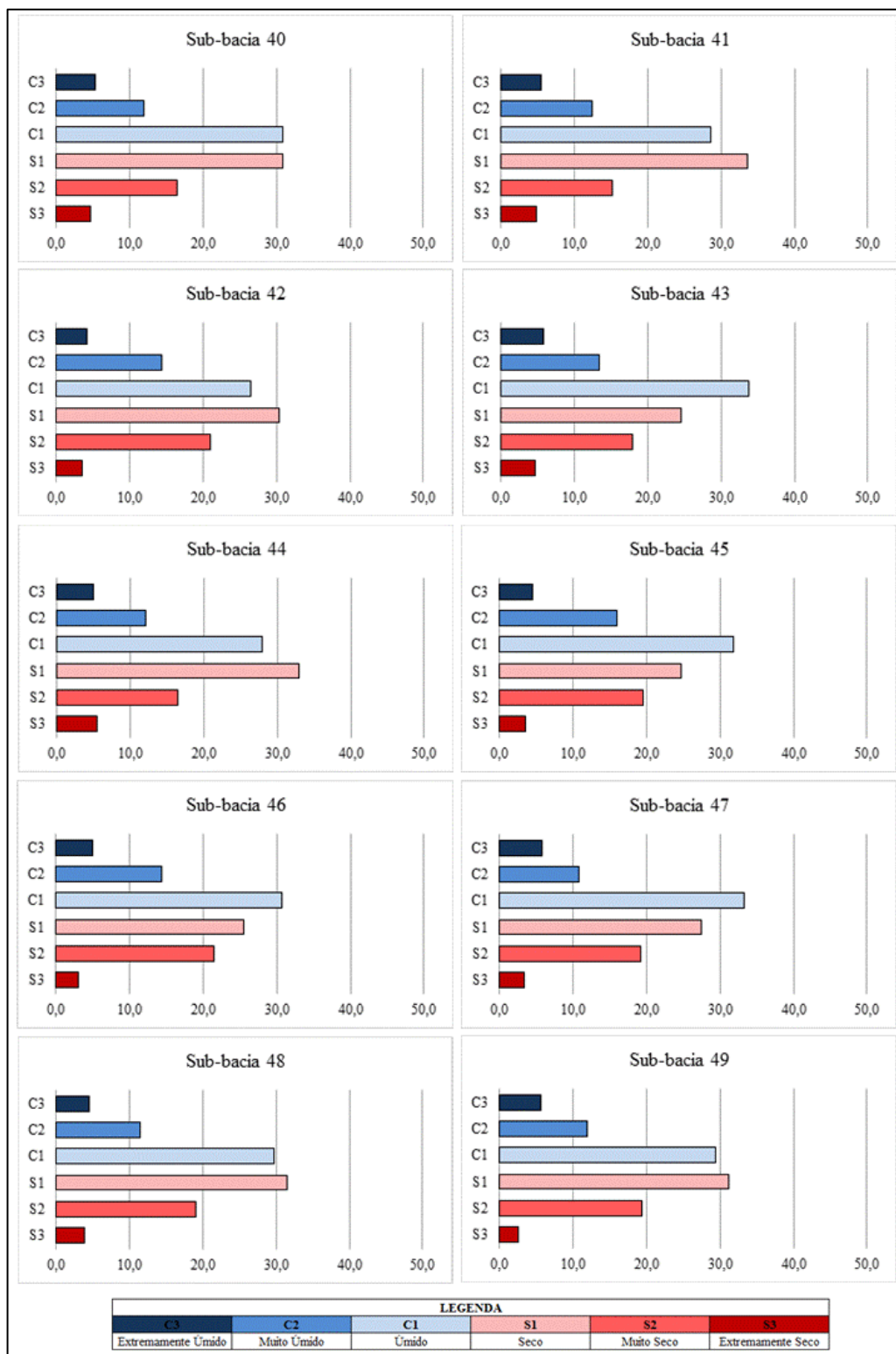


Figura 08 – Porcentagem (%) do nº de ocorrências nos totais anuais por classes do RAI por Sub-bacia

Org.: MENDES SILVA, M. (2020)

4.2 Escala temporal mensal

O intervalo em que há maior concentração de pluviosidade (meses mais chuvosos) é variável espacialmente na região hidrográfica estudada (Figura 09). Essa variação de um ano para outro em cada um dos espaços da área de estudo é devido aos aspectos fisiográficos e a atuação dos sistemas atmosféricos, que resultam na sua própria variabilidade. E apesar destes possuírem características diversificadas em relação aos aspectos físicos, observa-se um regime pluviométrico, com basicamente duas estações bem definidas: uma chuvosa e outra seca.

Verifica-se também que no período de maior concentração de chuvas há ocorrência de pluviosidades isoladas antes e depois das maiores concentrações de chuvas e continuidade das mesmas.

O período de maior concentração de pluviosidade ocorre entre os meses de outubro a março, concentrando mais de 85% da chuva do total anual, exceto nas sub-bacias 48 e 49, existindo nas mesmas uma diferença no regime pluviométrico. Na sub-bacia 48, 85% das chuvas anuais estão acumuladas entre os meses de dezembro a maio. Já na sub-bacia 49, mais de 80% da pluviosidade ocorre entre os meses de janeiro a agosto, além do fato de que as chuvas apresentam uma melhor distribuição ao longo do ano nesta área. Os principais sistemas geradores da concentração de chuvas nesses meses na região hidrográfica são a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

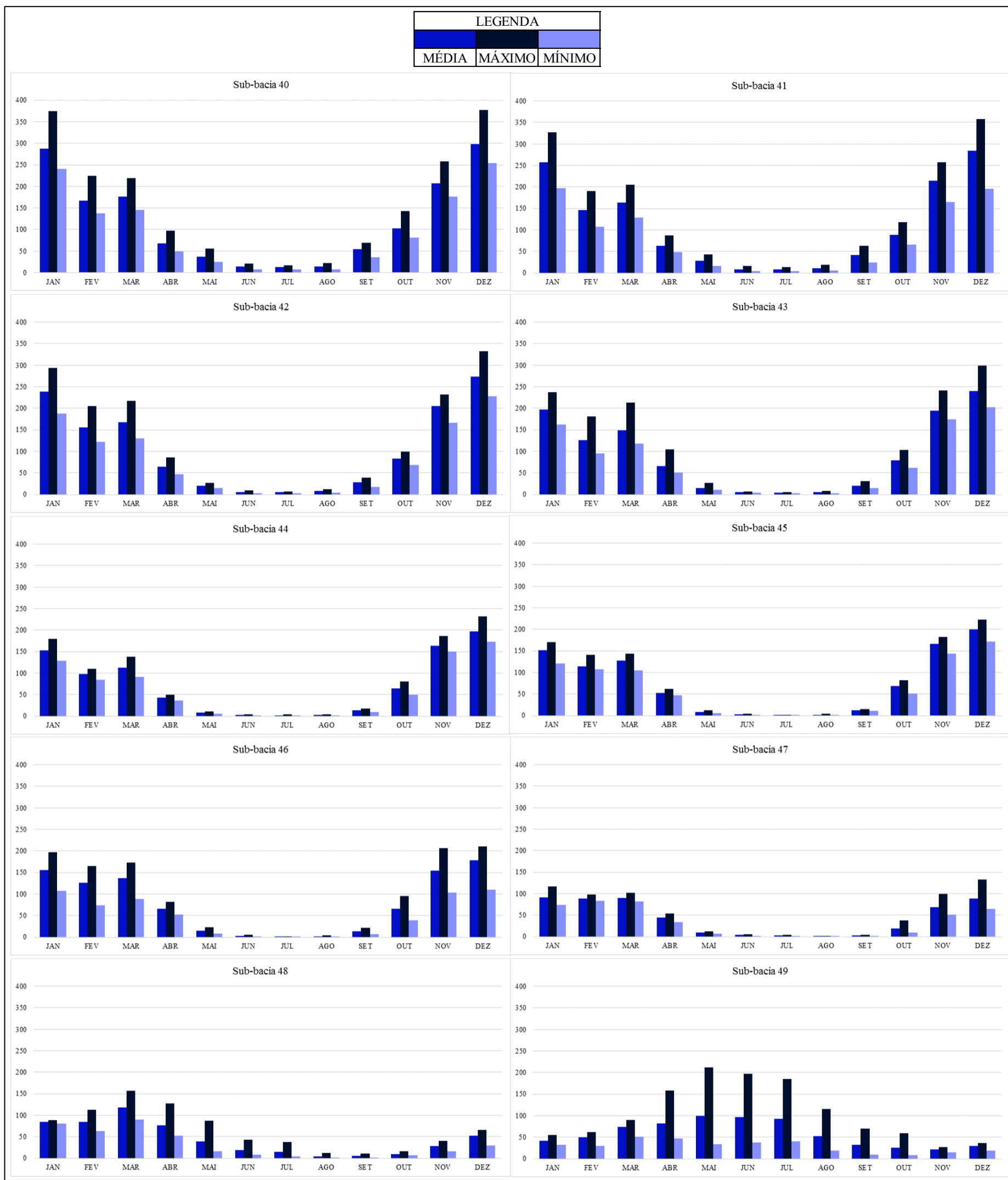


Figura 09 – Média, máximo e mínimo da pluviosidade mensal (mm) por sub-bacia (1976-2015)

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018)

Org.: MENDES SILVA, M. (2019)

Os meses que possuem as maiores médias mensais na Região Hidrográfica do Rio São Francisco são Janeiro com quase 146 mm e Dezembro com um pouco mais de 145 mm e os meses que têm as menores médias mensais são Agosto com 23,3 mm e Setembro com 27,0 mm.

É possível observar em relação às médias mensais de cada uma das sub-bacias que, em geral, o período úmido começa em outubro e termina em abril e o período seco inicia-se em maio e acaba em setembro, tendo como menores médias os meses de Junho, Julho e Agosto. Este fato é verificado em todas as sub-bacias, exceto nas sub-bacias 48 e 49.

Vale destacar que nas sub-bacias de 40 a 46 os valores médios máximos ocorrem todos no mês de Dezembro, com variação entre 170 mm a 300 mm. Já nas sub-bacias 47, 48 e 49 as médias máximas se encontram respectivamente nos meses de Janeiro, Março e Maio, com média de pluviosidade entre 90 mm e 120 mm.

Quanto às médias mínimas mensais, verifica-se que as mesmas ocorrem nos meses de Julho e Agosto, atingindo no máximo 12,3 mm na sub-bacia 40, exceto na sub-bacia 49 que apresenta um valor médio mínimo de 21,1 mm no mês de Novembro.

No que diz respeito à contagem do número de episódios acima dos intervalos máximos no período deste estudo (Quadro 04) na Região Hidrográfica do Rio São Francisco é plausível dizer que Abril é o mês de maior ocorrência de tais eventos acima do desvio-padrão e Julho o mês de menor ocorrência. Ressalta-se que há uma certa homogeneidade no somatório dos totais de tais eventos ao longo dos meses do ano na região hidrográfica.

Destaca-se que a maior quantidade mensal desses eventos acima do desvio-padrão é 9, ocorrendo nas sub-bacias 40 (no mês de Agosto), 43 (no mês de Abril) e 47 (no mês de Abril). E as menores quantidades de tais acontecimentos foram nas sub-bacias 43 (em Julho), 46 (em Junho) e 47 (em Julho).

Quadro 04 – Contagem do número de ocorrências que ficaram acima do intervalo máximo do desvio padrão

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Sub-bacia 40	7	7	7	6	7	6	8	9	3	5	5	5
Sub-bacia 41	7	5	6	4	5	6	7	7	6	6	6	6
Sub-bacia 42	7	7	7	7	6	7	4	6	7	8	8	5
Sub-bacia 43	6	7	8	9	4	8	2	7	6	4	6	5
Sub-bacia 44	6	6	7	8	6	5	4	7	7	6	5	6
Sub-bacia 45	6	8	4	5	6	4	5	3	7	6	5	5
Sub-bacia 46	6	5	6	5	5	2	5	3	5	8	7	4
Sub-bacia 47	4	6	4	9	5	3	2	5	4	4	5	5
Sub-bacia 48	4	5	6	6	7	6	5	4	6	5	6	4
Sub-bacia 49	3	5	4	5	6	7	4	7	6	7	6	4
TOTAL	56	61	59	64	57	54	46	58	57	59	59	49

Org.: MENDES SILVA, M. (2020)

Já nas ocorrências que ficaram abaixo do intervalo mínimo do desvio-padrão (Quadro 05) é notado que os totais mensais são bastante desiguais, destacando o mês de Março com 70 episódios e o mês de Junho com apenas 11 eventos. Vale salientar que, especialmente os meses de Junho, Julho e Agosto os totais foram baixos devido a quantidade de totais zeros, uma vez que não ocorreram extremos inferiores ao intervalo mínimo, pois como a médias nesses meses é um valor baixo, quando calculamos o intervalo mínimo (diferença entre a média e o desvio-padrão) o resultado encontrado foi um valor negativo.

Evidencia-se que a maior quantidade mensal abaixo do intervalo do desvio-padrão é 9, destacando as sub-bacias 40 (mês de Setembro), 42 (meses de Janeiro e Abril), 44 (mês de Março) e 45 (mês de Novembro).

Comparando os resultados superiores e inferiores do intervalo do desvio-padrão aponta-se que os totais de ocorrências são maiores acima do intervalo máximo do que abaixo do intervalo mínimo em praticamente todos os meses. Além de que os resultados do somatório dos eventos acima são melhores distribuídos ao longo dos meses do ano que os resultados das ocorrências abaixo do intervalo mínimo. A distribuição de tais acontecimentos

ao longo do intervalo estudado (1976-2015) foram melhor retratadas e discutidas no Capítulo 5 no item sobre a “Avaliação de tendências relacionadas aos eventos extremos pluviométricos”.

Quadro 05 – Contagem do número de ocorrências que ficaram abaixo do intervalo mínimo do desvio padrão

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Sub-bacia 40	8	8	8	5	5	0	0	0	9	6	7	5
Sub-bacia 41	7	8	6	5	6	0	0	0	8	5	7	6
Sub-bacia 42	9	6	6	9	5	0	0	0	5	7	7	5
Sub-bacia 43	8	6	7	6	0	0	0	0	8	6	7	5
Sub-bacia 44	6	3	9	8	0	0	0	0	0	7	7	3
Sub-bacia 45	6	3	7	6	0	0	0	0	0	8	9	4
Sub-bacia 46	5	4	8	7	0	0	0	0	0	6	7	5
Sub-bacia 47	0	3	6	7	0	0	0	0	0	0	5	1
Sub-bacia 48	0	6	6	5	4	4	7	7	0	0	3	0
Sub-bacia 49	0	6	7	6	4	7	6	5	5	0	0	0
TOTAL	49	53	70	64	24	11	13	12	35	45	59	34

Org.: MENDES SILVA, M. (2020)

As anomalias positivas e negativas mensais também podem ser observadas através dos resultados dos métodos do SPI e RAI nos Quadros 06 e 07. Pode-se evidenciar em relação aos produtos do SPI que 45% do total de ocorrências mensais são normais e que a diferença de porcentagem do somatório dos episódios úmidos e secos é de apenas 5% e que há mais eventos nas classes subsequentes da classe normal e diminui bastante nas classes extremamente úmido (A3) e extremamente seco (V3).

Ao analisar o SPI por sub-bacia nota-se que o padrão observado para a região hidrográfica é o mesmo em todas as sub-bacias, exceto na 44, 45 e 46. Nestas pode-se averiguar que a porcentagem de ocorrências na classe normal (N) é menor e que na classe moderadamente úmido (A1) é maior.

Quadro 06 – Número de ocorrências mensais por classes do SPI por Sub-bacia

SUB-BACIA 40													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	3	6	9	7	6	16	12	8	12	8	18	10	115
A2	181	146	150	147	169	186	203	203	130	152	158	159	1984
A1	243	278	247	241	214	138	166	208	271	257	201	228	2692
N	560	567	612	603	620	715	853	823	621	581	623	625	7803
V1	219	221	207	236	223	393	246	225	169	216	217	217	2789
V2	251	237	227	221	227	32	0	13	268	247	244	210	2177
V3	23	25	28	25	21	0	0	0	8	19	19	31	199
SUB-BACIA 41													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	2	6	3	7	7	17	6	5	6	9	6	12	86
A2	101	73	95	92	98	92	120	120	94	84	92	83	1144
A1	133	157	132	135	133	100	130	116	170	142	135	121	1604
N	359	373	375	356	354	571	555	507	309	366	363	387	4875
V1	132	113	128	147	158	100	63	132	160	139	141	143	1556
V2	139	142	127	135	129	0	6	0	140	127	125	117	1187
V3	14	16	20	8	1	0	0	0	1	13	18	17	108
SUB-BACIA 42													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	2	4	1	3	5	7	8	6	8	2	3	4	53
A2	50	52	42	50	58	55	43	50	50	52	59	52	613
A1	89	79	90	77	68	50	103	61	71	83	69	74	914
N	186	186	212	199	186	368	326	363	190	185	189	199	2789
V1	56	73	52	63	156	0	0	0	123	71	84	69	747
V2	89	79	72	84	7	0	0	0	38	82	70	72	593
V3	8	7	11	4	0	0	0	0	0	5	6	10	51
SUB-BACIA 43													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	2	2	0	0	5	2	6	4	5	3	0	3	32
A2	24	30	24	30	22	29	20	24	19	22	15	25	284
A1	38	36	39	39	31	30	128	31	40	39	58	32	541
N	97	89	106	89	126	179	86	181	92	100	103	104	1352
V1	31	43	32	40	49	0	0	0	84	35	28	41	383
V2	44	38	35	40	7	0	0	0	0	40	30	30	264
V3	4	2	4	2	0	0	0	0	0	1	6	5	24
SUB-BACIA 44													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	1	2	0	0	3	3	3	4	1	1	0	5	23
A2	22	28	20	25	25	20	18	18	26	18	17	20	257
A1	29	22	36	35	21	118	150	91	19	42	38	24	625
N	81	83	88	68	124	59	29	87	127	74	87	87	994
V1	30	36	17	34	27	0	0	0	27	28	30	36	265
V2	36	27	37	37	0	0	0	0	0	36	21	25	219
V3	0	2	2	1	0	0	0	0	0	1	7	3	16
SUB-BACIA 45													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	1	1	0	3	8	9	9	9	4	2	3	5	54
A2	43	57	33	45	38	24	64	29	46	37	43	32	491
A1	62	47	73	54	46	193	298	247	61	71	56	65	1273
N	170	153	188	171	220	174	29	115	276	167	170	176	2009
V1	58	73	34	57	88	0	0	0	13	39	56	62	480
V2	59	66	70	70	0	0	0	0	0	84	71	54	474
V3	7	3	2	0	0	0	0	0	0	0	1	6	19

SUB-BACIA 46													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	1	7	5	3	11	13	14	12	10	1	2	10	89
A2	67	63	51	70	61	50	123	122	64	73	66	54	864
A1	92	81	101	87	66	324	402	407	71	93	91	75	1890
N	248	256	274	254	310	213	61	59	401	231	271	269	2847
V1	92	87	66	74	145	0	0	0	54	98	81	100	797
V2	92	97	92	110	7	0	0	0	0	102	74	82	656
V3	8	8	10	2	0	0	0	0	0	2	15	10	55

SUB-BACIA 47													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	2	0	1	1	2	4	4	2	2	3	0	3	24
A2	11	19	11	13	15	6	45	47	10	11	17	10	215
A1	9	10	18	17	7	44	6	11	48	14	14	14	212
N	58	47	54	48	71	50	65	60	60	77	49	50	689
V1	21	21	15	28	25	10	0	0	0	15	21	19	175
V2	19	23	21	13	0	6	0	0	0	0	19	24	125
V3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

SUB-BACIA 48													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	11	4	1	4	5	11	9	8	10	7	7	6	83
A2	32	45	45	41	43	32	35	41	31	37	41	38	461
A1	48	57	65	58	50	46	60	73	176	51	43	57	784
N	173	167	168	164	179	200	201	226	183	305	187	155	2308
V1	76	53	50	72	88	71	53	52	0	0	110	109	734
V2	59	72	66	60	35	40	42	0	0	0	12	35	421
V3	1	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8

SUB-BACIA 49													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	5	0	1	1	3	3	3	2	3	0	1	2	24
A2	10	22	16	20	12	17	14	21	18	20	18	15	203
A1	17	19	26	27	25	18	16	17	22	20	22	23	252
N	77	66	61	60	69	71	81	66	62	87	76	63	839
V1	33	24	25	23	19	23	21	25	36	22	37	50	338
V2	18	29	31	28	30	25	22	29	18	11	6	7	254
V3	0	0	0	1	2	3	3	0	1	0	0	0	10

LEGENDA						
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3
Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Normal	Moderadamente Seco	Muito Seco	Extremamente Seco

Org.: MENDES SILVA, M. (2020).

Quadro 07 – Número de ocorrências mensais por classes do RAI por Sub-bacia

SUB-BACIA 40													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	65	76	75	79	87	112	113	91	70	84	84	63	999
C2	238	211	203	163	173	118	119	159	184	176	166	219	2129
C1	367	391	387	401	366	223	209	256	443	391	443	409	4286
S1	415	394	443	398	408	323	234	212	366	432	434	461	4520
S2	360	395	335	425	446	704	805	762	417	371	311	269	5600
S3	35	13	37	14	0	0	0	0	0	26	42	59	226
SUB-BACIA 41													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	48	45	49	56	48	64	58	58	48	51	51	51	627
C2	119	98	107	85	93	50	76	80	102	87	106	97	1100
C1	217	254	245	232	216	125	104	138	226	229	247	253	2486
S1	266	231	254	254	238	140	114	126	207	273	263	278	2644
S2	215	245	208	245	282	501	528	478	297	225	181	170	3575
S3	15	7	17	8	3	0	0	0	0	15	32	31	128
SUB-BACIA 42													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	20	24	29	27	22	34	35	34	27	30	21	24	327
C2	71	61	58	53	61	33	16	33	42	48	68	58	602
C1	135	121	125	107	93	41	39	55	114	124	120	140	1214
S1	123	127	149	146	119	42	38	42	123	132	146	150	1337
S2	126	146	113	146	185	330	352	316	174	146	111	90	2235
S3	5	1	6	1	0	0	0	0	0	0	14	18	45
SUB-BACIA 43													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	12	12	9	14	12	18	14	15	14	13	12	12	157
C2	30	29	42	30	21	14	7	19	25	23	43	28	311
C1	72	60	59	57	44	24	6	24	54	71	65	62	598
S1	51	60	69	63	56	17	13	16	52	64	67	82	610
S2	74	78	59	75	107	167	200	166	95	69	42	46	1178
S3	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	11	10	26
SUB-BACIA 44													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	14	12	12	11	13	15	15	12	14	10	12	8	148
C2	16	20	22	28	15	7	5	9	13	26	26	21	208
C1	50	36	56	46	34	16	10	18	33	48	55	48	450
S1	55	67	57	42	39	9	5	12	43	57	63	73	522
S2	65	63	53	73	99	153	165	149	97	59	37	42	1055
S3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8	17
SUB-BACIA 45													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	28	26	23	27	25	25	22	25	26	20	18	20	285
C2	37	43	45	36	26	6	9	9	36	52	52	49	400
C1	105	72	121	102	59	30	34	29	72	92	125	110	951
S1	114	120	111	110	85	26	15	18	68	119	108	120	1014
S2	116	139	100	125	205	313	320	319	198	117	90	84	2126
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	17	24
SUB-BACIA 46													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	35	38	31	36	44	36	36	41	39	35	33	29	433
C2	62	56	59	62	41	24	11	18	40	64	71	65	573
C1	165	145	159	149	100	45	27	24	117	155	174	159	1419
S1	162	193	202	184	154	32	33	31	95	158	182	194	1620
S2	171	162	140	168	261	463	493	486	309	188	115	136	3092
S3	5	6	9	1	0	0	0	0	0	0	25	17	63

SUB-BACIA 47													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	10	7	8	12	9	8	6	7	7	9	8	7	98
C2	3	14	7	6	8	2	5	5	8	5	12	7	82
C1	34	25	29	31	12	14	14	10	9	13	30	29	250
S1	27	33	39	29	28	17	13	9	12	21	31	36	295
S2	46	41	37	42	63	79	82	89	84	72	38	41	714
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

SUB-BACIA 48													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	21	21	22	25	26	26	20	22	27	29	24	20	283
C2	34	49	49	34	30	22	44	34	15	16	28	36	391
C1	85	109	101	106	87	78	79	65	49	67	79	91	996
S1	123	109	119	102	93	113	109	66	43	46	101	102	1126
S2	137	110	108	131	164	161	148	213	266	242	168	151	1999
S3	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5

SUB-BACIA 49													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	10	10	10	8	11	8	11	10	9	11	10	10	118
C2	6	16	17	17	14	20	11	20	14	13	16	12	176
C1	34	32	39	35	35	38	43	33	36	27	27	34	413
S1	50	51	41	53	55	53	57	54	45	33	34	40	566
S2	60	51	53	46	45	38	33	41	56	76	73	64	636
S3	0	0	0	1	0	3	5	2	0	0	0	0	11

LEGENDA					
C3	C2	C1	S1	S2	S3
Extremamente Úmido	Muito Úmido	Úmido	Seco	Muito Seco	Extremamente Seco

Org.: MENDES SILVA, M. (2020).

Nos meses de Maio a Setembro a porcentagem de ocorrência de eventos na classe extremamente seco (V3) é praticamente nula. Já nos meses de Junho e Agosto são os que apresentam as maiores porcentagens de episódios, sendo estes localizados na classe normal (N). Além disso, pode-se observar que os meses de Junho, Julho e Agosto apontam uma menor porcentagem de episódios nas classes V1 e V2 em relação aos outros meses e uma maior porcentagem de eventos nas classes A1 e A2.

Já nos resultados do RAI, pode-se verificar que a classe muito seco (S2) é a que apresenta a maior porcentagem de ocorrências dentro da região hidrográfica (37%) e também isso é válido para cada sub-bacia individualmente. Vale ressaltar ainda que, em especial na

sub-bacia 47 essa classe apresenta mais que 49% do total de eventos. Devido a esse fato a diferença entre a porcentagem de episódios úmidos e secos é de -24%.

Além do mais, nessa mesma classe (S2), os meses de Junho, Julho e Agosto são os que apresentam as maiores porcentagens de ocorrências mensais com, respectivamente, 59, 63 e 61%.

Nas classes mais extremas (C3 – extremamente úmido e S3 – extremamente seco), é presumível observar que C3 apresenta 6% do número de eventos na área de estudo e S3 apenas 1%. Esse resultado é verificado também quando se analisa cada sub-bacia, dando destaque à maior diferença entre essas classes na sub-bacia 47, com 6,7% de margem positiva.

E se verificar essas mesmas classes nos resultados das porcentagens mensais é possível dizer que os meses de Junho e Julho têm as maiores porcentagens em C3, com 7% e já em S3 esses meses, juntamente com Maio, Agosto e Setembro exibem porcentagem nula.

CAPÍTULO 5

TENDÊNCIAS DE LONGO PRAZO

5.1 Análise pretérita e prognósticos relacionados às médias mensais e anuais

Muito se tem cogitado no meio científico sobre as possíveis mudanças climáticas e suas consequências em âmbitos global, regional e local. Apesar da dificuldade dos métodos e ajustes mais eficazes dos mesmos para projetar o futuro quanto à magnitude das mudanças climáticas e suas consequências, é possível afirmar que a média da temperatura global está aumentando, podendo causar alteração no ciclo hidrológico, dentre outros efeitos. Assim, as

mudanças do clima estão em curso e possivelmente tem modificado os padrões climáticos nas várias escalas espaciais.

Estudar cada vez mais a variabilidade climática e as possíveis projeções quanto a entrada de água no meio ambiente é muito importante para a sociedade. Nesta perspectiva, como já retratado anteriormente, o comportamento climático da Região Hidrográfica do Rio São Francisco é muito variável devido a sua extensão, localização geográfica e atuação dos fatores climáticos estáticos e dinâmicos.

Por essa diversidade físico-natural da área de estudo, aplicar ferramentas matemáticas e estatísticas para a análise da tendência do comportamento das chuvas torna-se de grande utilidade para o planejamento e gestão territorial. Assim, este trabalho utilizou três testes para detecção de tendências da pluviosidade. São eles: Regressão Linear, Teste de Mann-Kendall e Teste do Sinal. Os mesmos são classificados como métodos simples do ponto de vista matemático e computacional e são muito utilizados em estudos de tendências de séries temporais. Os resultados da aplicação de tais ferramentas estatísticas estão apresentados no Quadro 08 e numa visão geral confirmam que a maioria das localidades avaliadas neste estudo registrou alguma tendência na pluviometria.

Pode-se observar também que em todos os testes a maioria dos resultados indicam que a tendência da pluviometria na Região Hidrográfica do Rio São Francisco é de diminuição tanto nos meses do ano analisados separadamente quanto no total anual.

Estudos científicos têm constatado também essa diminuição da pluviosidade na região estudada. Assis (2016), analisando 36 postos pluviométricos (de 1964-2014) no trecho submédio da Região Hidrográfica do Rio São Francisco, aborda que, de forma geral, houve uma tendência de diminuição da pluviometria e mostrou que este resultado é mais intenso “na

N° DO POSTO	SUB-BACIA 49																																						
	REGRESSAO LINEAR											TESTE DE MANN-KENDALL											TESTE DO SINAL																
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
837038																																							
936076																																							
937013																																							
1036005																																							
Total de (+)	2	1	0	0	3	3	3	4	1	4	2	1	1	2	3	0	1	4	4	4	4	2	4	0	0	2	1	1	0	0	4	1	3	4	2	4	1	1	3
Total de normal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	3	0	0	1	0	0	0	0
Total de (-)	2	3	4	4	1	1	1	0	3	0	2	3	3	2	1	4	3	0	0	0	0	2	0	4	4	2	3	1	4	3	0	0	1	0	1	0	3	3	1

Org.: MENDES SILVA, M. (2019-2020).

Soares et al. (2018), num estudo sobre indicadores climáticos de desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajéu (PE), averiguaram que dos 12 postos pluviométricos analisados (de 1965 a 2014) dez apresentaram tendência negativa, mostrando que o volume anual de chuvas está diminuindo e que “a redução dos valores do Índice de Aridez (IA) podem indicar uma mudança da categoria do semiárido (IA entre 0,20 e 0,50) para árido (0,05 a 0,20)” (p. 371).

Além disso, as projeções apresentadas no Relatório do Clima do Instituto de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE, 2007), no Nordeste brasileiro, indicam que praticamente todos os modelos utilizados convergiram numa situação de clima mais seco.

Estudo de Silveira et al. (2016), utilizando as projeções de precipitação e temperatura dos modelos globais do CMIP5 (*Couple Model Intercomparison Project Phase 5*) na Região Hidrográfica do Rio São Francisco foi demonstrado que “todos os modelos apresentaram tendência positiva para a temperatura no período de 2011 a 2100 e divergem quanto ao futuro das precipitações. Apesar dessa divergência, o conjunto de modelos projetam anomalias entre -20% e 20% em cada período de 30 anos” (p. 426) na variável chuva. E concluem dizendo que as divergências dos modelos analisados demonstram o alto nível de incerteza nas projeções do CMIP5, mas as mesmas ajudam a definir possíveis cenários futuros de precipitação e temperatura, que podem ser empregados nas políticas e gestão da Região Hidrográfica do Rio São Francisco.

Em relação aos resultados do total anual é plausível afirmar que as sub-bacias 43, 44, 45 e 47 não tiveram nenhuma ocorrência de tendência positiva em nenhum dos métodos utilizados nesta pesquisa. Ademais, em todas as sub-bacias prevalece a tendência negativa em todos os testes, exceto nas sub-bacias 48 e 49. Na sub-bacia 48 o teste do sinal teve a mesma quantidade de ocorrências positivas e negativas e quatro ocorrências ditas “normais”. E na sub-bacia 49, houve também o mesmo total de ocorrências positivas e negativas no teste de Mann-Kendall e no teste do sinal prevalece a tendência positiva em relação à negativa.

Quanto ao total de ocorrências mensais, na Regressão Linear todas as sub-bacias possuem uma porcentagem de ocorrência de tendência negativa acima de 70%, exceto nas sub-bacias 47, 48 e 49. Destaca-se que as sub-bacias 42 e 44 têm respectivamente, 84% e 82% de eventos negativos. Há uma maior tendência de diminuição da pluviometria no alto e médio São Francisco se comparado com o sub-médio e baixo São Francisco. Nas tendências positivas deste teste a porcentagem está entre 16% e 31%, a não ser na sub-bacia 49 que teve 50%.

Já no teste de Mann-Kendall todas as sub-bacias apresentam uma porcentagem de ocorrências mensais com tendência negativa entre 58% a 77%, dando destaque também às porções do alto e médio São Francisco. E nas tendências positivas a porcentagem está em torno de 23% a 39%, à exceção da sub-bacia 49 que tem 58%. Neste teste vale ressaltar que a classe “normal” (que a tendência é de manutenção) não teve resultados expressivos, ou seja, a porcentagem ficou em torno de 0 a 3%.

No Teste do Sinal os resultados se mostram menos discrepantes entre as classes positiva, normal e negativa que em relação aos outros dois métodos. A porcentagem do total de tendência negativa gira em torno de 40% a 64%, na tendência positiva é entre 25% a 46% e quando a tendência foi normal ficou em torno de 8% a 19%.

Tal como retratado anteriormente, há uma diminuição das chuvas na Região Hidrográfica do Rio São Francisco no intervalo deste estudo (1976-2015). Pode-se afirmar que dos 12 meses do ano, em 11 meses foram constatados a predominância no decréscimo da pluviometria na Regressão Linear e 10 meses em cada um dos outros dois testes aplicados nesta pesquisa.

Salienta-se que os meses com significativas ocorrências de diminuição da pluviometria na região hidrográfica nos três testes são: Janeiro, Fevereiro, Julho e Setembro, além do total anual. Em contrapartida, os meses com expressivas ocorrências de aumento da pluviometria na área de estudo nas três ferramentas matemáticas e estatísticas utilizadas são Março e Novembro.

Num geral, os resultados por mês nos três testes utilizados são relativamente similares. Nesta perspectiva, é plausível expor que os resultados dos testes mais discrepantes são em relação aos meses de Maio, Junho e Novembro e os meses com mais similaridade nos resultados de tais ferramentas são Janeiro, Fevereiro, Março, Julho, Agosto e Dezembro. Em específico, no mês de Julho, os produtos dos 3 testes deram iguais, salvo a sub-bacia 48 que possui a mesma quantidade de ocorrências positivas e negativas no Teste do Sinal.

Apesar do grande desafio matemático e computacional de se propor modelos e/ou métodos que realmente possam identificar, evidenciar e propor tendências climáticas, e também levando em consideração a incerteza da ação humana, as três ferramentas matemáticas e estatísticas utilizadas nesta pesquisa têm fácil manuseio e se mostraram bastante coerentes entre si. Embora os três testes aqui aplicados sejam utilizados em estudos de tendências climáticas, as análises feitas neste estudo representam possibilidades de eventuais variabilidades ou mudanças no clima. Se a tendência de diminuição da pluviometria

na área de estudo é um fato, deve-se estudar cada vez mais suas repercussões locais para minimizar consequências.

5.2 Avaliação de tendências relacionadas aos eventos de extremos pluviométricos

As projeções têm demonstrado possíveis impactos das mudanças climáticas, incluindo um cenário de clima mais extremo, ou seja, com secas, inundações, ondas de calor, dentre outros, mais frequentes e extremos. Assim, Assis (2016) retrata que nos últimos anos a comunidade científica têm estudado com maior frequência os extremos climáticos, como chuvas intensas e secas severas, em função sobretudo das variabilidades do clima, decorrentes das atividades humanas e dos processos naturais.

Nesta perspectiva, observando o Quadro 09 das ocorrências que ficaram acima do intervalo máximo do desvio padrão por década, de modo geral, é plausível expor que as mesmas são mais frequentes nas primeiras décadas deste estudo tanto nos meses do ano quanto no total anual. Em relação ao número de acontecimentos do total anual da região hidrográfica estudada esse decréscimo foi bastante claro, passando de 31 ocorrências na década de 1976-1985, para 15 entre 1986-1995, 7 entre 1996-2005 e apenas 5 na década de 2006-2015.

Os meses que houveram maior diminuição de ocorrências acima do intervalo máximo ao longo das décadas na região hidrográfica desta pesquisa foram Janeiro (principalmente), Fevereiro, Maio e Setembro. Já o mês com maior constância nas ocorrências foi Março. É possível observar também que os demais meses os eventos foram aleatórias nas quatro décadas e em nenhum dos meses houve aumento substancial da quantidade de acontecimentos.

Em todas as sub-bacias (exceto na sub-bacia 49) o maior número de ocorrências mensais que excederam o intervalo máximo ocorreu na primeira década deste estudo (1976-1985). Num geral, todas as sub-bacias apresentaram diminuição dos episódios ao longo das décadas, exceto a sub-bacia 49, que teve 14 acontecimentos no período de 1976-1985, 20 entre 1986-1995, 14 entre 1996-2005 e 15 entre 2006-2015.

Em relação aos resultados dos totais anuais por sub-bacias, também é plausível dizer que há um decréscimo de acontecimentos acima do intervalo máximo, exceto na sub-bacia 40 (que teve duas ocorrências na primeira década deste estudo, 1 na segunda década, nenhuma na terceira década e 2 na última década). Ademais, em exceção da sub-bacia 40, todas as demais sub-bacias apresentaram apenas uma ocorrência ou nenhuma na última década deste estudo (2006-2015).

Já conforme o Quadro 10 que retrata as ocorrências abaixo do intervalo mínimo do desvio-padrão por década, a área de estudo como um todo apresentou aleatoriedade nos resultados ao longo das quatro décadas tanto nos meses do ano como no total anual. Quanto ao número de acontecimento do total anual da região hidrográfica houve apenas 8 ocorrências na primeira década deste estudo, 21 na segunda década, 11 na terceira década e 27 na última década.

Os meses com resultados mais homogêneos ao longo das quatro décadas foram: Maio, Junho, Setembro. Os meses de Janeiro, Outubro e Dezembro tiveram maior número de ocorrências na última década com 22, 19 e 20 eventos, respectivamente.

Com exceção das sub-bacias 46, 48 e 49, na década de 2006-2015 houve muitas ocorrências mensais que ficaram abaixo do intervalo mínimo do desvio-padrão. As sub-bacias com número de eventos mais homogêneos ao longo das décadas foram 42, 46, 47 e 48.

Quanto às ocorrências abaixo do intervalo mínimo nos totais anuais por sub-bacias, pode-se observar que na maioria das sub-bacias o máximo de ocorrências aconteceu na década de 2006-2015, dando destaque as sub-bacias 42 e 43 que tiveram 4 acontecimentos cada uma.

Comparando os resultados das ocorrências acima do intervalo máximo e abaixo do intervalo mínimo do desvio padrão dos totais anuais, é possível notar que na primeira década (1976-1985) foram 30 eventos acima do intervalo máximo e somente 8 episódios abaixo do intervalo mínimo e na última década (2006-2015) houveram apenas 5 ocorrências acima do intervalo máximo e 27 abaixo do intervalo mínimo. Esses valores correspondem aos maiores e menores valores das quatro décadas analisadas.

Portanto, pode-se concluir a partir dos resultados dos intervalos do desvio padrão que um decréscimo do número de ocorrências acima do intervalo máximo do desvio padrão não necessariamente aponta uma diminuição da quantidade de chuvas e sim, uma maior homogeneidade dos dados ao longo das décadas. Não é viável deduzir sobre resultados das ocorrências abaixo do intervalo mínimo do desvio padrão devido a aleatoriedade dos resultados. Além de que, se há uma diminuição das chuvas, esta queda provavelmente está ocorrendo de forma gradativa.

Com o propósito de identificar possíveis extremos pluviométricos na área de estudo foram utilizados o SPI e o RAI, como já apresentado anteriormente. Neste subcapítulo analisou-se os resultados das quantidades de ocorrências decadais por classes do SPI e do RAI por sub-bacia tanto em relação aos totais anuais quanto ao somatório dos meses do ano.

Conforme Quadro 11 que contem os resultados do SPI por décadas, no que tange os totais anuais da região hidrográfica as classes A3 (extremamente úmido) e A2 (muito úmido) são as que possuem menor número de ocorrências ao longo das décadas. Nesta perspectiva, a

classe A3 nas últimas três décadas deste estudo tem as menores ocorrências da região estudada e na primeira década a menor quantidade de eventos é na classe V3 (extremamente seco).

Em relação ao somatório dos meses do ano na área de estudo as classes A1 (moderadamente úmido) e N (normal) apresentam as maiores quantidades de acontecimentos em todas as décadas. Percebe-se também que há um decréscimo ao longo das décadas na classe A2 e crescimento na classe N. As menores ocorrências aparecem na classe V3 nas três primeiras décadas e na classe A3 na quarta década. Ressalta-se que as classes V3 e A3 contêm poucas quantidades de eventos nas quatro décadas se comparadas com as outras classes.

Ainda com referência ao somatório dos meses do ano na região hidrográfica, o somatório das classes A3, A2 e A1 apresentam diminuição das ocorrências nas décadas (primeira década com 5.307 eventos, segunda década com 4.312, terceira década com 4.198 e quarta década com 4.069). No somatório das classes secas (V1, V2 e V3) nota-se um sutil aumento das ocorrências ao longo das décadas (primeira década com 3.359, segunda década com 4.031, terceira década com 3.704 e quarta década com 4.035).

Ao se observar a diferença entre os somatórios das classes úmidas (A3, A2 e A1) e das classes secas (V3, V2 e V1) verifica-se uma diminuição ao longo das décadas. Pode-se enfatizar ainda a última década, em que esta diferença apresenta um valor baixo, significando que a quantidade de ocorrências entre as classes úmidas e as classes secas está praticamente igual.

Quadro 11 – Número de ocorrências decadais por classes do SPI por sub-bacia

SUB-BACIA 40														
Σ DOS MESES							Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS							
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	
1976-1985	57	729	689	1824	619	479	43	25	47	55	164	40	39	0
1986-1995	18	506	650	1907	758	560	41	4	29	42	174	54	58	9
1996-2005	19	385	671	2066	731	531	37	0	15	58	179	87	31	0
2006-2015	21	364	682	2006	681	608	78	1	36	49	128	63	73	20
SUB-BACIA 41														
Σ DOS MESES							Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS							
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	
1976-1985	40	413	411	1133	349	259	35	13	47	27	78	27	25	3
1986-1995	24	276	379	1202	414	308	37	1	15	32	87	46	35	4
1996-2005	6	244	413	1285	420	265	7	0	8	29	129	43	11	0
2006-2015	16	211	401	1255	373	355	29	0	16	25	86	37	43	13
SUB-BACIA 42														
Σ DOS MESES							Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS							
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	
1976-1985	26	218	259	644	139	137	17	4	27	25	40	11	12	1
1986-1995	20	155	210	672	221	151	11	3	11	9	51	25	19	2
1996-2005	3	118	227	760	176	151	5	0	7	14	54	30	15	0
2006-2015	4	122	218	713	211	154	18	0	8	14	50	21	23	4
SUB-BACIA 43														
Σ DOS MESES							Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS							
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	
1976-1985	15	109	165	288	65	69	9	0	15	12	22	5	6	0
1986-1995	11	66	115	342	127	57	2	1	5	5	26	9	13	1
1996-2005	1	56	129	366	101	64	3	0	2	11	28	10	9	0
2006-2015	5	53	132	356	90	74	10	0	3	8	27	6	14	2
SUB-BACIA 44														
Σ DOS MESES							Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS							
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	
1976-1985	5	104	176	202	54	52	7	0	12	13	13	7	5	0
1986-1995	11	61	128	261	76	61	2	2	6	3	21	7	10	1
1996-2005	4	44	168	265	72	46	1	0	0	9	25	11	5	0
2006-2015	3	48	153	266	63	61	6	0	1	5	26	8	8	2
SUB-BACIA 45														
Σ DOS MESES							Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS							
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	
1976-1985	23	197	321	457	106	92	4	0	26	29	27	10	7	1
1986-1995	15	104	302	504	121	154	0	1	10	8	40	12	23	6
1996-2005	5	101	327	536	138	93	0	0	5	22	44	11	18	0
2006-2015	11	89	323	512	115	135	15	0	1	5	59	14	21	0
SUB-BACIA 46														
Σ DOS MESES							Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS							
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	
1976-1985	35	285	457	697	174	139	13	2	37	18	58	16	16	3
1986-1995	28	193	469	690	227	178	15	0	12	18	64	22	31	3
1996-2005	11	198	502	725	199	160	5	0	15	27	63	20	24	1
2006-2015	15	188	462	735	197	181	22	0	8	19	59	30	33	1
SUB-BACIA 47														
Σ DOS MESES							Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS							
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	
1976-1985	9	56	49	176	46	24	0	1	4	3	15	4	3	0
1986-1995	7	50	61	167	44	31	0	0	6	1	15	4	4	0
1996-2005	3	58	51	174	49	25	0	0	2	7	13	4	4	0
2006-2015	5	51	51	172	36	45	0	0	0	4	12	4	7	3
SUB-BACIA 48														
Σ DOS MESES							Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS							
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	
1976-1985	29	133	188	573	167	109	1	8	5	9	51	17	10	0
1986-1995	17	126	195	579	195	85	3	1	16	12	43	13	12	3
1996-2005	21	111	202	590	173	103	0	0	5	20	54	10	11	0
2006-2015	16	91	199	566	199	125	4	0	5	12	38	14	29	2
SUB-BACIA 49														
Σ DOS MESES							Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS							
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	A3	A2	A1	N	V1	V2	V3	
1976-1985	3	54	52	220	68	80	3	1	3	4	20	5	7	0
1986-1995	7	52	56	213	77	71	4	1	4	5	15	4	10	1
1996-2005	5	49	66	211	87	60	2	0	3	9	16	6	5	1
2006-2015	9	48	78	195	106	43	1	0	2	10	17	4	7	0

LEGENDA						
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3
Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Normal	Moderadamente Seco	Muito Seco	Extremamente Seco

Org.: MENDES SILVA, M. (2020).

A partir da análise dos resultados decadais do SPI por sub-bacia, tanto o somatório dos meses do ano quanto dos totais anuais, todas as sub-bacias em todas as décadas apresentam as maiores ocorrências na classe N, exceto na sub-bacia 45 (com relação ao total anual) que na primeira década, a classe A1 apresenta maior número de eventos; e na sub-bacia 44 também na primeira década, as classes N e A1 possuem a mesma quantidade de ocorrências.

Também retratam que em todas as décadas as classes A3 e V3 têm as menores quantidades de eventos, ressaltando-se principalmente que na sub-bacia 47 praticamente não houve ocorrências nessas classes e na sub-bacia 49 quase não existiu ocorrências em tais classes nos totais anuais.

No somatório dos meses do ano é mais notável o decréscimo ao longo das décadas nas classes A3 (exceto na sub-bacia 49) e A2 (exceto nas sub-bacias 47 e 49). E em relação ao acréscimo, estes são mais notados, principalmente na classe N, exceto nas sub-bacias 47, 48 e 49. Já nas classes A1, V1, V2 e V3, há uma diversidade/aleatoriedade na quantidade de ocorrências no decorrer das décadas em todas as sub-bacias. E, em específico, na sub-bacia 45, a última década na classe V3 apresenta 15 ocorrências, fugindo do padrão em relação às décadas anteriores.

Evidencia-se que em relação ao somatório das classes A1 a A3 dos totais anuais há um decréscimo do número de ocorrências durante as décadas em todas as sub-bacias, em exceção da 47 (que nada pode ser afirmado) e 49 (que nota-se um acréscimo dos eventos). Já no somatório das classes V1 a V3 constata-se um aumento na quantidade de acontecimentos em quase todas as sub-bacias, exceto nas 41, 45 e 49 que os resultados foram aleatórios, além de que nenhuma sub-bacia apresentou diminuição das ocorrências ao longo das décadas.

Acrescenta-se que no somatório das classes úmidas (A3, A2 e A1) do somatório dos meses do ano, em todas as sub-bacias o número de acontecimentos decadais decaem, exceto

na sub-bacia 47 em que permanece quase que constante a quantidade de eventos e na sub-bacia 49 que teve um aumento no número de acontecimentos ao longo das décadas. Já no somatório das classes secas (do V1 ao V3) os resultados por sub-bacia durante as décadas são aleatórios não podendo tirar conclusões sobre o aumento ou a diminuição das ocorrências, exceto nas sub-bacias 40, 42 e 47 que observa-se um acréscimo no número de eventos.

Deste modo, visualizando os resultados principais do número de ocorrências do SPI decadais é possível concluir que é mais plausível afirmar uma diminuição dos extremos positivos que em relação aos extremos negativos, além de que os extremos negativos são complexos de se analisar devido a aleatoriedade na quantidade de eventos no decorrer das quatro décadas.

Em conformidade com o Quadro 12 que compreende os resultados do RAI por décadas, no que se refere aos totais anuais da região hidrográfica é possível perceber que as maiores ocorrências estão distribuídas nas classes C1 (úmido) e S1 (seco), observando que na primeira, terceira e quarta décadas deste estudo destaca-se a classe C1 e na segunda década a classe S1.

Nota-se também que as classes C3 (extremamente úmido) e C2 (muito úmido) apresentam redução na quantidade de eventos no decorrer das décadas, enquanto que na classe S2 (muito seco) é identificado um incremento no número de ocorrências ao longo das décadas. Esses dois fatos podem ser observados também no somatório da quantidade de acontecimentos dos meses do ano. No somatório das classes C3 a C1 e no somatório das classes S1 a S3 nada pode-se inferir, pois o aumento ou diminuição das ocorrências se mostra aleatório no transcorrer das décadas.

Quadro 12 – Número de ocorrências decadais por classes do RAI por sub-bacia

SUB-BACIA 40												
Σ DOS MESES						Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS						
	C3	C2	C1	S1	S2	S3	C3	C2	C1	S1	S2	S3
1976-1985	435	595	1061	1032	1270	47	50	48	121	102	41	8
1986-1995	241	542	1007	1188	1407	55	13	40	114	117	65	21
1996-2005	143	519	1086	1240	1416	36	2	37	131	135	63	2
2006-2015	180	473	1132	1060	1507	88	13	51	91	104	73	38
SUB-BACIA 41												
Σ DOS MESES						Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS						
	C3	C2	C1	S1	S2	S3	C3	C2	C1	S1	S2	S3
1976-1985	252	336	605	590	821	36	37	35	61	47	34	6
1986-1995	159	260	614	667	896	44	7	23	58	82	38	12
1996-2005	106	259	652	726	891	6	0	21	80	101	18	0
2006-2015	110	245	615	661	967	42	4	30	53	65	44	24
SUB-BACIA 42												
Σ DOS MESES						Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS						
	C3	C2	C1	S1	S2	S3	C3	C2	C1	S1	S2	S3
1976-1985	136	180	316	308	489	11	12	32	29	28	15	4
1986-1995	88	155	293	329	566	9	7	12	24	44	29	4
1996-2005	53	128	319	384	552	4	0	14	33	48	24	1
2006-2015	50	139	286	316	628	21	1	11	41	26	33	8
SUB-BACIA 43												
Σ DOS MESES						Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS						
	C3	C2	C1	S1	S2	S3	C3	C2	C1	S1	S2	S3
1976-1985	61	114	154	132	251	8	9	16	14	13	7	1
1986-1995	47	63	150	156	300	4	2	7	17	17	15	2
1996-2005	26	68	134	173	317	2	2	4	25	18	10	1
2006-2015	23	66	160	149	310	12	1	5	25	11	11	7
SUB-BACIA 44												
Σ DOS MESES						Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS						
	C3	C2	C1	S1	S2	S3	C3	C2	C1	S1	S2	S3
1976-1985	55	79	116	114	231	5	6	13	11	13	7	0
1986-1995	41	46	100	135	277	1	4	5	10	19	8	4
1996-2005	20	45	132	139	262	2	0	2	19	18	10	1
2006-2015	32	38	102	134	285	9	0	4	16	16	8	6
SUB-BACIA 45												
Σ DOS MESES						Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS						
	C3	C2	C1	S1	S2	S3	C3	C2	C1	S1	S2	S3
1976-1985	125	135	246	245	448	1	9	37	24	18	11	1
1986-1995	69	71	246	258	544	12	9	5	32	21	22	11
1996-2005	43	101	257	277	522	0	0	17	35	26	21	1
2006-2015	48	93	202	234	612	11	0	5	36	34	24	1
SUB-BACIA 46												
Σ DOS MESES						Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS						
	C3	C2	C1	S1	S2	S3	C3	C2	C1	S1	S2	S3
1976-1985	152	162	384	418	667	17	20	30	49	27	21	3
1986-1995	104	132	356	399	792	17	4	18	43	43	34	8
1996-2005	87	164	354	389	801	5	4	24	50	37	34	1
2006-2015	90	115	325	414	832	24	2	14	42	46	40	6
SUB-BACIA 47												
Σ DOS MESES						Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS						
	C3	C2	C1	S1	S2	S3	C3	C2	C1	S1	S2	S3
1976-1985	29	21	56	78	175	1	3	3	13	6	5	0
1986-1995	22	21	70	63	184	0	3	4	7	11	5	0
1996-2005	23	23	57	77	180	0	1	4	13	5	7	0
2006-2015	24	17	67	77	175	0	0	2	7	11	6	4
SUB-BACIA 48												
Σ DOS MESES						Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS						
	C3	C2	C1	S1	S2	S3	C3	C2	C1	S1	S2	S3
1976-1985	79	109	236	281	494	1	10	10	24	40	16	0
1986-1995	73	110	238	300	478	1	7	14	25	32	16	6
1996-2005	72	88	286	283	470	1	0	13	44	28	13	2
2006-2015	59	84	236	262	557	2	1	9	26	26	31	7
SUB-BACIA 49												
Σ DOS MESES						Nº DE OCORRÊNCIAS DOS TOTAIS ANUAIS						
	C3	C2	C1	S1	S2	S3	C3	C2	C1	S1	S2	S3
1976-1985	27	36	96	155	158	8	4	1	10	16	9	0
1986-1995	34	37	102	137	168	2	3	6	6	14	9	2
1996-2005	29	50	102	144	155	0	1	8	11	14	5	1
2006-2015	28	53	113	130	155	1	1	4	20	6	8	1

LEGENDA					
C3	C2	C1	S1	S2	S3
Extremamente Úmido	Muito Úmido	Úmido	Seco	Muito Seco	Extremamente Seco

Sobre os resultados do somatório dos meses do ano do RAI da área de estudo pode-se constatar que em todas as décadas os maiores números de eventos situam-se na classe S2 (muito seco) e em segundo lugar distribuem-se nas classes C1 e S1. Percebe-se também que em relação ao somatório das classes C3 a C1 pode-se verificar um decréscimo no número de acontecimentos e no somatório das classes S1 a S3 uma elevação.

Baseado nos resultados decadais do RAI por sub-bacia o maior total de eventos no decorrer das décadas dos totais anuais se alternam entre as classes C1 e S1, com exceção de algumas poucas ocorrências em C2 e S2, enquanto que as menores quantidades se alternam entre as classes C3 e S3. Já no somatório dos meses do ano, em todas as sub-bacias os maiores números de eventos encontram-se na classe S2, ao passo que o menor número de ocorrências decadais situam-se na classe S3.

Observa-se ainda que em relação aos totais anuais o decréscimo da quantidade de ocorrências no transcorrer das décadas se dá, principalmente, na classe C3 na maioria das sub-bacias, exceto na 40 e 41, que não pode-se inferir nada sobre a diminuição e também aumento de eventos ao longo das décadas. Além disso, é possível identificar que a classe S1 tem um decaimento da quantidade de ocorrências nas sub-bacias 48 e 49 e a classe C2 do mesmo modo na sub-bacia 43. Ainda em relação aos totais anuais, é plausível dizer que é difícil identificar o aumento do número de acontecimentos no transcorrer das décadas na maioria das sub-bacias. Somente foi detectado o aumento na classe C1 nas sub-bacias 43 e 45, na classe S1 também na sub-bacia 45 e na classe S2 na sub-bacia 46.

Acresce que no somatório dos meses do ano há uma queda no número de ocorrências especialmente na classe C3, nas sub-bacias 41, 42, 43, 45, 46 e 48, além da classe C2, nas sub-bacias 40, 41, 44 e 48 e da classe C1 na sub-bacia 46. Portanto, nas sub-bacias 47 e 49 não é possível verificar tal diminuição. Já sobre o acréscimo na quantidade de eventos, é

possível constatar uma maior dificuldade em identificar tais acontecimentos em todas as sub-bacias. Constata-se somente que na classe S2 o aumento se dá nas sub-bacias 40 e 46 e na sub-bacia 49 o incremento ocorre nas classes C1 e C2.

No que diz respeito ao somatório das classes C1 a C3 dos totais anuais destaca-se que existe uma diminuição no transcorrer das décadas na sub-bacia 40 e um aumento na sub-bacia 49. Em contrapartida, no somatório das classes S1 a S3, houve uma elevação na sub-bacia 40 e uma queda na sub-bacia 49. Além de que nenhuma das sub-bacias apresentam tais somatórios com pouca alteração.

Em relação ao somatório dos meses do ano que, no somatório das classes úmidas (C1 a C3) ocorreu uma diminuição da quantidade de ocorrências nas sub-bacias 41 e 42 e um aumento na sub-bacia 49. E no somatório das classes secas (S1 a S3), somente a sub-bacia 49 apresentou queda e as sub-bacias 41 e 42 acréscimo. É possível observar também que, a sub-bacia 47 em ambos os somatórios possui pouca variação na quantidade de eventos ao longo das décadas. Ademais, em todas as décadas sempre o somatório das classes C1 a C3 mostrou-se menor que o somatório das classes S1 a S3.

Logo, observando os resultados do RAI e do SPI, em geral, pode-se concluir que a diminuição dos extremos positivos e o aumento dos extremos negativos é mais facilmente observado no RAI do que no SPI; o decréscimo das ocorrências positivas do SPI também foram visualizados nos resultados do RAI; o aumento dos extremos negativos foram notados mais claramente nos resultados do RAI que do SPI. E que apesar das diferenças em alguns resultados, ambas as ferramentas demonstram uma uniformidade em seus resultados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento mais detalhado do clima, em especial da pluviometria em uma região hidrográfica é fundamental para o acompanhamento da dinâmica do sistema natural e também para as atividades humanas, ainda mais frente ao fato da ocorrência das mudanças climáticas, mesmo que ainda haja incertezas quanto aos possíveis efeitos em escala regional/local.

Neste sentido, estudos e aplicação de ferramentas matemáticas e estatísticas sobre tendências e extremos pluviométricos são cada vez mais necessários, pois dessa forma, tem-se maior possibilidade de mitigar prováveis impactos negativos, como forma de minimizar perdas naturais e humanas.

Esta pesquisa da pluviometria da Região Hidrográfica do Rio São Francisco, que aplicou diferentes métodos para identificar e analisar prováveis tendências e ocorrências de eventos extremos, procurou colaborar para elucidar o quadro da entrada de água no sistema hidrográfico da referida região, o que contribui para possíveis estratégias a serem adotadas por políticas públicas, órgãos ambientais e a população envolvida, como forma de prevenir, ajustar e mitigar os impactos adversos, especialmente frente a disponibilidade e demanda hídrica.

Confirmou-se que existe uma variação espacial da pluviometria na área de estudo, com padrões decrescentes das chuvas de suas nascentes até a foz do rio São Francisco, frutos da heterogeneidade fisiográfica e da atuação dos diferentes sistemas atmosféricos de micro, meso e macro escala, resultando numa variabilidade pluviométrica associada à transição do úmido para o árido.

Observou-se que as maiores médias dos totais anuais da pluviometria se encontram nas sub-bacias localizadas na parte mineira e as menores médias, nas sub-bacias pertencentes

aos estados da Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. Esse fato também foi observado nas médias dos máximos e nas médias dos mínimos dos totais anuais, que tiveram valores mais altos nas sub-bacias do estado de Minas Gerais e vão tendo menores valores à medida que vão alcançando os espaços adjacentes.

A variação da pluviosidade média anual da região hidrográfica é desde menos de 550 mm até mais de 1400 mm, além de que os meses que apresentaram as maiores médias mensais são janeiro e dezembro e as menores médias mensais ocorrem em agosto e setembro.

Observou-se ainda que nas ferramentas matemáticas e estatísticas utilizadas (Regressão Linear, Teste de Mann-Kendall e Teste do Sinal) demonstraram resultados relativamente similares e que se constatou uma concordância quanto à diminuição da pluviometria na região hidrográfica no intervalo de 1976-2015. Ressaltando que os meses do ano que houveram significativas ocorrências de decréscimo da pluviometria nos três métodos foram janeiro, fevereiro, julho, setembro, além do total anual. E que, em contrapartida, os meses com expressivas ocorrências de aumento da pluviometria nos testes são março e novembro.

As ocorrências de anomalias ou extremos pluviométricos nos totais anuais e nos meses do ano, identificadas através dos intervalos máximos e mínimos do desvio padrão e do SPI e do RAI, em geral, tiveram como resultados maior possibilidade de ocorrências de extremos secos e uma provável diminuição de episódios de eventos de extremos úmidos ao longo dos anos do intervalo desta pesquisa.

Assim, pôde-se visualizar neste estudo que se tais resultados estão ocorrendo, o cenário futuro da Região Hidrográfica do Rio São Francisco é de diminuição da quantidade de chuvas e maior probabilidade de eventos extremos de pluviosidade, com maior possibilidade de episódios extremos de secas do que acontecimentos de extremos úmidos.

A compreensão dos elementos aqui identificados e analisados possibilita, portanto, um melhor conhecimento da variabilidade climática e da possibilidade de entendimento quanto às possíveis consequências das mudanças climáticas na área de estudo. Assim, ressalta-se que há uma grande complexidade ainda em demonstrar/identificar prováveis impactos que o aumento da temperatura está gerando ou gerará nas séries de pluviometria, especialmente em nível regional/local. Mas muitos trabalhos científicos sobre o assunto têm adotado tais instrumentos matemáticos e estatísticos aqui utilizados e têm demonstrado bons resultados.

Nesta lógica, e pelos fatos expostos com relação às tendências e ocorrências de eventos de extremos pluviométricos na Região Hidrográfica do Rio São Francisco, o que se tentou buscar neste trabalho foi contribuir e demonstrar possibilidades e necessidades de cada vez mais estudos sobre a temática das mudanças climáticas, principalmente em escala regional/local. E é uma forma de colaborar quanto ao monitoramento e na tentativa de antecipar impactos negativos, diminuindo assim, a vulnerabilidade ambiental e social e auxiliando as agendas políticas a promover adaptações quanto ao comportamento das variáveis climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. New York: Dover, 1965. 1046 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Disponível em Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 2018.

ALVES, J. DE O.; PEREIRA, P. DE C.; QUEIROZ, M. G. de.; SILVA, T. G. F. da; FERREIRA, J. M. da S.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N. Índice de anomalia de chuva para

diferentes Mesorregiões do estado de Pernambuco. In: Pensar Acadêmico, Manhuaçu, v. 14, n. 1, p. 37-47, Jan./Jul., 2016.

<https://doi.org/10.21576/rpa.2016v14i1.4>

AMARAL, M. V. S. G. do. Ajuste de modelos e comparação de séries temporais para dados de vazão específica em microbacias pareadas. 91f. DISSERTAÇÃO (Mestrado em Ciências, área de concentração: Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba-MG, 2014.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENKO, I.; ALVES, L. M. Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DEBio Mudanças Climáticas – Sub-projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fev. 2007.

ANDRADE, K. M. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, São José dos Campos/SP. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005, 185p.

ASSIS, J. M. O. de. Variabilidade do clima e cenários futuros de mudanças climáticas no trecho submédio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia e Geociências, Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 2016, 187 p.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BARRETO, N. de J. da C. Relação entre oscilação decadal do Pacífico, El Niño-Oscilação Sul e a circulação atmosférica de verão na América do Sul. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Maceió/AL. Universidade Federal de Alagoas (UFAL), 2009, 80 p.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Atmosfera, tempo e clima; Tradução: Ronaldo Cataldo Costa; revisão técnica: Francisco Eliseu Aquino. – 9. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. Revista Agrometeoros, Passo Fundo/RS, v. 25, n. 2, p. 273-302, Dez. 2017.

<https://doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25884>

BRANDÃO, R. S.; FISCH, G. F. A zona de convergência do Atlântico Sul e seus impactos nas enchentes em áreas de risco de Guaratinguetá – SP. Revista Biociências, v. 14, n. 2, p. 95-104, 2008.

BRITO, J. I. B. Modelo Regional para Estimativa do Balanço Hídrico Aplicado à Variabilidade Climática do Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado em Recursos Naturais. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 2000, 148 p.

CARICRISTI, I. Geografia e representações gráficas: uma abordagem crítica e os novos desafios técnico-metodológicos passando pela climatologia. Revista da Casa de Geografia de Sobral, v. 4/5, p. 81-92, 2002/2003.

CDKN – Rede de conhecimento de clima e desenvolvimento. Gerenciando extremos climáticos e desastres na América Latina e no Caribe: lições do Relatório SREX. CDKN (2012). Disponível em: <www.cdkn.org/srex. 2012>. Acesso em: 20 de outubro de 2019.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – CBHSF (s.d.). Disponível em:<<http://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>>. Acesso em: Jun. 2016.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – CBHSF. Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, 2004. Disponível em: <<https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2020/01/PlanoDecenaldeRecursosHidricos.pdf>>. Acesso em Nov. 2020.

COLLINS, M. et al. Chapter 6: Extremes, Abrupt Changes and Managing Risks. In: ABRAM, N. et al. Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Genebra: IPCC, 2019. Disponível em: <https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_Chapter6.pdf> Acesso em: 05. dez. 2019.

CONTI, J. B. A questão climática do nordeste brasileiro e os processos de desertificação. In: Revista Brasileira de Climatologia, v. 01, n. 01, 2005, p. 07-14.

COSTA, J. A.; SILVA, D. F. da. Distribuição espaço-temporal do Índice de Anomalia de Chuva para o Estado do Ceará. In: Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, n. 4, p. 1002-1013, 2013.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1002-1013>

CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Clima / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Relatório do Clima do INPE. Caracterização do clima atual e definições das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. In: Mudanças Climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade. São Paulo/SP, 2007.

CRESPO, A. A. Estatística fácil. 15 ed. São Paulo: Saraiva, 1997.

DAI, A.; QIAN, T. T.; TRENBERTH KE & MILLIMAN JD. Changes in Continental Freshwater Discharge from 1948 to 2004. Journal of Climate, 2009, 22(10): 2773-2792.
<https://doi.org/10.1175/2008JCLI2592.1>

DI GIULIO, G. M.; BEDRAN-MARTINS, A. M.; VASCONCELLOS, M. da P.; RIBEIRO, W. C. Mudanças climáticas, riscos e adaptação na megacidade de São Paulo, Brasil. Sustentabilidade em Debate – Brasília, v. 8, n. 2, ago. 2017, p. 75-87.
<https://doi.org/10.18472/SustDeb.v8n2.2017.19868>

EASTERLING, D. R.; MEENHL, G. A.; PARMESAN, C.; CHANGNON, S. A.; KARL, T. R.; MEARNS, L. O. Climate extremes: Observation, Modeling, and Impacts. *Science*, vol. 289, issue 5487, 22 sep. 2000, p. 5487-2068.

<https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>

ESCOBAR, G. C. J. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): critério de detecção para uso em centros operacionais de previsão de tempo. São José dos Campos: INPE, 2019. (Nota Técnica, sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/01.07.12.08-NTC).

ESTOQUE, M. A., DOUGLAS, M.; Structure of the Intertropical Convergence Zone Over the GATE area. *Tellus*, 30, 1, p. 55-61, 1978.

<https://doi.org/10.3402/tellusa.v30i1.10315>

FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.F. da; AMORIM, A. de O.; CARDOSO, A.S. Índices para a quantificação da seca. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 48 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 244).

FERREIRA, V. de O. Análise de tendências em séries pluviométricas: algumas possibilidades metodológicas. In: *Revista Geonorte, Edição Especial 2*, v. 1, n. 5, p. 317-324, 2012.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, p. 15-28, Dez. 2005.

<https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>

FERREIRA, M. E. Estiagens no estado do Paraná 1971-2004. 2007. Dissertação de Mestrado em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2007, 162 p.

FREITAS, M. A. de S. Um sistema de suporte a decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. In: *Revista Tecnologia, Fortaleza*, v. 26, n. 1, p. 84-95, Jun. 2005. Suplemento.

FILHO, K.Z., MARCELLINI, S.S. Precipitações Máximas. In: TUCCI C.E.M., PORTO R.L., BARROS, M.T. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: UFRGS, 1995, 428p.

GALVÍNCIO, J. D. Impactos dos eventos El Niño na precipitação da Bacia do rio São Francisco. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Campina Grande. Universidade Federal da Paraíba (PB), 2000, 117p.

GARCIA, J. R.; MIYAMOTO, B. C.; MAIA, A. G. Eventos extremos de precipitação: identificação e análise da bacia hidrográfica do Rio Jundiá, São Paulo. *Revue Franco-Brésilienne de Géographie*, n. 37, 2018.

<https://doi.org/10.4000/confins.15586>

JACOBS, W. (2011). Modelos de Suavização Exponencial, ARIMA e Redes Neurais: um estudo comparativo para a previsão de demanda de produtos. 110f. MONOGRAFIA

(Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharel em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Produção, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado-RS.

Kousky, V.E. Frontal influences on Northeast Brasil. *Monthly Weather Review*, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, Sept. 1979.

[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1979\)107<1140:FIONB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1979)107<1140:FIONB>2.0.CO;2)

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)*, 2012. Disponível em: <http://ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-SPM_Approved-HiRes_opt.pdf>. Acesso em nov. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Summary for Policymakers*. In.: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F.; D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R. K. Pachauri y L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 2014, 157p.

LOMBARDO, M. A. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: HUCITEC, 1985.

LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B. de.; FERREIRA, D. B. S. *Climatologia regional da precipitação no estado do Pará*. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba/PR, v. 12, p. 84-102, Jan./Jul. 2013.

<https://doi.org/10.5380/abclima.v12i1.31402>

LUBCHENCO, J.; KARL, T. R. *Predicting and managing extreme weather events*. *Physics Today*, 65(3), p. 31-37, 2012.

<https://doi.org/10.1063/PT.3.1475>

MARENGO, J. A. *Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil*. In: *UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE CONFERENCE, 15, 2009, Copenhagen. Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil*, Rio de Janeiro: FBDS, p. 4-19, 2009.

MARENGO, J. A.; JONES, T.; ALVES, L.; VALVERDE, M. *Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system*. *Int. J. Climatol.* Published online in Wiley InterScience, 2009.

<https://doi.org/10.1002/joc.1863>

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; BETTS, R.; KAY, G.; ALVES, L. M.; TORRES, R.; SANTOS, D. Development of regional climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Part 1. Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and Interspine the Parana River Basins. *Climate Dynamics*, 2010.

<https://doi.org/10.1007/s00382-011-1155-5>

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., BESERRA, E., LACERDA, F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Medeiros, S. de S., Gheyi, H.R., Galvão, C. de O., Paz, V.P da S. (Orgs.). *Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas*. INSA, Campina Grande, p. 383- 416, 2011.

McKee, T. B.; Doesken, N. J.; Kleist, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: *Conference on Applied Climatology*, 8., 1993, Boston. *Anais American Meteorological Society*. Boston: Preprints, p. 179-184, 1993.

MEDEIROS, R. M. de.; SOUZA, E. P. de.; GOMES FILHO, M. F. Ocorrência de eventos extremos de precipitação em Campina Grande – Paraíba, Brasil. III International Congress, I Ibero-American Symposium and VIII National Meeting of Risks Multidimension and Territories of Risk. 5, 6 and 7 of November 2014, Department of Geography, University of Minho, Guimarães, Portugal.

MENDES SILVA, M.; FERREIRA, V. de O.; BRITO, J. L. S. Reconhecimento de possíveis influências dos eventos El Niño e La Niña no regime pluviométrico da bacia do rio Araguari, Minas Gerais. In. *Revista Geonorte, Edição Especial 2*, v. 1, n. 5, p. 754-765, 2012.

MENEZES, H. E. A. Influência da Zona de Convergência Secundária do Atlântico Sul sobre a ocorrência de precipitação no leste do Nordeste brasileiro. Tese de Doutorado em Meteorologia, Campina Grande/PB. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2010, 85p.

MILANEZ, B.; FONSECA, I. F. da. Justiça climática e eventos climáticos extremos: uma análise da percepção social no Brasil. *Revista Terceiro Incluído – NUPEAT-IESA-UFG*, v. 1, n. 2, p. 82-100, Artigo 13, Jul./Dez. 2011.

MILLY, P. C. D.; DUNNE, K. A.; VECCHIA, A. V. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, v. 438, n. 17, p. 4312-4314, 2005.

<https://doi.org/10.1038/nature04312>

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). Global Monitoring Laboratory: Earth System Research Laboratories – Global Monthly Mean CO₂. Disponível em: < <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html> >. Acesso em: 07 de abril de 2021.

NAKICENOVIC, N.; SWART, R. (Ed.). *Special report on emissions scenarios*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

NOBRE, P. A Variabilidade Interanual do Atlântico Tropical e sua Influência no Clima da América do Sul. Revista Climanálise – Edição comemorativa de 10 anos, 1996.

NORONHA, G. C.; HORA, M. de A. G. M DA; SILVA, L. P. da. Análise do Índice de Anomalia de Chuva para a Microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. In: Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 1, p. 74-81, 2016.
<https://doi.org/10.1590/0102-778620140160>

OLIVEIRA, A. S. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, São José dos Campos/SP. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1986, 134p.

PINHEIRO, G. M. Variabilidade temporo-espacial da pluviosidade na Bacia do Alto Iguaçu. Tese de Doutorado em Geografia, Curitiba/PR, Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2016, 274 p.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. Monthly Weather Review, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, Aug. 1987.
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2)

ONS; FAHMA; DREER. Estimativa das vazões para atividade de uso consuntivo da água nas principais bacias do sistema interligado nacional. In: Braga, R. S.; Gomes, M. P. (coord.). Metodologia e resultados consolidados. [S.l.: s.n.], 2004. 209p. Relatório Final.

REBOITA, M. S.; MARRAFON, V. H. de A.; LLOPART, M.; DA ROCHA, R. P. Cenários de Mudanças Climáticas projetados para o Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba/PR, Ano 14 – Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, Nov. 2018.
<https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60524>

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da S.; RAMOS, M. M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande/PB, v. 11, n. 6, p. 615-622, 2007.
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000600010>

RODRIGUEZ, F. A.; HOLTZ, G. P. Subprojeto 4.5.A - Diagnóstico analítico da bacia e sua zona costeira. In: ANA; GEF; PNUMA; OEA. Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco. Viçosa, 2003. 190p. Relatório Final.

ROOY, M. P.V. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. Notes, v.14, p.43, 1965.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. In: Revista do Departamento de Geografia (USP), v. 16, p. 81-90, 2005.
<https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>

SANTOS, C. M. L. da S. A. dos. Estatística Descritiva: manual de auto-aprendizagem. 3 ed. Lisboa: Sílabo Ltda, 2018.

SANTOS, J. G. 88f. Variabilidade pluviométrica na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba – MG. Dissertação de Mestrado em Geografia, Uberlândia/MG, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), 2015, 88 p.

<https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v12i1.15791>

SANTOS, S. de A.; CORREIA, M. de F.; BRAGA, C. C.; ARAGÃO, M. G. da S. Análise Estatística de chuvas intensas e inundações no semiárido da Bacia do Rio São Francisco: a cheia de 1985. Revista de Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 278-290, Jul/Set 2010.

SANTOS, V. de O. Identificação e análise de tendências em séries históricas de precipitação no município de Uberlândia, Minas Gerais. In: Anais do XI – Encontro Nacional da ANPEGE, Presidente Prudente-SP, p. 7502-7512, 2015.

SANTOS, S. R. Q. dos.; CUNHA, A. P. M. do A.; RIBEIRO-NETO, G. G. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 25, p. 80-100, Jul./Dez. 2019.

<https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.62018>

SETZER, J.; MACEDO, L. V.; REI, F. Combining local and transnational action in adaptation of climate policies in the city of São Paulo. In: JOHNSON, C. et al. The urban climate challenge: rethinking the role of cities in the global climate regime, p. 101-118, 2015.

SILVA, B. C. da.; CLARKE, R. T. Análise estatística de chuvas intensas na Bacia do Rio São Francisco. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 19, n. 3, p. 265-272, 2004.

SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D.; NÓBREGA, R. S. Influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos sobre sub-bacias do rio São Francisco Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n. 19, Mar. 2011.

SILVA, G. B.; SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. Cenários de mudanças climáticas no estado da Bahia através de estudos numéricos e estatísticos. In: Revista Brasileira de Geografia Física, v. 05, n. 05, p. 1019-1034, 2012.

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i5.232891>

SILVA, V. P. da. Distúrbios Ondulatórios de Leste: estudo de casos que afetaram a costa leste no NEB. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Campina Grande/PB, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2011, 73p.

SILVA, A. R.; SANTOS, T. S. dos; QUEIROZ, D. E DE; GUSMÃO, M. O.; SILVA, T. G. F. da. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. In: Journal of Environmental Analysis and Progress. v. 02, n. 04, p. 377-384, 2017.

<https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384>

SILVEIRA, C. da S.; SOUZA FILHO, F. de A. de; MARTINS, E. S. P. R.; OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. C.; NOBREGA, M. T.; SOUZA, S. A. de; SILVA, R. F. V. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: uma análise para precipitação e temperatura. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, n. 02, p. 416-428, 2016.

<https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p416-428>

SILVEIRA, R. D. Risco climático, vulnerabilidade socioespacial e eventos climáticos extremos relacionados ao calor e ao frio no estado do Rio Grande do Sul – Brasil. Tese de Doutorado em Geografia, Presidente Prudente/SP. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2014, 379p.

SOBRAL, M. do C.; ASSIS, J. M. O. de; OLIVEIRA, C. R. de; SILVA, G. M. N. da.; MORAIS, M.; CARVALHO, R. M. C. Impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco – Brasil. In: Revista Eletrônica do PRODEMA Fortaleza Rede, v. 12, n. 03, p. 95-106, 2018.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. Acta Amazonica, v.30, n.2, p.305-318, 2000.

<https://doi.org/10.1590/1809-43922000302318>

SOUZA, L. R. de. Simulação hidrológica e aplicação de uma análise multivariada no estudo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Campina Grande/PB, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2012, 69p.

TEBALDI, C.; HAOHOW, K.; ARBLASTER, J.; MEEHL, G. **Going to extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events.** Climatic Change v.79, p.185-21. doi: 10.1007/s10584-006-9051-4, 2006.

<https://doi.org/10.1007/s10584-006-9051-4>

THOM, H. C. S. Some methods of climatological analysis. Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 53 p. (WMO. Technical note, 81).

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (org.) Clima e recursos hídricos no Brasil. Porto Alegre: ABRH, 2003.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “visão mundial da água”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 3, p. 31-43, Jul./Set. de 2000.

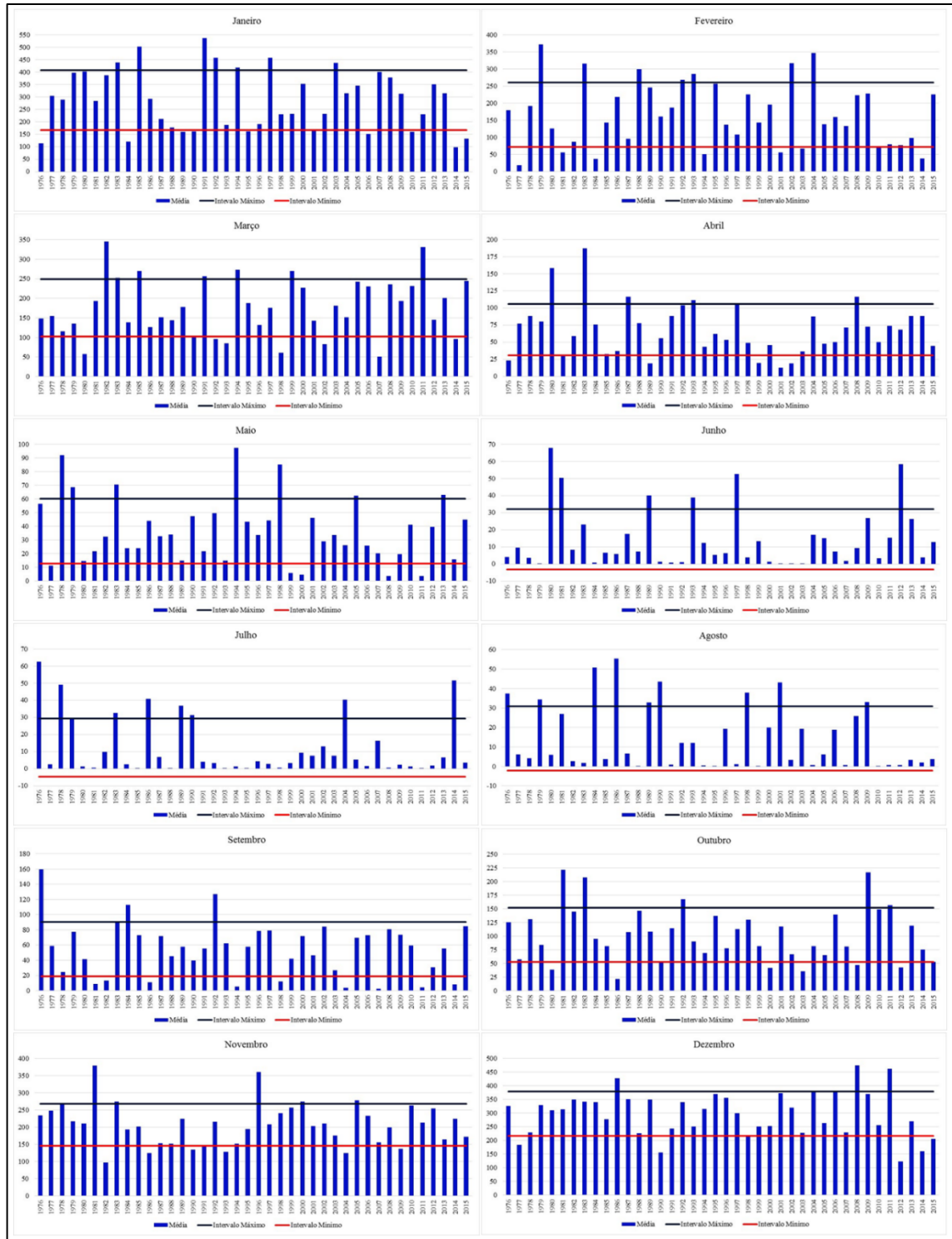
<https://doi.org/10.21168/rbrh.v5n3.p31-43>

UNITED NATIONS INTERNACIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UNISDR). Disaster losses top one trillion dollars as donors underfund risk reduction. 2012. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/archive/25831>>. Acesso em dezembro de 2019.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 36, Volume Especial, p. 126-142, 2014.

ANEXOS

Anexo 01 – Gráficos: Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) da pluviosidade (mm) por mês e por ano na sub-bacia 40 (1976-2015)



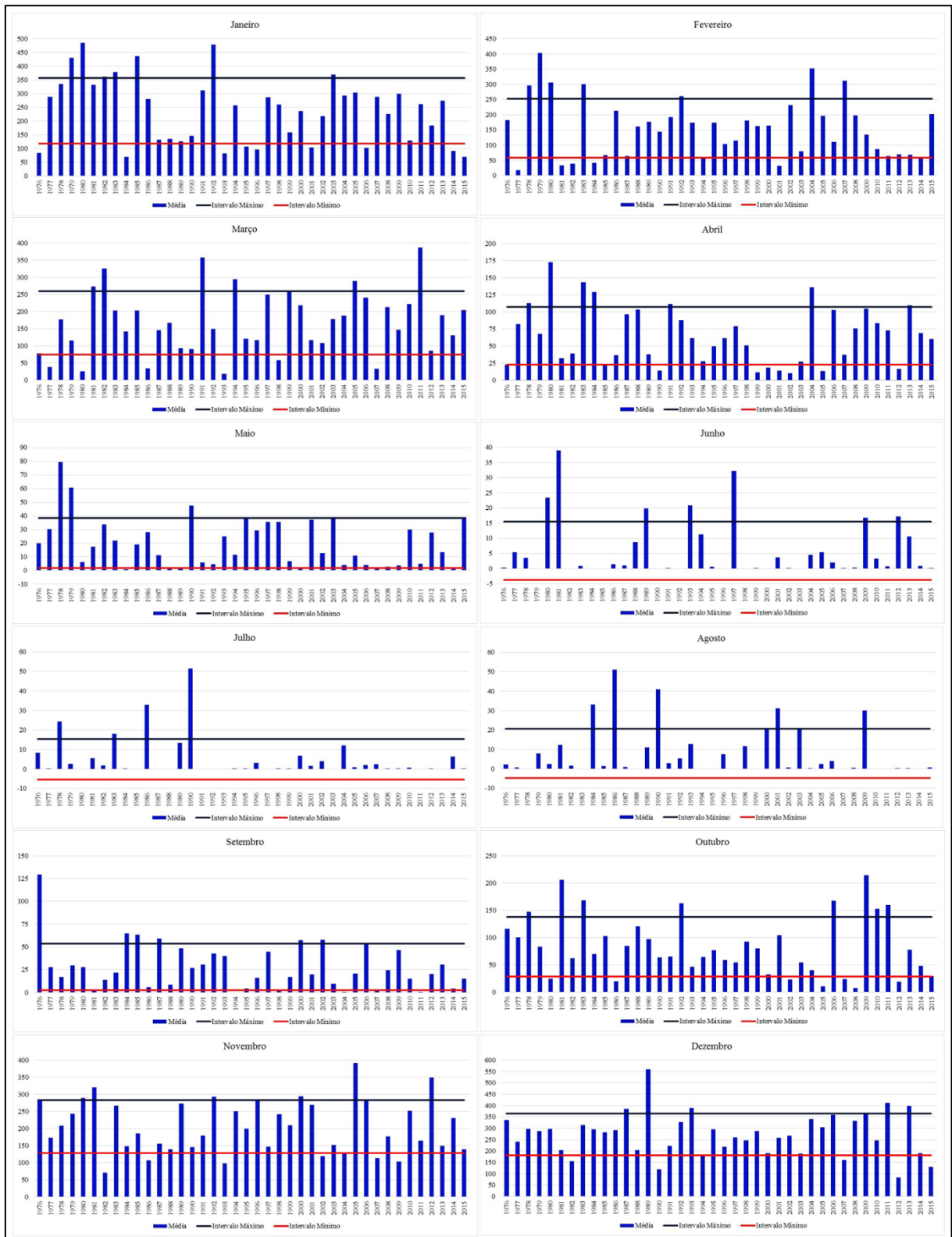
Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018); Org.: MENDES SILVA, M. (2019).

Anexo 02 – Gráficos: Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) da pluviosidade (mm) por mês e por ano na sub-bacia 41 (1976-2015)



Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018); Org.: MENDES SILVA, M. (2019).

Anexo 03 – Gráficos: Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) da pluviosidade (mm) por mês e por ano na sub-bacia 42 (1976-2015)



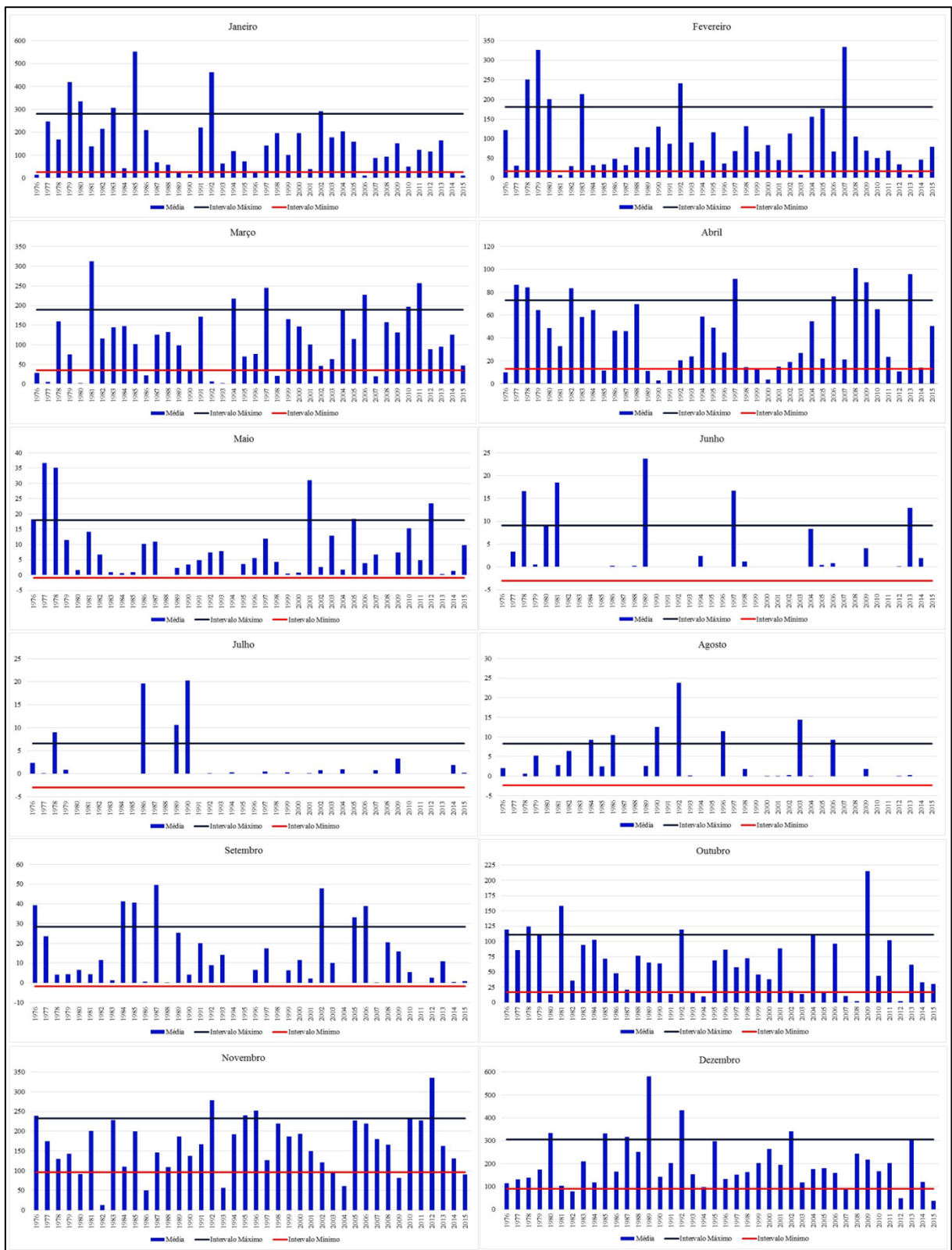
Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018); Org.: MENDES SILVA, M. (2019).

Anexo 04 – Gráficos: Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) da pluviosidade (mm) por mês e por ano na sub-bacia 43 (1976-2015)



Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018); Org.: MENDES SILVA, M. (2019).

Anexo 05 – Gráficos: Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) da pluviosidade (mm) por mês e por ano na sub-bacia 44 (1976-2015)



Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018); Org.: MENDES SILVA, M. (2019).

Anexo 06 – Gráficos: Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) da pluviosidade (mm) por mês e por ano na sub-bacia 45 (1976-2015)



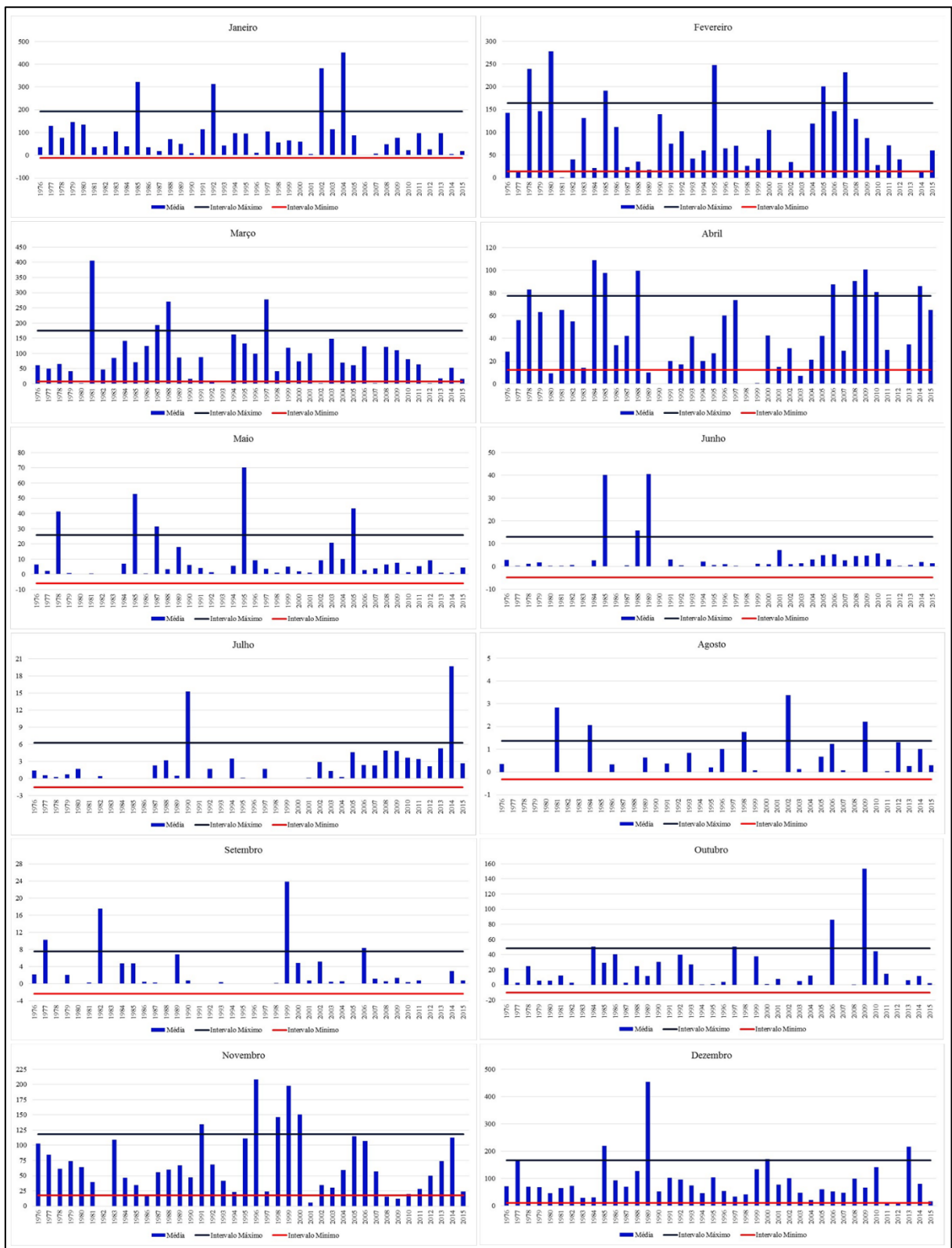
Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018); Org.: MENDES SILVA, M. (2019).

Anexo 07 – Gráficos: Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) da pluviosidade (mm) por mês e por ano na sub-bacia 46 (1976-2015)



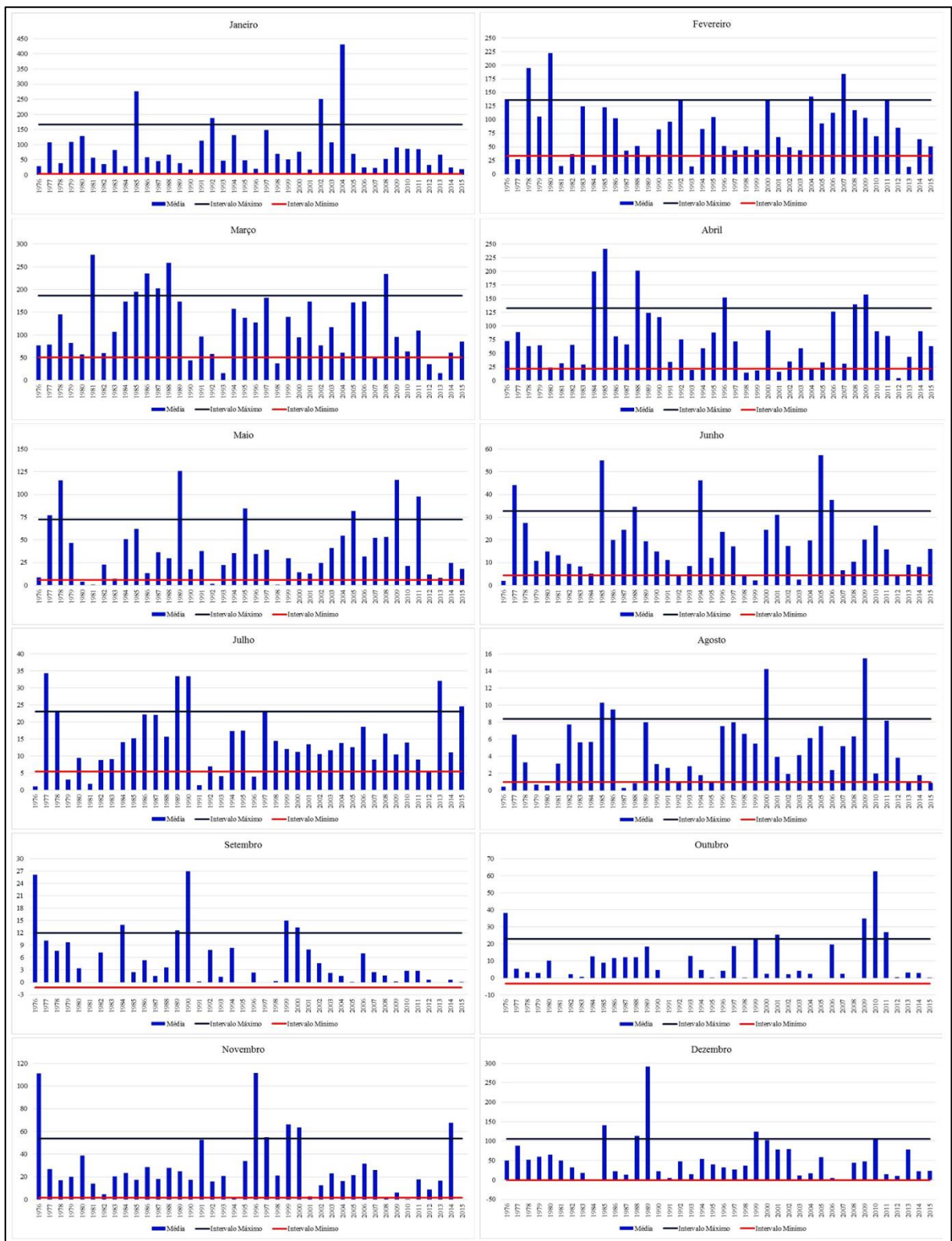
Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018); Org.: MENDES SILVA, M. (2019).

Anexo 08 – Gráficos: Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) da pluviosidade (mm) por mês e por ano na sub-bacia 47 (1976-2015)



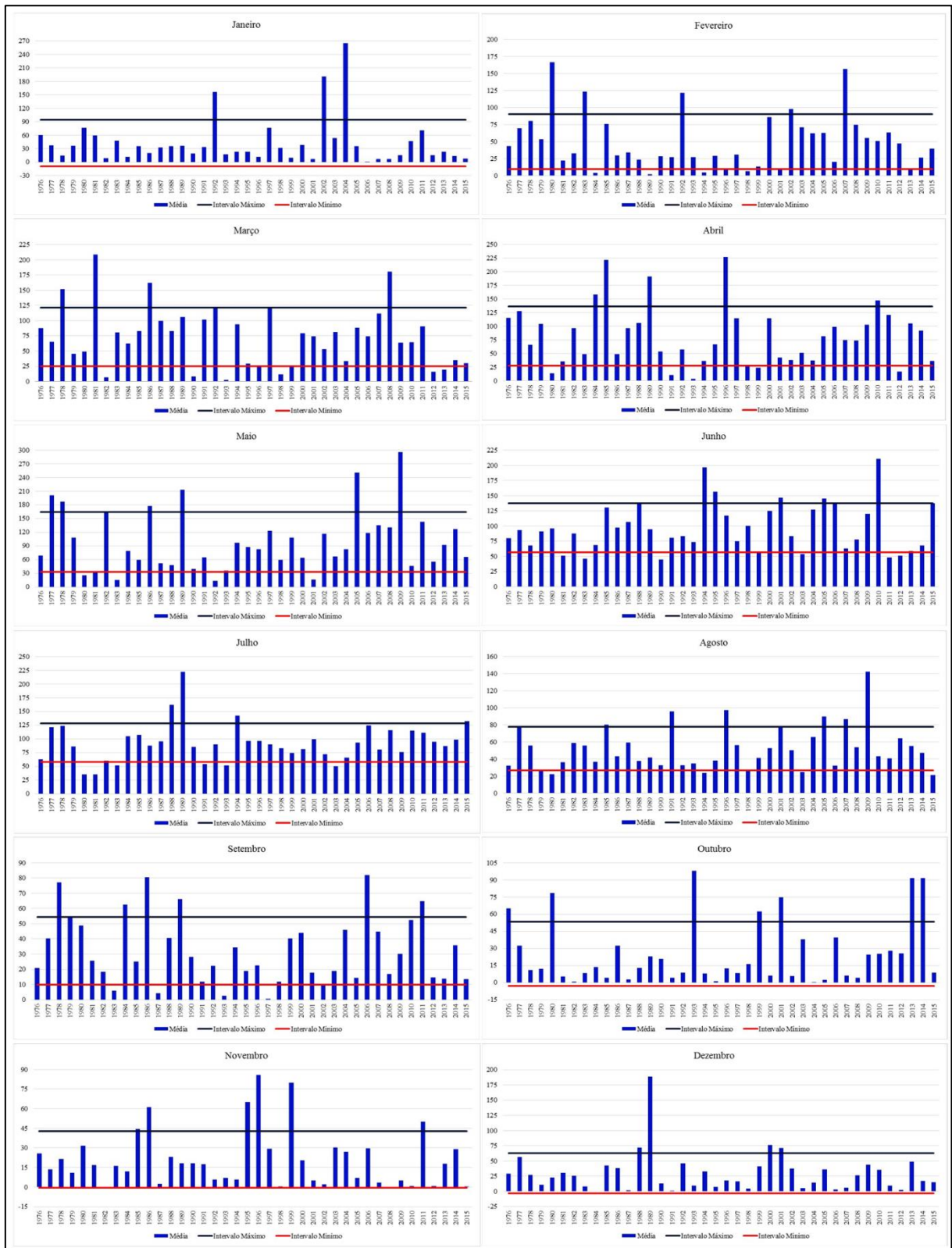
Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018); Org.: MENDES SILVA, M. (2019).

Anexo 09 – Gráficos: Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) da pluviosidade (mm) por mês e por ano na sub-bacia 48 (1976-2015)



Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018); Org.: MENDES SILVA, M. (2019).

Anexo 10 – Gráficos: Média, desvio-padrão (intervalos máximo e mínimo) da pluviosidade (mm) por mês e por ano na sub-bacia 49 (1976-2015)



Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2018); Org.: MENDES SILVA, M. (2019).