



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



EDUARDO PETRUCCI



**ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E EVENTOS EXTREMOS
SECOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – BRASIL,
SÉRIE HISTÓRICA DE 1985 A 2018**

UBERLÂNDIA/MG
2022

EDUARDO PETRUCCI

***ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E EVENTOS EXTREMOS
SECOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – BRASIL, SÉRIE
HISTÓRICA DE 1985 A 2018***

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geografia.

Área de concentração: Geografia e Gestão do território.

Linha de pesquisa: Estudos ambientais e Geotecnologias

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio de Oliveira

UBERLÂNDIA/MG
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

P498a Petrucci, Eduardo, 1992-
2022 Análise espacial da precipitação pluvial e eventos extremos secos na
Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - Brasil, Série Histórica de
1985 a 2018 [recurso eletrônico] / Eduardo Petrucci. - 2022.

Orientador: Luiz Antônio de Oliveira.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Geografia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2022.5336>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Geografia. I. Oliveira, Luiz Antônio de., (Orient.). II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Glória Aparecida
Bibliotecária - CRB-6/2047



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 227, PPGEO				
Data:	30 de junho de 2022	Hora de início:	14h:00m	Hora de encerramento:	18h:00m
Matrícula do Discente:	11813GEO002				
Nome do Discente:	EDUARDO PETRUCCI				
Título do Trabalho:	ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E EVENTOS EXTREMOS SECOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO - BRASIL, SÉRIE HISTÓRICA 1985 A 2018.				
Área de concentração:	GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO				
Linha de pesquisa:	ANÁLISE, PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL/GEOPROCESSAMENTO				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se em modo remoto, plataforma ZOOM, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em **GEOGRAFIA**, assim composta: Professores Doutores: **Natacha Cíntia Regina Aleixo - UFAM - AM**; **Ranyere Silva Nobrega - UFCG - PB**; **Ednaldo Carvalho Guimarães - FAMAT/UFU**; **Claudionor Ribeiro da Silva - IG/UFU** e **Luiz Antônio de Oliveira - IG/UFU** orientador(a) do(a) candidato(a). Em função da Pandemia COVID-19, todos os membros participaram de forma on line.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). **Luiz Antônio de Oliveira - 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.

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.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Doutor**.

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 **Luiz Antonio de Oliveira, Usuário Externo**, em 05/07/2022, às 08:18, 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 **Natacha Cíntia Regina Aleixo, Usuário Externo**, em 05/07/2022, às 08:43, 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 **Ednaldo Carvalho Guimarães, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/07/2022, às 08:53, 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 05/07/2022, às 12:26, 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 **Ranyére Silva Nóbrega, Usuário Externo**, em 12/07/2022, às 09:11, 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 **3643084** e o código CRC **CBOF21F0**.

AGRADECIMENTOS

Eu não teria chegado até aqui se não tivessem passado pessoas maravilhosas na minha vida que me incentivassem a estudar, me dando apoio pessoal e profissional, ou me servissem como exemplo. Primeiramente, à minha família, minha mãe Célia, meu pai Darci e meu irmão Davi, muito obrigado por tudo, a minha vida e tudo que eu alcancei até hoje eu devo tudo a vocês. Eu os amo incondicionalmente.

Agradecimento especial ao meu orientador, professor doutor Luiz Antônio de Oliveira pela paciência e pelas maravilhosas reflexões que tivemos juntos, por todo apoio científico e emocional, esse trabalho não teria saído do projeto se não fosse por você. Ao Dr. Samuel Maciel, Me. Rafael Silva e Dra. Camila Carpenedo por todo apoio técnico e científico, todo meu agradecimento por dispor de seus tempos e trabalhos para me ajudar a elaborar e/ou entender os “mistérios” da climatologia, estatística e geoestatística.

A todos os meus amigos, em especial, José Rojas, Breno Rezende, Luiz Ricardo Soldi, Moisés Rodrigues, Frederico Tristão, Priscila Yoshida, Alan Assunção, Drieli Veloso, Alejandro Portillo, Daniel Flórez, Edwin Cardenas, Vinícius Bernardo, Camila Braga, Maria Fernanda Oliveira, André Guilherme, Carlos Medina, Ricardo Catta Preta, Vinícius Chiumento, Mayara Caetano, e todos os meus amigos virtuais, meus sinceros agradecimentos.

Aos amigos que a pós-graduação me proporcionou que, com certeza, eu vou levar para a vida, Georgia Teixeira, Francielle Castro, Aline Roldão, Patrícia Soares, Patrícia Santos, Thiago Rosa, muito obrigado pela companhia, pelos devaneios nos corredores e laboratórios, meus dias teriam sido enfadonhos e monótonos sem a presença de vocês.

A todos os profissionais do curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (PPGEO - UFU) pela competência e pelo trabalho que exercem para garantir um curso de excelência e referência nacional e internacional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro da pesquisa, através de bolsa de estudos.

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF) é uma das mais importantes bacias brasileiras, nela vivem mais de 20 milhões de pessoas em 508 municípios, distribuídos por oito unidades da federação, tendo o rio São Francisco, com aproximadamente 2.700 km, como sua drenagem principal. Para fins de planejamento, a BHSF é subdividida em quatro regiões fisiográficas, cada qual com suas peculiaridades socioeconômicas e naturais. O objetivo dessa tese é analisar o comportamento espacial da precipitação pluvial e dos eventos extremos de seca, na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Para isso, foram utilizados dados de precipitação mensal de 244 estações pluviométricas (211 no interior e 33 no entorno da bacia), provenientes do HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas (ANA), série histórica de 1985 a 2018. Para avaliar a dependência espacial da precipitação (semivariograma), bem como a estimativa de valores (Krigagem ordinária e respectiva validação cruzada) para os locais destituídos destes, foram aplicadas técnicas geoestatísticas, com respectiva remoção da tendência pela localização espacial. Pela estatística básica, foram calculadas as médias mensais de precipitação, bem como os totais anuais e médias anuais. Para análise das secas pluviométricas, foram calculados os Déficits Extremos de Precipitação (DEp) [por meio do Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas (IESP)], os Meses Secos (precipitação mensal < 1,0 mm); e os Desvios Negativos (DNs). Para a análise espacial da precipitação média anual, foi utilizado o software de QGIS; para a modelagem dos dados (geoestatística) foram utilizados os softwares AR2GEMS/SGeMS e GS+. Os modelos de semivariogramas produzidos foram o exponencial (precipitação média anual) e esférico (meses secos e desvios negativos) e, para a avaliação da krigagem, foi utilizada a validação cruzada. Como resultados, verificou-se que a precipitação média anual varia entre 1.703,5 mm e 273,0 mm, sendo maior na região ASF e menor no SMSF; com relação aos DEp, foram determinadas 258 ocorrências, sobretudo a partir de 2015, tendo os anos de 2017 e 2018 concentrando 83,3% do total das secas pluviométricas. O maior número de ocorrências mensais e a maior sequência de meses consecutivos de secas ocorreu na mesorregião do ASF. Com relação aos Meses Secos, não houve padrão definido de quantidades anuais, sendo os anos mais recorrentes: 2007, 2017 e 2011, com 1.779, 1.679 e 1.564 meses secos, respectivamente. A maior quantidade (106 meses) e a maior sequência consecutiva (9 meses) foram registradas no SMSF. Com relação aos DNs, a maior quantidade de ocorrências foi de 96 meses, em múltiplas estações (40), nas regiões do ASF, SMSF e BSF. A maior sequência de meses consecutivos ocorreu no SMSF, no total de 16 meses, tendo sido o anos de 2014 o mais recorrente. De maneira geral, durante a década de 2010 houve grande variação da precipitação anual, com alternância entre anos chuvosos com anos extremamente secos, o que foi revelado quando da aplicação dos métodos de verificação das secas, que concentrou maior parte das ocorrências de secas pluviométricas, em comparação com décadas anteriores.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia hidrográfica; São Francisco; Precipitação Pluvial; Secas Pluviométricas; Krigagem.

ABSTRACT

The São Francisco River Basin (SFRB) is one of the most important Brazilian basins, where more than 20 million people live in 508 municipalities, spread over eight federation units, of whom São Francisco River, with approximately 2,700 km, as its main drainage. For planning purposes, the SFRB is subdivided into four physiographic regions, each one with socioeconomic and natural peculiarities. The objective of this thesis is to analyze the spatial behavior of rainfall and extreme drought events in the SFRB. To do so, rainfall data from 244 rainfall stations (211 in the interior and 33 around the basin) were used monthly from HIDROWEB and the National Water Agency (ANA), concerning historical series from 1985 to 2018. In order to evaluate the spatial dependence of precipitation (semivariogram) as well as the estimation of values (Ordinary Kriging and respective cross-validation) for the places devoid of these, geostatistical techniques were applied with respective removal of trend by spatial location. Through basic statistics, monthly averages of precipitation were used, and annuals totals and annual averages as well. For the analysis of droughts, the Extreme Precipitation Deficits (DEp) were calculated [using the Standardized Index of Rainfall Droughts (IESP)], the Dry Months (monthly rainfall < 1.0 mm); and the Negative Deviations (NDs). For the spatial analysis of the annual average precipitation, the QGIS software was used; for data modeling (geostatistics) AR2GEMS/SGeMS and GS+ software was used. The semivariogram models produced were exponential (annual average precipitation) and spherical (dry months and negative deviations) and, for the kriging evaluation, cross-validation was used. As a result, it was verified that the annual precipitation varies between 1,703.5 mm and 273,0 mm, being higher in the ASF region and lower in the SMSF. Regarding the DEp, 258 occurrences were determined, mainly from 2015 onwards, with the years 2017 and 2018 concentrating 83.3% of rainfall droughts. The higher number of monthly occurrences and the longest sequence of consecutive months of droughts occurred in the ASF mesoregion. In respect to the Dry Months, there was no defined patten of annual quantities, with the most recurrent years being: 2007, 2017 and 2011, with 1,779, 1,679 and 1,564 dry months, respectively. The largest amount (106 months) and the longest consecutive sequence (9 months) was recorded in the SMSF. In relation to DNs, the highest number of occurrences was 96 months in multiple stations (40), in the ASF, SMSF and BSF regions. The longest sequence of consecutive months occurred in SMSF, totaling 16 months, with 2014 being the most recurrent. Overall, during the 2010s, there was a great variation of annual precipitation, alternating between rainy years and extremely dry years, which was revealed when drought verification methods were applied, which concentrated most of the occurrences of pluviometrical droughts, compared to previous decades.

KEYWORDS: Hydrographic Basin; San Francisco; Rainfall; Rainfall Droughts; Kriging.

RESUMEN

La cuenca hidrográfica del río São Francisco (BHSF) es una de las más importantes cuencas brasileñas, donde viven aproximadamente 20 millones de personas en 508 municipios, repartidas en ocho unidades de la federación, siendo el río São Francisco, con aproximadamente 2.700 km, como su drenaje principal. Con fines de planeamiento, la BHSF es subdividida en cuatro regiones fisiográficas, cada cual con sus peculiaridades socioeconómicas y naturales. El objetivo de esta tesis es analizar el comportamiento espacial de la precipitación pluvial y de los eventos extremos de sequía, en la cuenca hidrográfica del río São Francisco. Para eso, fueron utilizados datos de precipitación mensual de 244 estaciones pluviales (211 en el interior y 33 alrededor), provenientes del HIDROWEB, de la Agencia Nacional de Aguas (ANA), serie histórica de 1985 a 2018. Para evaluar la dependencia espacial de la precipitación (semivariograma), bien como la estimativa de valores (Krigagem Ordinaria y su evaluación cruzada) para lugares con carencia de estos, fueron aplicadas técnicas geoestadísticas, con respectiva remoción de la tendencia por ubicación espacial. Por la estadística básica, fueron calculadas las medias mensuales de precipitación, bien como los totales anuales y medias anuales. Para análisis de las sequías pluviométricas, fueron calculados los Déficits Extremos de Precipitación (DEp) [a través del Índice Estandarizado de Sequías Pluviométricas (IESP)], los Meses Secos (precipitación mensual $< 1,0$ mm); las Desviaciones Negativas (DNs). Para el análisis espacial de la precipitación media mensual, fue utilizado el software QGIS; para el modelaje de los datos (geoestadística) fueron utilizados los softwares AR2GEMS/SGeMS y GS+. Los modelos de semivariograma producidos fueron el exponencial (precipitación media mensual) y esférico (meses secos y desviaciones negativas) y, para la evaluación de la krigagem, fue utilizada la validación cruzada. Como resultados, se encontró que la precipitación media anual varía entre 1.703,5 mm y 273,0 mm, siendo mayor en la región ASF y menor en la SMSF; en cuanto la DEp, se determinaron 258 ocurrencias, principalmente a partir del año 2015, concentrando en los años 2017 y 2018, 83,3% del total de sequías pluviales. El mayor número de ocurrencias mensuales y la secuencia más larga de meses consecutivos de sequía ocurrieron en la mesorregión ASF. En cuanto a los Meses Secos, no hubo un patrón definido de cantidades anuales, siendo los años más recurrentes: 2007, 2017 y 2011, con 1.779, 1.679 y 1.564 meses secos, respectivamente. La mayor cantidad (106 meses) y la secuencia más larga (9 meses) se registraron en el SMSF. En cuanto a los DN, el mayor número de ocurrencias fue de 96 meses, en estaciones múltiples (40), en las regiones ASF, SMSF y BSF. La secuencia más larga de meses consecutivos ocurrió en SMSF, totalizando 16 meses, siendo 2014 el más recurrente. En general, durante la década de 2010 hubo una gran variación en la precipitación anual, alternando entre años lluviosos y extremadamente secos, lo que se puso de manifiesto al aplicar los métodos de verificación de sequías, que concentraron la mayor parte de las ocurrencias de sequías pluviométricas, en comparación con décadas anteriores.

PALABRAS-CLAVE: Cuenca hidrográfica; São Francisco; Precipitación Pluvial; Sequías Pluviométricas; Krigagem.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
AS	América do Sul
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASF	Alto São Francisco
BHSF	Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
BSF	Baixo São Francisco
CBHSF	Comitê da Bacia do Rio São Francisco
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CV	Coefficiente de Variação
DEp	Déficit Extremo de Precipitação
DMp	Desvio Moderado de Precipitação
DSp	Desvio Severo de Precipitação
DN	Desvio Negativo
EAM	Erro Absoluto Médio
EEp	Excedente Extremo de Precipitação
EMp	Excedente Moderado de Precipitação
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EPM	Erro Percentual Médio
ESp	Excedente Severo de precipitação
FA	Função Aleatória
GS+ Win	Gamma Design Geostatistics
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverse Distance Weighting (Inverso do Quadrado das Distâncias)
IESP	Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MMQ	Mínimos Quadrados
MSF	Médio São Francisco
N	Norte
NC	Normais Climatológicas
NE	Nordeste
NEB	Nordeste brasileiro
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OMM	Organização Meteorológica Mundial
POAs	Perturbações Ondulatórias no Campo dos Alísios
QGIS	Quantum Gis
REQM	Raiz do Erro Quadrático Médio

S	Sul
SGeMS/AR2GeMS	Stanford Geostatistical Modeling Software
SMSF	Submédio São Francisco
VA	Variável Aleatória
VR	Variável Regionalizada
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco com destaque para a rede hidrográfica do rio São Francisco	36
Figura 2 - Mapa das regiões Fisiográficas da bacia hidrográfica do rio São Francisco	40
Figura 3 - Precipitação anual máxima, mínima e média entre as regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018).....	42
Figura 4 - Precipitação média mensal entre as regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018).....	43
Figura 5 – Posição média sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), nos meses de janeiro e julho	46
Figura 6 - Distribuição zonal idealizada da pressão atmosférica e das células de circulação geral da atmosfera.....	47
Figura 7 - Esquema da Célula de Walker em condições normais (anos neutros)	48
Figura 8 - Célula de Walker na fase negativa, caracterizando ocorrência de El Niño	49
Figura 9 - Célula de Walker na fase positiva, caracterizando ocorrência de La Niña	50
Figura 10 – Carta sinótica de superfície das 12 UTC do dia 28/05/2020, com destaque (círculo em vermelho) para Frente Subtropical atuando sobre a porção leste do NEB	54
Figura 11 – Efeitos globais das ocorrências de El Niño para o verão austral, com destaque para a região N/NE do Brasil.....	60
Figura 12 – Efeitos globais das ocorrências de La Niña para o verão austral, com destaque para a região N/NE do Brasil.....	61
Figura 13 – Componentes de busca do semivariograma	76
Figura 14 - Parâmetros de um Variograma Experimental $\gamma^*(h)$	77
Figura 15 - Representação gráfica dos modelos de semivariogramas.....	79
Figura 16 - Mapa de localização das estações pluviométricas dentro e no entorno à bacia hidrográfica do rio São Francisco, Brasil, período de dados de 1985 a 2018	94
Figura 17 - Mapa de localização das estações pluviométricas dentro e no entorno à bacia hidrográfica do rio São Francisco, Brasil, período de dados de 2003 a 2018	96
Figura 18 – Fluxograma do modelo de processamento SIG do primeiro bloco.....	111
Figura 19 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do segundo bloco.....	111
Figura 20 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do terceiro bloco.....	112
Figura 21 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do quarto bloco	112
Figura 22 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do quinto bloco	113
Figura 23 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do sexto bloco.....	114
Figura 24 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do sétimo bloco	114
Figura 25 – Fluxograma do modelo de processamento SIG do oitavo bloco	115
Figura 26 - Gráfico de distribuição de frequências (histograma) com ajuste à Distribuição Normal da precipitação média anual da BHSF (1985-2018)	121
Figura 27 – Gráfico de probabilidade da precipitação média anual da bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018), com normal (Kolmogorov-Smirnov)	121
Figura 28 – Histograma dos Coeficientes de Variação da precipitação média anual na BHSF (1985 a 2018).....	123

Figura 29 - Coeficiente de Variação por região fisiográfica na bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985 - 2018).....	125
Figura 30 - Histograma dos valores de IESP em dados de precipitação mensal na bacia do rio São Francisco (1985-2018).....	127
Figura 31 - Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por década na BHSF (1985-2018).....	130
Figura 32 - Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por ano na BHSF (1985-2018).....	130
Figura 33 - Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por mês na BHSF (1985-2018)	131
Figura 34 - Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por Região Fisiográfica da BHSF (1985-2018)	132
Figura 35 - Histograma das quantidades de Meses Secos na bacia do rio São Francisco (1985-2018).....	134
Figura 36 – Quantitativo das ocorrências de meses secos por ano para todas as 190 estações pluviométricas na BHSF (1985-2018).....	136
Figura 37 - Maiores extensões anuais de período seco na BHSF (1985-2018).....	136
Figura 38 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica ASF (1985-2018) - parte I..	137
Figura 39 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica ASF (1985-2018) - parte II	138
Figura 40 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica MSF (1985-2018) – parte I	139
Figura 41 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica MSF (1985-2018) – parte II	139
Figura 42 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica SMSF (1985-2018).....	140
Figura 43 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica BSF (1985-2018).....	141
Figura 44 - Gráfico de distribuição de frequências (histograma) com ajuste à Distribuição Normal da precipitação média anual da BHSF (2003-2018)	143
Figura 45 - Gráfico de probabilidade da precipitação média anual da bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018), com normal (Kolmogorov-Smirnov)	143
Figura 46 - Precipitação anual máxima, mínima e média entre as regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018).....	144
Figura 47 - Precipitação média mensal entre as regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)	146
Figura 48 – Comparação entre as séries históricas de precipitação média anual observada, prevista por regressão (sem tendência) e resíduos de estimativa na BHSF (2003-2018).....	150
Figura 49 - Semivariograma experimental dos resíduos da precipitação média anual na BHSF, de 2003 a 2018.....	151
Figura 50 - Mapa dos resíduos da precipitação média anual da BHSF, período entre 2003 e 2018	153
Figura 51 - Gráfico de dispersão entre os dados reais e estimados dos resíduos da precipitação média anual na BHSF, período de 2003 a 2018	154
Figura 52 - Mapa da precipitação média anual da BHSF, período de 2003 a 2018.....	156
Figura 53 - Histograma dos Coeficientes de Variação da precipitação média anual na BHSF (2003 a 2018).....	158
Figura 54 - Coeficiente de Variação por região fisiográfica na bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003 - 2018).....	159

Figura 55 – Histograma dos valores de IESP em dados de precipitação mensal na bacia do rio São Francisco (2003-2018).....	161
Figura 56 – Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (Dep) por década na BHSF (2003-2018).....	164
Figura 57 - Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por ano na BHSF (2003-2018).....	164
Figura 58 - Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por mês na BHSF (2003-2018)	166
Figura 59 - Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por Região Fisiográfica da BHSF (2003-2018)	166
Figura 60 – Histograma da quantidade de Meses Secos na BHSF, período compreendido entre 2003 e 2018	168
Figura 61 - Ocorrências de meses secos por ano na BHSF (2003-2018).....	170
Figura 62 - Maiores extensões anuais de período seco na BHSF (2003-2018).....	170
Figura 63 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica ASF (2003-2018) - parte I..	171
Figura 64 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica ASF (2003-2018) - parte II	172
Figura 65 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica MSF (2003-2018) – parte I	173
Figura 66 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica MSF (2003-2018) – parte II	173
Figura 67 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica SMSF (2003-2018).....	174
Figura 68 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica BSF (2003-2018).....	175
Figura 69 - Semivariograma experimental dos meses secos na BHSF, de 2003 a 2018.....	176
Figura 70 – Mapa da quantidade dos meses secos na BHSF, período de 2003 a 2018.....	178
Figura 71 - Gráfico de dispersão entre os dados reais e estimados dos meses secos na BHSF, período de 2003 a 2018	179
Figura 72 - Histograma da quantidade de ocorrências de Desvios Negativos na BHSF, no período entre 2003 e 2018	183
Figura 73 - Ocorrências de desvios negativos por ano na BHSF (2003-2018).....	184
Figura 74 - Maiores extensões anuais de desvios negativos na BHSF (2003-2018).....	185
Figura 75 - Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica ASF (2003-2018) - parte I.....	186
Figura 76 - Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica ASF (2003-2018) - parte II.....	187
Figura 77 - Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica MSF (2003-2018) - parte I.....	188
Figura 78 - Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica MSF (2003-2018) - parte II.....	188
Figura 79 - Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica SMSF (2003-2018)	190
Figura 80 – Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica BSF (2003-2018).....	191
Figura 81 - Semivariograma experimental dos desvios negativos de precipitação na BHSF, de 2003 a 2018	192
Figura 82 - Mapa da ocorrência dos desvios negativos de precipitação na BHSF, período de 2003 a 2018	194

Figura 83 - Gráfico de dispersão entre os dados reais e estimados dos desvios negativos de precipitação na BHSF, período de 2003 a 2018 195

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sumário das características físicas das regiões fisiográficas da bacia do rio São Francisco.....	40
Quadro 2 - Síntese dos Sistemas Atmosféricos que condicionam os tipos climáticos na bacia do rio São Francisco	61
Quadro 3 - Vantagens e Desvantagens da utilização do método da krigagem para estimação de dados.....	84
Quadro 4 - Simbologia do fluxograma.....	110
Quadro 5 - Classificação dos eventos de Seca com base no Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas (IESP)	117
Quadro 6 - Sumário dos preenchimentos de falha, com destaque para as estações pluviométricas, equações da reta e coeficientes de determinação (r^2) e correlação (r)	119
Quadro 7 – Sumário das estações pluviométricas no interior da bacia do Rio São Francisco (série temporal de 1985-2018).....	218
Quadro 8 - Sumário das estações pluviométricas no entorno da bacia do Rio São Francisco (série temporal de 1985-2018).....	223
Quadro 9 - Sumário das estações pluviométricas extras no interior da bacia do Rio São Francisco (série temporal de 2003-2018)	224
Quadro 10 - Sumário das estações pluviométricas no entorno da bacia do Rio São Francisco (série temporal de 2003-2018).....	225
Quadro 11 – Sumário das ocorrências do Déficit Extremo de Precipitação (DEp) na BHSF, referente às quantidades mensais, maiores durações, recorde por estação e respectivos períodos de ocorrência (1985-2018).....	229
Quadro 12 – Sumário das ocorrências do Déficit Extremo de Precipitação (Dep) na BHSF, referente às quantidades mensais, maiores durações, recorde por estação e respectivos períodos de ocorrência (2003-2018).....	254
Quadro 13 - Sumário da quantidade dos meses secos e as maiores sequências de meses secos na bacia do rio São Francisco (2003-2018)	259
Quadro 14 - Sumário da quantidade dos desvios negativos, as maiores sequências de desvios negativos e os períodos de ocorrência na bacia do rio São Francisco (2003-2018).....	266

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de municípios e porcentagem de ocupação da bacia hidrográfica do rio São Francisco por Unidades da Federação	37
Tabela 2 - Precipitação anual entre as regiões fisiográficas da BHSF (1985-2018)	41
Tabela 3 - Precipitação média mensal e respectivas porcentagens entre as regiões fisiográficas na bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)	42
Tabela 4 – Estatística básica dos dados de precipitação anual na bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018).....	120
Tabela 5 – Distribuição de Frequências dos Coeficientes de Variação da precipitação média anual na BHSF (1985 a 2018)	123
Tabela 6 - Coeficiente de Variação (CV) por Região Fisiográfica na BHSF (1985-2018)...	124
Tabela 7 - Distribuição de Frequências dos valores de IESP em dados de precipitação mensal na bacia do rio São Francisco (1985-2018).....	127
Tabela 8 - Distribuição de frequências das quantidades de Meses Secos na bacia do rio São Francisco (1985-2018).....	134
Tabela 9 - Estatística básica dos dados de precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)	142
Tabela 10 - Precipitação anual entre as regiões fisiográficas da BHSF (2003-2018)	144
Tabela 11 - Precipitação média mensal e respectivas porcentagens entre as regiões fisiográficas na bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)	145
Tabela 12 - Variação percentual na precipitação média mensal de 2003 a 2018 em comparação a 1985-2018	147
Tabela 13 - Resultados dos ajustes de tendência das equações polinomiais para a precipitação média anual (mm) das 245 estações pluviométricas da BHSF, período de 2003 a 2018	149
Tabela 14 - Parâmetros de configuração do semivariograma experimental dos resíduos da precipitação média anual da BHSF de 2003 a 2018.....	151
Tabela 15 - Característica dos LAG utilizados para a construção do semivariograma teórico dos resíduos da precipitação média anual na BHSF, de 2003 a 2018	152
Tabela 16 – Sumário dos resíduos da precipitação média anual na BHSF, de 2003 a 2018.	154
Tabela 17 - Distribuição de Frequências dos Coeficientes de Variação da precipitação média anual na BHSF (2003 a 2018)	157
Tabela 18 - Coeficiente de Variação por Região Fisiográfica na BHSF (2003-2018).....	158
Tabela 19 - Distribuição de Frequências dos valores de IESP em dados de precipitação mensal na bacia do rio São Francisco (2003-2018).....	160
Tabela 20 – Distribuição de frequência para as quantidades de Meses Secos na BHSF, entre 2003 e 2018	168
Tabela 21 - Parâmetros de configuração do semivariograma experimental dos meses secos na BHSF de 2003 a 2018.....	176
Tabela 22 - Característica dos LAG utilizados para a construção do semivariograma teórico dos meses secos na BHSF, de 2003 a 2018.....	177
Tabela 23 - Resíduos dos Meses secos na BHSF, de 2003 a 2018.....	179
Tabela 24 - Distribuição de frequências para as ocorrências de Desvios Negativos (DNs) na BHSF, de 2003 a 2018.....	182

Tabela 25 - Parâmetros de configuração do semivariograma experimental dos meses secos na BHSF de 2003 a 2018.....	192
Tabela 26 - Característica dos LAG utilizados para a construção do semivariograma teórico dos desvios negativos de precipitação na BHSF, de 2003 a 2018.....	193
Tabela 27 - Resíduos dos desvios negativos de precipitação na BHSF, de 2003 a 2018.....	195
Tabela 28 - Coeficientes de Variação (CV) das estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)	227
Tabela 29 - Sumário da quantidade dos meses secos e as maiores sequências de meses secos na bacia do rio São Francisco (1985-2018).....	235
Tabela 30 - Precipitação média anual (mm) para todos os 508 municípios no interior da bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003 e 2018)	239
Tabela 31 - Coeficientes de Variação (CV) das estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)	251

LISTA DE EQUAÇÕES

(Equação 1).....	64
(Equação 2).....	64
(Equação 3).....	70
(Equação 4).....	71
(Equação 5).....	71
(Equação 6).....	71
(Equação 7).....	72
(Equação 8).....	72
(Equação 9).....	72
(Equação 10).....	72
(Equação 11).....	72
(Equação 12).....	73
(Equação 13).....	73
(Equação 14).....	74
(Equação 15).....	74
(Equação 16).....	79
(Equação 17).....	79
(Equação 18).....	80
(Equação 19).....	80
(Equação 20).....	81
(Equação 21).....	81
(Equação 22).....	82
(Equação 23).....	86
(Equação 24).....	97
(Equação 25).....	98
(Equação 26).....	98
(Equação 27).....	98
(Equação 28).....	98
(Equação 29).....	98
(Equação 30).....	98
(Equação 31).....	99
(Equação 32).....	99

(Equação 33).....	99
(Equação 34).....	100
(Equação 35).....	100
(Equação 36).....	101
(Equação 37).....	102
(Equação 38).....	102
(Equação 39).....	102
(Equação 40).....	103
(Equação 41).....	103
(Equação 42).....	104
(Equação 43).....	107
(Equação 44).....	107
(Equação 45).....	107
(Equação 46).....	108
(Equação 47).....	108
(Equação 48).....	108
(Equação 49).....	108
(Equação 50).....	109
(Equação 51).....	109
(Equação 52).....	109
(Equação 53).....	115
(Equação 54).....	116
(Equação 55).....	116
(Equação 56).....	122
(Equação 57).....	149
(Equação 58).....	151
(Equação 59).....	176
(Equação 60).....	193

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1. Justificativa	32
1.2. Objetivos.....	34
2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO	36
2.1. Localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco/BR.....	36
2.2. Pluviosidade na bacia hidrográfica do rio São Francisco/BR	41
3. SISTEMAS CLIMÁTICOS	45
3.1. Sistemas atmosféricos de grande escala.....	45
3.2. Climas da bacia hidrográfica do São Francisco	50
3.2.1. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	51
3.2.2. Frentes Frias	53
3.2.3. Ventos Alísios	55
3.2.4. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	56
3.2.5. Convecções Locais	58
4. PROCESSOS ESTATÍSTICOS E GEOESTATÍSTICOS.....	63
4.1. Geoestatística	65
4.2. Interpolação.....	66
4.3. Estacionariedade.....	68
4.3.1. Estacionariedade de 1ª ordem (Estritamente Estacionária)	70
4.3.2. Estacionariedade de 2ª ordem.....	71
4.3.3. Hipótese Intrínseca	73
4.4. Semivariograma.....	75
4.5. Krigagem	81
4.5.1. Krigagem Ordinária	85
4.6. Erros de estimativas (resíduos).....	86
4.7. Índices de Seca	87
5. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	93
5.1. Estações Pluviométricas	93
5.2. Hipótese da Estacionariedade	97
5.3. Tendência	101
5.4. Semivariogramas	102
5.5. Acurácia: validação cruzada	106
5.6. Etapas da Krigagem	106
5.7. Processamento SIG	109

5.7.1.	Mapas de estimativas dos resíduos da precipitação média anual e precipitação média anual restituída, período entre 2003 e 2018.....	111
5.7.2.	Mapas de estimativas da quantidade de Meses Secos, período entre 2003 e 2018	113
5.7.3.	Mapas de estimativas da quantidade de Desvios Negativos (DNs) de precipitação, período entre 2003 e 2018.....	114
5.8.	Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas (IESP)	115
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	118
6.1.	Tratamento dos dados e correção das falhas.....	118
6.2.	Coeficiente de Variação (CV) – período 1985 a 2018	122
6.3.	Déficits Extremos de Precipitação (DEp) – período 1985 a 2018	126
6.4.	Meses Secos – período de 1985 a 2018.....	133
6.5.	Pluviosidade da bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)	141
6.5.1.	Espacialização da precipitação média anual (2003-2018).....	148
6.6.	Coeficiente de Variação (CV) – período 2003 a 2018	157
6.7.	Déficits Extremos de Precipitação (DEp) – período 2003 a 2018	160
6.8.	Meses Secos – período de 2003 a 2018.....	167
6.8.1.	Espacialização dos Meses Secos (2003-2018)	175
6.9.	Desvios Negativos de Precipitação (DNs).....	181
6.9.1.	Espacialização dos Desvios Negativos de Precipitação (DNs)	192
7.	CONCLUSÃO	198
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	201
9.	REFERÊNCIAS	205
10.	ANEXOS	218

1. INTRODUÇÃO

O clima é resultante das relações estabelecidas entre os sistemas atmosféricos e os fatores locais e regionais, que redistribuem os elementos (temperatura, umidade e pressão, p. e), caracterizando assim os tipos climáticos das regiões (AYOADE, 2006). Os processos climáticos realizam-se simultaneamente, como partes de um sistema dinâmico, que consiste na entrada e transformação de energia oriundas do nível astronômico (macroescala) até o nível humano (microescala) (RIBEIRO, 1993). As características dos processos podem ser mensuráveis em diferentes escalas no espaço e no tempo, como por exemplo, os sistemas atmosféricos que atuam em uma determinada região por um período, mudando as condições climáticas anterior à sua passagem.

As interações entre os sistemas ambientais ao longo da história da Terra favoreceram muitos períodos de instabilidade e mudanças climáticas, promovendo extinções em massa e favorecimento de espécies em detrimento de outras. Nos últimos milhares de anos, tem-se verificado um período interglacial, caracterizado por equilíbrio climático, que é primordial ao desenvolvimento da diversidade biológica, bem como da evolução humana ao status de espécie dominante. Essa condição, permitiu ao homem estabelecer uma relação de apropriação da natureza, com intensa exploração de recursos e energia, essenciais ao desenvolvimento das atividades antrópicas, exercendo pressão sobre o ambiente, quebrando o equilíbrio da dinâmica natural que ora regula os processos. Desde o período pós-Revolução Industrial, o ser humano tem lançado grandes quantidade de gases nocivos na atmosfera, e isso tem contribuído negativamente na dinâmica climática global, provocado aquecimento da atmosfera e dos oceanos, acelerando o processo denominado como Aquecimento Global. Esse aquecimento gradativo tem como uma de suas consequências uma maior frequência de ocorrência de Eventos Climáticos Extremos (ECE), como apontado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change*

(IPCC), sobretudo nas últimas décadas IPCC (2001, 2007, 2014 e 2021). Dentre os ECE, destacam-se ocorrências de excessos ou déficits de precipitação, incêndios, geadas, ondas de calor/frio, ciclones etc. (DIAS E SILVA, 2009).

Assim, torna-se relevante conhecer o regime climático de uma região, entender como ocorre a atuação dos sistemas atmosféricos que geram os diferentes tipos de tempo (normais ou excepcionais), bem como analisar as frequências dos eventos extremos e sua evolução no tempo. Os resultados dessas análises são de grande valia para embasar a gestão dos impactos e dos riscos aos ecossistemas e às populações humanas, bem como suas atividades.

Análises em climatologia requerem, preferencialmente, a disposição de um banco de dados contendo séries temporais de variáveis meteorológicas por um período de décadas (30 anos), às quais se aplicam técnicas e podendo ser realizadas inferências estatísticas. Além disso, muitas vezes, nem sempre há disponibilidade de séries temporais com dados consistentes ou que satisfaçam as hipóteses supracitadas e, isso acaba sendo barreira no desenvolvimento de estudos e análises dos fenômenos climáticos em determinadas localidades ou regiões.

A carência de dados muitas vezes induz os pesquisadores a transpor dados de uma região para outra sem levar em conta as características dessas regiões ou dos dados analisados. Isso se torna um problema pois, pode gerar conclusões precipitadas ou equivocadas que acarretem erros grosseiros de estimativas, provocando inconsistências de informações ou não representando a realidade daquela região (ANDRIOTTI, 1989; YAMAMOTO E LANDIM, 2013). Assim, pode-se formar um conglomerado de erros cumulativos pois, os trabalhos são utilizados para a tomada de decisão ou aproveitados para estudos e análises posteriores. Devido a isso, deve-se ter muita cautela quanto ao processamento estatístico dos dados.

A maioria dos fenômenos ambientais, por exemplo a precipitação, admite um padrão de ocorrência ou uma estruturação espacial, com relações com áreas próximas e, podem ser capturados pela aplicação de métodos geoestatísticos (SIQUEIRA, ALVES E GUIMARÃES,

2007). Assim, considera-se que esses padrões possuem interdependência espacial, de modo que, amostras próximas tem maior probabilidade de possuírem valores parecidos (CLARK, 1979). Os métodos geoestatísticos fornecem um conjunto de ferramentas para entender a uma aparente aleatoriedade dos dados, e possibilitam realizar previsões e estimar valores para localidades desprovidas de dados.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF) é uma das maiores bacias brasileiras, com mais de 658 mil km², correspondendo a cerca de 8% do território nacional. A extensão do curso principal é de aproximadamente 2.700 km e percorre diversas regiões brasileiras, abrangendo sete unidades da federação (Alagoas, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Pernambuco, Sergipe e Distrito Federal) do Centro-Oeste, do Nordeste e do Sudeste (CBHSF, 2020).

Sob o ponto de vista climático, a BHSF verifica diferentes tipos climáticos, desde climas úmidos até semiáridos. O regime de precipitação é marcado de norte a sul, com maior pluviosidade na região próxima à nascente (sul), reduzindo bruscamente na porção norte, onde é identificado clima seco e, na região da foz do rio São Francisco (à nordeste, no Oceano Atlântico), a precipitação anual é elevada e bem distribuída ao longo do ano devido a possuir clima litorâneo (MOLION E BERNARDO, 2002). A temperatura é o elemento de menor variabilidade ao longo do ano nessas localidades, pois alongam-se sobre a faixa intertropical do planeta e a incidência de radiação é elevada durante esse período. Ambos os elementos, a precipitação e a temperatura são fundamentais para as caracterizações dos tipos de climas.

A fim de planejamento, a referida bacia é dividida em 4 regiões fisiográficas, com diferentes características ambientais (NEMUS, 2015), são elas: Alto São Francisco (ASF) a sul, região onde é encontrada a nascente do rio São Francisco e percebe os maiores totais pluviométricos anuais de toda bacia, localizada inteiramente em Minas Gerais; Médio São Francisco (MSF) na porção central da bacia, é a maior das regiões fisiográficas, representando mais de 60% da área total da bacia, englobando o norte de Minas Gerais e centro-sul da Bahia;

Submédio São Francisco (SMSF) a norte, abrangendo partes a oeste de Pernambuco e norte da Bahia, onde são verificados os menores volumes pluviométricos anuais e elevadas temperaturas, configurando assim climas árido/semiárido; e, Baixo São Francisco (BSF) a nordeste, englobando os estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe onde a precipitação é elevada e regida por sistemas atmosféricos úmidos provenientes das regiões equatoriais úmidas.

Seca ou estiagem são condições de déficit ou ausência de chuvas em uma determinada região durante um certo período. Entretanto, em conformidade com Wilhite e Glantz (1985), Mckee, Doesken e Kleist (1993) e Blain (2005), o fenômeno das secas não é fácil de se conceituar pois, diversas vertentes das ciências veem a seca por uma ótica conceitual-metodológica. Mckee, Doesken e Kleist (1993) aponta a dificuldade de determinar a extensão (início e término) das secas e os déficits cumulativos da precipitação incidente, além da conexão entre os déficits de precipitação e a disponibilidade hídrica. Wilhite e Glantz (1985) ressaltam que as causas das secas não devem ser dissociadas dos efeitos sociais, econômicos e ambientais.

Apesar de problemas em determinar um conceito de seca universal, que consiga ser capaz de abranger todas as regiões geográficas, os climas, as populações e os efeitos nas sociedades, será considerada a conceituação de seca descrita em Brasil (2014): “Os eventos de seca e estiagem caracterizam-se por períodos prolongados de baixa ou ausência de chuvas durante tempo suficiente, em determinada região, para que a falta de precipitação provoque grave desequilíbrio hidrológico” (p. 59).

Quando há um déficit nas precipitações, há maior pressão sobre os recursos hídricos, que podem agravar o quadro natural da deficiência hídrica nos reservatórios e nas vazões dos rios. “A Seca é um termo relativo, portanto qualquer discussão em termos de déficit de precipitação deve se referir às condições particulares relacionadas à quantidade de precipitação, ao período e à região de análise” (BRASIL, 2017, p. 33-34).

A American Meteorological Society (AMS, 2003) discretiza as secas em quatro principais grupos: a seca meteorológica ou climatológica, seca agrícola, seca hidrológica e seca socioeconômica. A seca meteorológica ou climatológica consiste na magnitude de um déficit de precipitação e a permanência desse evento de déficit. Ocorre uma variação negativa em torno da normal climatológica (NC) de precipitação, não necessariamente a ausência de chuvas.

A seca agrícola ocorre devido à falta de chuvas, comprometendo o sistema de produção agrícola e, quando os períodos secos permanecem por longos períodos, interferindo negativamente na infiltração e abastecimento dos reservatórios de águas subterrâneas e/ou superficiais e na vazão dos rios, caracteriza-se como secas hidrológicas. A seca socioeconômica está ligada com a oferta e demanda de algum bem com valor econômico ou serviços, em relação com elementos das secas meteorológica, agrícola e hídrica.

As secas podem ocorrer tanto em climas úmidos quanto climas secos, sendo um fato recorrente na referida bacia e, registros das suas ocorrências remontam ao período da colonização (CAMPOS, 1997, CAMPOS E STUDART, 2001). Um dos principais fatores para o entendimento sobre as ocorrência do fenômeno das secas na região nordeste do Brasil, por conseguinte, na bacia do rio São Francisco é a diferença entre a precipitação observada e a evapotranspiração (SILVA ET AL., 2002; ASSIS, SOUZA E SOBRAL, 2015). Como a evapotranspiração é elevada o ano todo e a precipitação é concentrada em poucos meses (na porção sul, entre os meses de novembro a março e, na porção noroeste, concentrada entre os meses de março a julho), episódios de secas são muito recorrentes na BHSF, e são relatados esses fenômenos desde o período colonial (SILVA ET AL., 2017), entretanto, há muitas outras variáveis que contribuem para essa condição.

Sobre a região semiárida brasileira, Molion e Bernardo (2002) apontam que as secas ocorrem devido a processos de inibição da convecção e, conseqüentemente, da formação das chuvas. Outros fatores naturais também são estudados por Nobre (1994), Molion e Bernardo

(2002), Kayano e Andreoli (2009), Silva et al. (2010), Silva, Galvêncio e Nóbrega (2011), Costa (2012), Degola (2013), Reboita et al. (2016), Silva e Carpenedo (2018) e Santos, et al. (2019) que, em suas pesquisas apontam anomalias associadas a circulações de meso e grandes escala que influenciam negativamente a precipitação na região Nordeste e a BHSF, tais como: o ENOS (El Niño e La Niña); Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); Células de Hadley e Walker; Temperatura da Superfície do Mar (Atlântico e Pacífico); Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e, Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Apesar de a ocorrência das secas não ser específica de regiões áridas/semiáridas, o entendimento sobre esses eventos no norte da BHSF são relevantes, visto que é uma das regiões semiáridas mais populosa do mundo, com cerca de 27 milhões de habitantes convivendo com essa adversidade climática, desse total, aproximadamente 2,4 milhões de pessoas vive na região semiárida no interior da referida bacia, que representa 11,8% da população da bacia (NEMUS, 2015; IBGE, 2020). A Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) aponta que metade dos países do mundo possuem regiões desérticas, áridas ou semiáridas (1977).

Concernente às regiões áridas ou semiáridas, a distribuição geográfica no mundo dessas apresentam um padrão de distribuição, sendo as que ocorrem em baixas latitudes (regiões tropicais) tanto no hemisfério sul quanto no hemisfério norte são: nordeste do Brasil; porção sul do deserto do Saara; grande semiárido englobando a Tanzânia, Quênia, Somália e Etiópia; península arábica; porção centro-sul da Índia; leste da Bolívia e Equador; centro-norte da Austrália, entre outros.

Groove et al. (1977) explica que as regiões semiáridas em baixa latitudes no mundo estão associadas à sistemas da alta pressão, no ramo descendente da célula de Hadley, que é caracterizado por ar seco e inibição de convecção, condicionando a não formação de nuvens e ausência de precipitação. Mendes e Góes (1999) relacionam as áreas secas e desérticas de

latitudes tropicais e subtropicais, entre 15° e 30°, com as células de alta pressão semifixas (anticiclones). Unesco (1977) aponta que, além das células de alta pressão tropicais, outros fatores são responsáveis pela condição de aridez e semiaridez, sendo eles: continentalidade, barreiras orográficas e as correntes oceânicas.

As condições de regiões áridas e semiáridas não se dão apenas pelas condições climáticas, mas também pela topografia, hidrografia, condições do solo e os usos das terra (UNESCO, 1977). Com isso, pode-se depreender que a (semi)aridez de uma região vai muito além das condições naturais do sistema climático-ambiental, sendo responsável também a ação antrópica sobre áreas. O relevo, sendo um dos fatores do clima, tem papel de controle geográfico na (re)distribuição dos elementos climáticos, podendo facilitar ou dificultar a penetração de sistemas atmosféricos que provocam a precipitação líquida, e influenciar diretamente na formação da paisagem, por meio de quatro características do relevo: posição ou disposição geral do relevo; orientação e forma de vertentes; declividade e altitude (OLIVEIRA E GALVANI, 2015).

O relevo em regiões semiáridas são caracterizados por serem localizados em regiões de peneplanos, que é uma área de aplainamento resultante de processos erosivos de degradação mecânica e recuo das vertentes, erodindo as porções mais elevadas do terreno cristalino. Devido à resistência das rochas desse relevo, há a presença de relevos residuais, tais como os inselbergs, que apresentam vertentes abruptas e elevada declividade (RIBEIRO, MARÇAL E CORREA, 2010). Araújo (2011) aponta que no semiárido nordestino a precipitação é escassa devido, entre outros fatores, às condições de relevo, caracterizados por depressões a sotavento, sendo este, responsável pela dificuldade de entrada de massas de ar úmidas, contribuindo para o déficit de precipitação na região. As características do relevo da região fisiográfica do SMSF, de acordo com o relatório diagnóstico consolidado da bacia hidrográfica do rio São Francisco é composto por 71% de depressões e patamares (NEMUS, 2015).

A porção semiárida da BHSF é caracterizada pelas Depressão do Médio-Baixo São Francisco e Depressão Sertaneja (NEMUS, 2015) com cotas altimétricas entre 300m e 650m, está localizada em um terreno mais baixo que o seu entorno. Na parte norte e leste dessa região fisiográfica, é encontrado o Patamar Sertanejo, com elevações entre 400m e 600m, sendo que, no extremo norte (divisa entre PE e CE) encontra-se a Chapada do Araripe (entre 500m e 900m). Na porção oeste, encontra-se o Tabuleiro Tonã/Jatobá, entre os estados da BA e PE, com cotas altimétricas de 600m, em média. À nordeste da região, verifica-se o Planalto da Borborema (AL e PE), com altitudes que chegam a 1.000m. À sul, tem-se as chapadas de Irecê e Utinga, no interior da BA, com altitude entre 500m e 800m, também as Serras da Saudade e Diamantina, variando entre 600m e 1.000m (STORANI E PEREZ-FILHO, 2009).

Corroborado por Suassuna (2007), a questão das secas não deve ser analisada apenas sob o ponto de vista do sistema natural, mas sim também sob a ótica da esfera humana. Como as secas são eventos que sempre ocorreram na BHSF, é de conhecimento tanto da população, dos tomadores de decisão e das organizações que, a água proveniente da precipitação incidente deve ser armazenada e redistribuída ao longo do ano, quando a situação de escassez de água se torna crítica. Com isso, medidas de enfrentamento às secas são discutidas e realizadas desde o século passado, com destaque para os sistemas de açudagem e furação de poços, que estão presentes ao longo da referida bacia hidrográfica, que tem por finalidade garantir o acesso à água para a manutenção das atividades da população e para os sistemas de irrigação.

Entretanto, esses processos não ocorrem de maneira uniforme ao longo da BHSF, de forma que são priorizadas organizações empresas, baseadas no latifúndio que mantém o domínio desses sistemas de captação de água para usos nas produções agrícolas e industriais, em detrimento da utilização para o melhoramento qualidade de vida da população (SOARES, 2013). Então, pode-se dizer que os problemas relacionados à falta de água são muito mais

relacionados à gestão dos recursos hídricos e criação de um sistema integrado e eficiente de gerenciamento desses recursos do que a indisponibilidade de água.

[...] apesar das limitações naturais, até o semiárido da região Nordeste encerra um conjunto de peculiaridades e potencialidades as quais, se dinamizadas com o devido tratamento político e adequação técnica, podem conduzir a um processo de desenvolvimento sustentado capaz de elevar a qualidade de vida da população regional" (REBOUÇAS, 1997, p. 151).

As conclusões acerca dos cenários futuros sobre o excesso ou déficits de precipitação ainda são muito genéricos e, pontualmente, há muitas incertezas. É esperado que os eventos extremos relacionados a precipitação atinjam a BHSF heterogeneamente, pois, a pluviosidade da bacia é condicionada por diferentes sistemas atmosféricos e anomalias, aumentando ou diminuindo a variabilidade, em função de cada região fisiográfica. Entretanto, essas ocorrências podem estar correlacionadas no espaço, podendo ser identificadas pela aplicação de métodos geoestatísticos.

Os pluviômetros sob gestão do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA) com boa qualidade nos dados de registros e séries históricas superiores a 30 anos, não estão distribuídos homogeneamente ao longo da bacia, havendo um vazio principalmente na região do semiárido (entre as regiões fisiográficas do MSF e BSF) e, de outro modo, um adensamento na porção sul da bacia (região do ASF), dificultando análises gerais sobre a precipitação ao longo de todas as regiões fisiográficas.

Para contornar a problemática relacionada à indisponibilidade de dados nas regiões citadas, pode-se utilizar métodos geoestatísticos. As técnicas de geoestatística compreendem o ajuste à um modelo de distribuição, estabelecimento de relações entre amostras conhecidas e seu espaço de ocorrência (YAMAMOTO E LANDIM, 2013). A partir disso, é possível realizar predições, ou seja, estimar valores para localidades desprovidas de dados.

Além da estimação de dados, é necessário que eles reproduzam o fenômeno estudado com o menor erro possível (erro mínimo). Por se tratar da variável precipitação e, considerando o fato de que em muitas das localidades da BHSF, os volumes pluviométricos são baixos, há a

necessidade de um ajuste satisfatório nos dados, para posterior reprodução dessas informações, a fim de auxiliar e otimizar o planejamento e gestão dos recursos hídricos dos municípios que compõem a região hidrográfica do São Francisco.

1.1. Justificativa

Com mais de 20 milhões de habitantes povoando sua bacia, o rio São Francisco é o rio de maior importância do nordeste brasileiro (NEB) essencial a sobrevivência das populações que dele dependem, bem como da manutenção das suas atividades. No tocante aos usos das águas para as atividades econômicas predominantes, verifica-se significativas diferenças entre as regiões fisiográficas, sendo que no ASF, MSF e SMSF concentram atividades agroindustriais, com destaque para a zonas de extração e minério e agricultura em Minas Gerais, as atividades agropecuárias e de turismo no MSF e, os polos agroindustriais de grãos e fruticultura no SMSF. No BSF as atividades econômicas são voltadas para a agropecuária e à pesca tradicionais, porém com crescimento expressivo da aquicultura, turismo e lazer, como aponta o CBHSF (2020).

O curso principal do rio São Francisco é uma das únicas fontes de recursos para a manutenção das atividades acima listadas garantindo a sobrevivência da população residente na área que compreende sua bacia, visto que a maioria dos seus afluentes são intermitentes. Sobre as demandas de água, de acordo com NEMUS (2015, p. 254), há o uso múltiplo, com destaque para uso da irrigação, que representa 77% de toda a demanda outorgada na bacia, seguido pela água utilizada no abastecimento público e humano, com 7%. Demais atividades como indústrias e mineração, pesca e aquicultura e, geração de energia, corresponde a menos de 10% das demandas.

Com as demandas concentradas sobre o rio São Francisco, qualquer alteração no regime hidrológico (vazões) e, conseqüentemente, a disponibilidade de água, acarreta sérios transtornos que culminam por acentuar a situação de desigualdade social entre as populações das diferentes regiões fisiográficas, visto que a sobrevivência e o desenvolvimento socioeconômico estão diretamente relacionadas à disponibilidade e ao acesso de água (IBGE, 2009; PEREIRA E CASTRO, 2018; CBHSF, 2020).

Como é sabido, a disponibilidade de água de uma bacia hidrográfica está diretamente relacionada às chuvas incidentes, contemplando as etapas do ciclo hidrológico, sobretudo nas regiões próximas à(s) nascente(s). Assim, analisar o regime pluviométrico é de fundamental importância, determinando os períodos secos/chuvosos e verificar tendências para esses períodos são medidas essenciais ao planejamento dos recursos na bacia, como primeiro passo as ações mitigadoras em cenários de falta de água.

Não é objetivo desse trabalho analisar as disponibilidades e as demandas de água para as diferentes regiões fisiográficas da BHSF, senão para demonstrar a relação causa-efeito do regime pluviométrico e que períodos de secas prolongados possam causar sobre as populações, justificando a importância da análise da precipitação e dos índices de seca.

Com relação à infraestrutura para monitoramento da precipitação há um adensamento das estações pluviométricas na região do ASF, porém, em mais da metade do total das estações, ou as séries de dados são muito curtas (menos de 30 anos) ou não há disponibilidade de dados. Apenas as estações que são de responsabilidade da ANA e tendo como operadora a CPRM é que possuem séries de dados longas e confiáveis. Esse fato limita bastante estudos sobre a precipitação na referida bacia. Para contornar esse fato, há a possibilidade de utilizar métodos de interpolação para estimar dados para localidades desprovidas de registro de dados. Dentre as distintas técnicas aplicadas na análise da espacialização das chuvas, a Krigagem e suas variações é o método mais consagrado.

Alves e Vecchia (2011), Berndt e Haberlandt (2018) enfatizam que, não há melhor ou pior método de interpolação, mas sim métodos que possuem melhor aderência aos dados de acordo com as características das regiões, das séries temporais e da disposição dos dados na área de estudo, revelando características da variabilidade espacial e temporal.

A pluviosidade é bastante diversificada ao longo da BHSF, condicionada a diferentes sistemas atmosféricos, tanto tropicais quanto extratropicais, então, verifica-se dados muito discrepantes entre as regiões e, a estimação de precipitação não é tarefa fácil. Assim, é proposta a realização da espacialização da precipitação e das secas pluviométricas, cujos resultados permitirão estimar dados para os municípios, até então destituídos destes, localizados no interior da bacia hidrográfica do rio São Francisco, de modo que possa auxiliar no processo de gestão dos recursos e mitigação de danos relacionados às secas.

1.2. Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é analisar o comportamento espacial das médias anuais de precipitação pluvial e dos eventos extremos de seca, bem como dos erros de suas estimativas, na bacia hidrográfica do rio São Francisco/Brasil, no período compreendido entre 1985 e 2018 e 2003 a 2018.

Para alcançar o objetivo proposto, foi necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Entender a relação entre os fatores e os elementos do clima na bacia hidrográfica do rio São Francisco, que proporciona a variação de ocorrência de precipitação pluvial e dos fenômenos das secas pluviométricas;

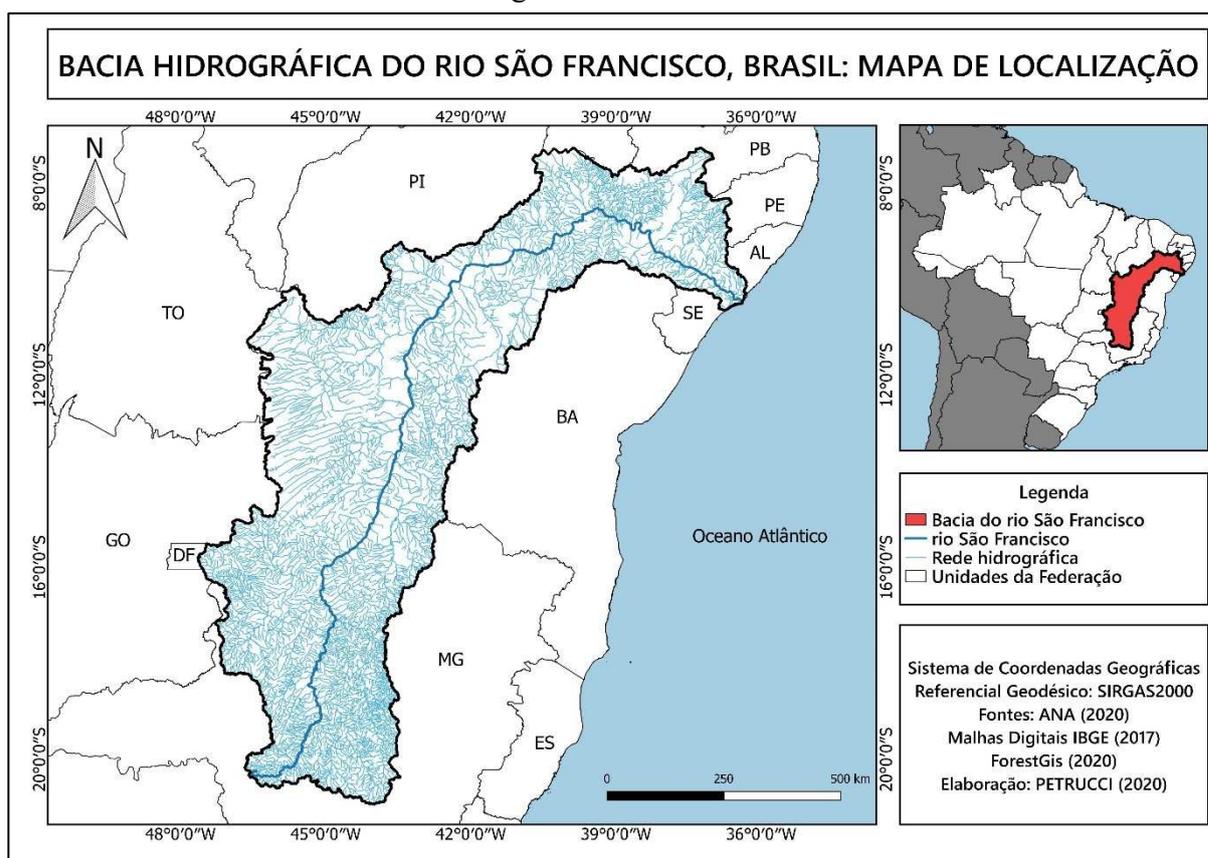
- b) Identificar os padrões de ocorrência da distribuição da precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio São Francisco, nos períodos compreendido entre 1985-2018 e 2003-2018;
- c) Identificar os padrões de ocorrência, duração e frequência dos eventos extremos de secas pluviométricas na bacia hidrográfica do rio São Francisco, nos períodos compreendido entre 1985-2018 e 2003-2018;
- d) Realizar a modelar e espacialização os dados de precipitação média anual e das quantidades de ocorrência e maiores extensões de meses secos na bacia hidrográfica do rio São Francisco, nos períodos compreendido entre 1985-2018 e 2003-2018;
- e) Analisar as variações das características de ocorrências das secas pluviométricas e da precipitação entre os períodos de 1985 a 2018 (série histórica de 34 anos) e 2003 a 2018 (série histórica de 16 anos).

2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco/BR

A bacia hidrográfica do rio São Francisco objeto deste estudo ocupa uma área de 658.302 km², estando limitada pelas coordenadas 7° 17' a 20° 50' S e 36° 15' a 47° 39' O. A referida bacia corresponde cerca de 8% do território nacional, abrangendo os estados de Alagoas, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Pernambuco, Sergipe e Distrito Federal, de acordo com o Comitê da Bacia do Rio São Francisco (CBHSF, 2020).

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco com destaque para a rede hidrográfica do rio São Francisco



Fonte: Petrucci (2020)

A nascente do rio São Francisco, simbolicamente considerada como a principal, localiza-se na Serra da Canastra, município de São Roque de Minas, estado de Minas Gerais, com escoamento no sentido Sul-Norte até sua foz no Oceano Atlântico, entre os estados de

Sergipe e Alagoas, percorrendo 2.700 km. A drenagem principal possui 168 afluentes, dos quais 99 são perenes e 69 intermitentes, com destaque para os rios perenes: Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente e Grande, pela margem esquerda, e das Velhas, Jequitaiá e Verde Grande, na margem direita e, os rios intermitentes: Verde, Jacaré na margem direita, Pajeú a norte e rio Salitre a sul.

De acordo com a CBHSF (2020) a bacia hidrográfica do rio São Francisco engloba as áreas totais ou parciais de 508 municípios, distribuídos pelo Ceará (2), Distrito Federal (1), Goiás (3), Sergipe (28), Alagoas (50), Pernambuco (69), Bahia (115) e Minas Gerais (239) e que, representam cerca de 9% da totalidade dos municípios brasileiros, com população estimada ao fim de 2020 de 20.182.350 habitantes (IBGE, 2020). Minas Gerais é o estado com maior número de municípios e maior população, com 9.928.443 habitantes. O estado da Bahia tem 48,2% de sua área dentro dos limites da Bacia, de outro modo, o Distrito Federal tem 0,2%, ver tabela 1.

Tabela 1 - Número de municípios e porcentagem de ocupação da bacia hidrográfica do rio São Francisco por Unidades da Federação

Estado	Municípios	% do território	População (2020)¹
Alagoas	50	2,2	1.296.209
Bahia	115	48,1	3.158.949
Ceará	2	0,3	150.627
Distrito Federal	1	0,2	3.055.149
Goiás	3	0,5	191.940
Minas Gerais	240	36,7	9.928.443
Pernambuco	69	10,8	2.154.326
Sergipe	28	1,2	397.334
Total	505	100%	20.332.977

Fonte: CBHSF (2020), Org: Petrucci (2020)

A Região Hidrográfica do Rio São Francisco (RHSF) foi instituída na Resolução N° 32, de 15 de outubro de 2003, com a finalidade de “[...] orientar, fundamentar e implementar o

¹ População estimada ao final de 2020.

Plano Nacional de Recursos Hídricos” (BRASIL, 2003)², que compreende a bacia hidrográfica do rio São Francisco. Devido às dimensões do rio principal e da sua área de contribuição, são encontradas diferentes características fisiográficas, que compreende variações de altitude, regime pluviométrico, relevo e geologia. Com isso, foram determinadas 4 regiões fisiográficas com finalidades de planejamento (BRASIL, 2006; NEMUS, 2015; SANTOS, 2018). Para a caracterização climática, nos relatórios consultados são utilizadas tanto as classificações de Köppen (1936) quanto de Strahler (1969).

a) Alto São Francisco (ASF) - desde a nascente do rio São Francisco no município São Roque de Minas (MG), na Serra da Canastra a 1.280 m de altitude até a cidade de Pirapora, no centro-norte de Minas Gerais, na confluência do rio São Francisco com o rio Jequitaiá, compreendendo uma área de 111.804 km² correspondente a 16% do total da área da bacia. Nesse setor, o comprimento do canal do rio principal é de 702 km, as altitudes variam entre 1.600 m e 600 m, apresentando topografia ondulada com presença de serras na região da nascente (a sul) e levemente acidentada ao norte. Os tipos de clima observados são o Tropical úmido (Aw) e Temperado de altitude (Cwa), com temperatura média de 23°C e precipitação média anual variando entre 2.000 mm e 1.100 mm, as vegetações predominantes são o cerrado e os fragmentos de florestas nas áreas mais elevadas.

b) Médio São Francisco (MSF) - estende-se desde Pirapora (MG) percorrendo todo o oeste do estado baiano até Remanso (BA), no limite da Barragem de Sobradinho. É o maior trecho, considerando as regiões fisiográficas e, compreendendo 339.763 km² correspondente a 63% da área total da bacia. Nesse setor, o trecho do rio principal é de 1.230 km, as altitudes variam entre 1.400m a 500m, apresentando topografia elevada na porção central, com presença de chapadas e planaltos e terrenos baixos de planícies e depressões no vale do rio São Francisco.

² Resolução N° 32, de 15/10/2003, disponível em: <http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>.

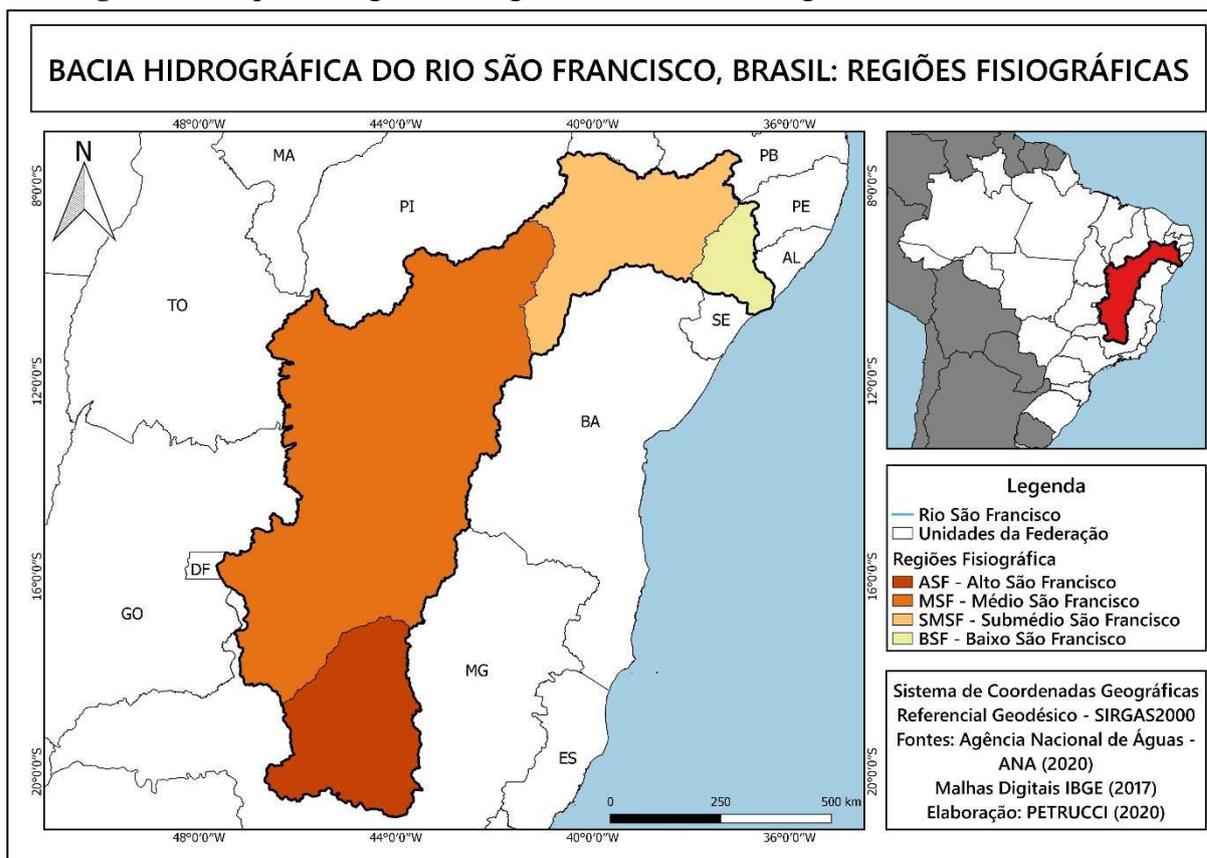
Os tipos de clima predominantes são o Tropical semiárido (BSh) e Subúmido seco (transição entre o Aw e BSh), com temperatura média de 24°C e precipitação média anual entre 1.400 mm e 600 mm, vegetações predominantes de cerrado, caatinga e enclaves de matas de serras.

c) Submédio São Francisco (SMSF) - tem início em Remanso (BA) até Paulo Afonso (BA), nos limites da barragem de Xingó, na divisa entre os estados da Bahia, Alagoas e Pernambuco, compreendendo 155.637 km², que corresponde a 17% da bacia, e serve como limite natural entre os estados da Bahia e Pernambuco. Nesse trecho, o rio principal percorre 550 km de extensão, as altitudes variam entre 800 m e 200 m, com topografia ondulada e vales muito abertos. Os tipos climáticos são o Semiárido (BSh) e Árido (BWh), com temperatura média de 27°C e precipitação média anual entre 800 mm e 350 mm, a vegetação predominante é a caatinga.

d) Baixo São Francisco (BSF) – essa região começa após a barragem de Xingó indo até a foz do rio São Francisco no oceano Atlântico, entre os estados de Sergipe e Alagoas, formando uma área de 32.013 km², que corresponde a 4% da área total da Bacia, sendo a menor região fisiográfica da bacia. No BSF o rio principal tem extensão de 214 km, as altitudes variam entre 480 m e 0 m, com topografia predominantemente plana, com ocorrências de tabuleiros e inselbergs. O tipo climático predominante é Subúmido (Am) com temperatura média de 25 °C e precipitação média anual variando entre 1.500 mm e 350 mm e, os tipos de vegetação encontrados são: Floresta estacional semidecídua, mangue e vegetação litorânea.

As divisões da bacia do rio São Francisco nas quatro regiões fisiográficas descritas podem ser visualizadas na figura 2 e as características físicas de cada região sumarizadas no quadro 1.

Figura 2 - Mapa das regiões Fisiográficas da bacia hidrográfica do rio São Francisco



Fonte: Petrucci (2020)

Quadro 1 - Sumário das características físicas das regiões fisiográficas da bacia do rio São Francisco

	ASF	MSF	SMSF	BSF
Início/Término	São Roque de Minas (MG) a Pirapora (MG)	Pirapora (MG) a Remanso (BA) - Barragem de Sobradinho	Remanso (BA) a Paulo Afonso (BA) - Barragem de Xingó	Barragem de Xingó até Oceano Atlântico
Extensão Rio São Francisco (km)	702 km	1.230 km	550 km	214 km
Área (km²)	111.804 km ²	339.763 km ²	155.637 km ²	32.013 km ²
% da bacia	16%	63%	17%	4%
Altitude (m)	600m a 1.600m	500m a 1.400m	200m a 800m	0m a 480m
Topografia	levemente acidentada, com presença de serras e terrenos ondulados	elevadas altitudes na porção central, com presença de chapadas e planaltos e terrenos baixos de planícies e depressões no	topografia ondulada e vales muito abertos	predominantemente baixa, com presença de tabuleiros e inselbergs

		vale do rio São Francisco		
Clima	Tropical úmido (Aw) e Temperado de altitude (Cwa)	Tropical semiárido (BSh) e Subúmido seco (transição entre Aw e BSh)	Semiárido (BSh) e Árido (BWh)	Subúmido (Am)
Temperatura (°C)	23°C	24°C	27°C	25 °C
Precipitação (mm)	1.100 mm a 2.000 mm	600 mm a 1.400 mm	350 mm a 800 mm	350 mm a 1.500 mm
Vegetação	Cerrado e fragmentos de Mata Atlântica	Cerrado, a Caatinga e enclaves de matas de serras	Caatinga	Floresta estacional semidecídua, Mangue e vegetação litorânea

Fonte: MMA (2006); NEMUS (2015); SANTOS (2018) Org: PETRUCCI (2020)

2.2. Pluviosidade na bacia hidrográfica do rio São Francisco/BR

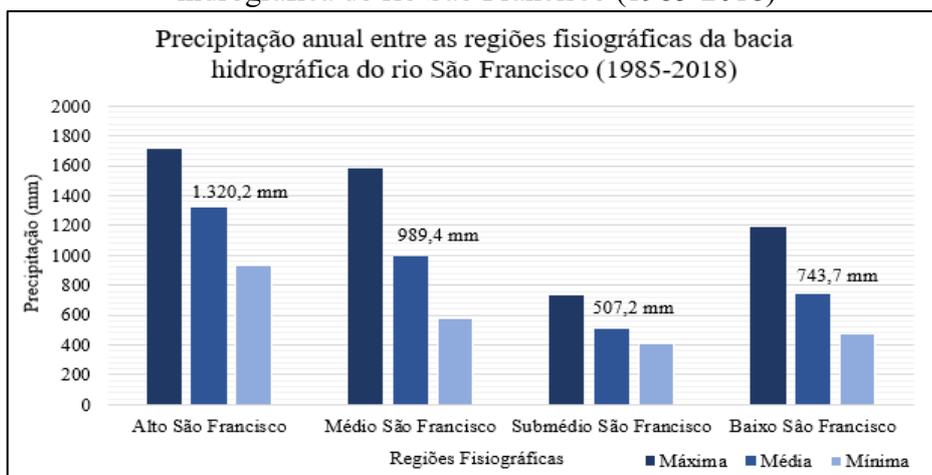
Desde a época da colonização tem-se registros de movimentos migratórios devido às condições climáticas, principalmente pelas irregularidades na distribuição de precipitação no tempo, com intercorrência entre anos extremamente secos e extremamente úmidos (CAMPOS e STUDART, 2001; DINIZ, MEDEIROS E CUNHA, 2014). Devido as suas dimensões, a precipitação na bacia apresenta comportamento heterogêneo no tempo e no espaço. De modo geral, na região da cabeceira (ASF) a precipitação é elevada em decorrência das grandes taxas de umidade, diminuindo em direção ao MSF até o SMSF (norte da Bahia, região semiárida) e, a partir daí, na região do BSF a precipitação novamente aumenta, sob influência de massas úmidas do oceano atlântico, tabela 2 e figura 3.

Tabela 2 - Precipitação anual entre as regiões fisiográficas da BHSF (1985-2018)

	Alto São Francisco	Médio São Francisco	Submédio São Francisco	Baixo São Francisco
Máximo	1715,8	1584,8	735,7	1187,8
Estação máximo	Ibirité (MG)	Lagamar (MG)	Afogados da Ingazeira (PE)	Penedo (AL)
Mínimo	934,6	577,3	405,4	477,4
Estação mínimo	Estação de Curimataí (MG)	Rio Verde II (BA)	Juazeiro (BA)	Piranhas (AL)
Média	1320,2	989,4	507,2	743,7

Fonte: Hidroweb (2019); Org: Petrucci (2020)

Figura 3 - Precipitação anual máxima, mínima e média entre as regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)



Fonte: Hidroweb (2019); Org: Petrucci (2020)

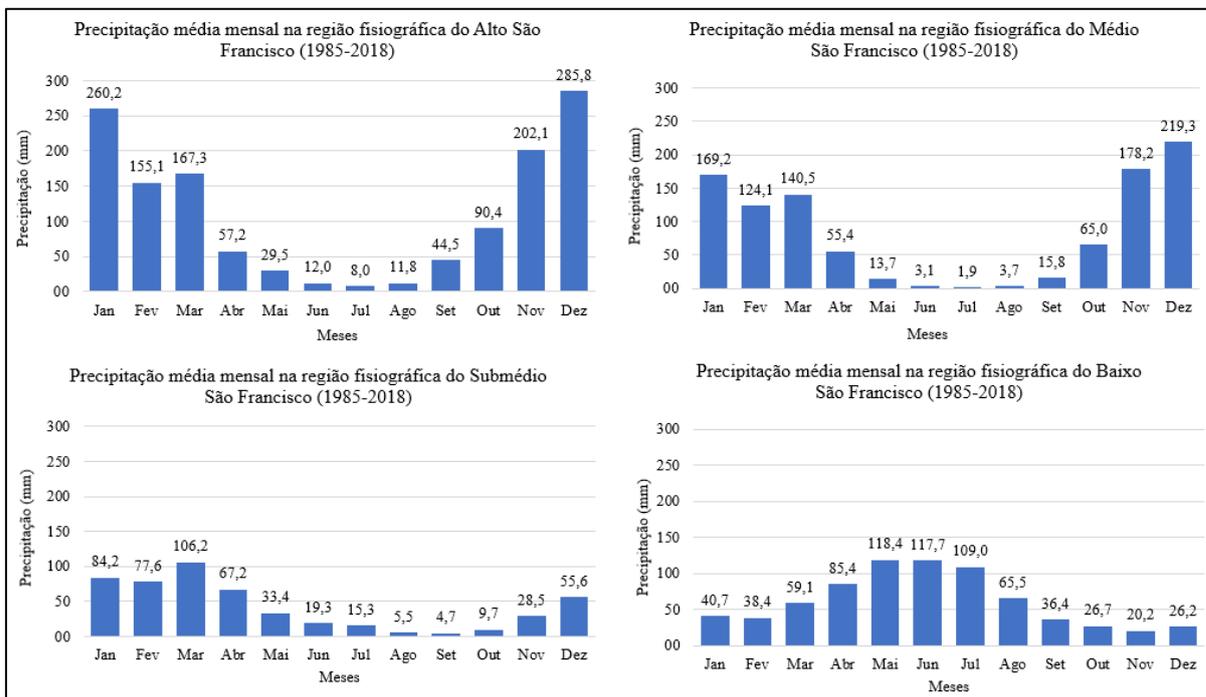
No histórico analisado (1985 a 2018) a precipitação média anual é maior na região fisiográfica ASF, com 1.320,2 mm. O contrário é verificado no SMSF, que tem média pluviométrica anual de 507,2 mm. No MSF a média é de 989,4 mm e, no BSF a média pluviométrica é de 743,7 mm. Os dados estão em conformidade com os resultados obtidos por Silva e Clarke (2004), Brasil (2006) e Santos (2018). Com relação às médias mensais da precipitação entre as regiões fisiográficas, ver tabela 3 e figura 4.

Tabela 3 - Precipitação média mensal e respectivas porcentagens entre as regiões fisiográficas na bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)

	Alto São Francisco		Médio São Francisco		Submédio São Francisco		Baixo São Francisco	
	Média (mm)	%	Média (mm)	%	Média (mm)	%	Média (mm)	%
Jan	260,2	19,7	169,2	17,1	84,2	16,6	40,7	5,5
Fev	155,1	11,7	124,1	12,5	77,6	15,3	38,4	5,2
Mar	167,3	12,6	140,5	14,2	106,2	20,9	59,1	7,9
Abr	57,2	4,3	55,4	5,6	67,2	13,2	85,4	11,5
Mai	29,5	2,2	13,7	1,4	33,4	6,6	118,4	15,9
Jun	12,0	0,9	3,1	0,3	19,3	3,8	117,7	15,8
Jul	8,0	0,6	1,9	0,2	15,3	3,0	109,0	14,7
Ago	11,8	0,9	3,7	0,4	5,5	1,1	65,5	8,8
Set	44,5	3,4	15,8	1,6	4,7	0,9	36,4	4,9
Out	90,4	6,8	65,0	6,6	9,7	1,9	26,7	3,6
Nov	202,1	15,3	178,2	18,0	28,5	5,6	20,2	2,7
Dez	285,8	21,6	219,3	22,2	55,6	11,0	26,2	3,5
Total	1320,2	100	989,4	100	507,2	100	743,7	100

Fonte: Petrucci (2020)

Figura 4 - Precipitação média mensal entre as regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2020)

Por meio da tabela 3 e figura 4, é possível perceber que o regime de precipitação não é igualmente distribuído ao longo dos meses do ano, havendo o maior volume de chuvas concentrado em poucos meses, para todas as regiões fisiográficas. No ASF e MSF, o período chuvoso ocorre entre os meses de outubro a março (correspondendo às estações de primavera/verão) sendo que, nesse período chove 75,1% do volume de chuvas anuais na região do ASF e, no MSF, esse volume de chuvas representa 76,4% do total anual. Essa característica da distribuição da precipitação é típica de climas tropicais, com verões chuvosos e invernos secos.

Para a região fisiográfica do SMSF, que é uma área transicional entre os climas semiáridos e áridos, a precipitação média anual é de 507,2 mm, com ocorrência do período chuvoso no quadrimestre de janeiro a abril, que concentra 66,1% da precipitação anual. No BSF, que possui clima regido por sistemas predominantemente oceânicos, a média pluviométrica anual é de 743,7 mm, o período chuvoso ocorre nas estações de outono/inverno

e, entre os meses de abril e agosto precipita cerca de 66,7% do esperado para o ano. Nessa região fisiográfica, a precipitação é mais bem distribuída ao longo do ano comparado com as demais regiões fisiográficas.

É curioso destacar, a partir dos dados apresentados na figura 4, que cada região fisiográfica apresenta os máximos de precipitação em períodos distintos, ao longo do ano. No ASF e MSF os máximos ocorrem entre outubro e março, no SMSF no período entre janeiro e abril e, no BSF entre abril e agosto. A partir disso, pode-se depreender que todas as regiões fisiográficas contribuem proporcionalmente para manutenção da vazão ao longo do ano no rio São Francisco, garantindo assim, a perenidade de um dos rios mais importantes do Brasil.

A variabilidade pluviométrica está condicionada à circulação atmosférica de grande escala, em ação com os fatores localmente distribuídos. Então, para entender como ocorre a distribuição espacial e temporal da precipitação, é importante compreender a dinâmica atmosférica em suas diferentes escalas. A partir disso, é possível saber sobre a gênese das chuvas sobre a BHSF.

3. SISTEMAS CLIMÁTICOS

As dimensões e a sua posição sobre o território brasileiro, que perpassa por três das cinco grandes regiões brasileiras (sudeste, centro-oeste e nordeste), possuindo diferentes características ambientais, configura à bacia hidrográfica do rio São Francisco uma grande diversidade do ponto de vista climático. Considerando o clima do planeta como um sistema dinâmico e interrelacionado, a níveis inferiores há de se levar em consideração tanto sistemas de níveis astronômicos e planetários, até os sistemas locais. Na BHSF, objeto de estudo dessa tese, a precipitação é resultante de sistemas atmosféricos oriundos tanto do hemisfério Sul e do Norte, também a influências das teleconexões.

Nesta seção, a abordagem utilizada versar-se-á conforme os preceitos da nomotética, em que serão apresentados os referenciais acerca da climatologia a partir das características climáticas globais, até atingir as particularidades dos fatores geográficos da BHSF que condicionam as características de precipitação.

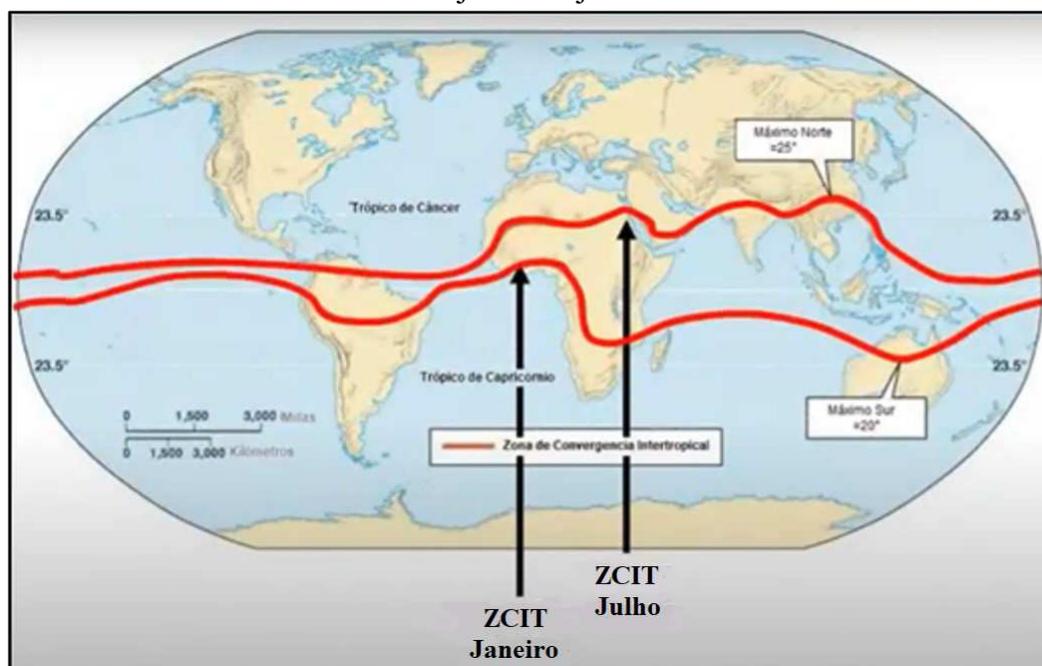
3.1. Sistemas atmosféricos de grande escala

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é a faixa de convergência dos ventos alísios de nordeste (do HN) e de sudeste (do HS) sobre toda a região Equatorial do planeta. Nessa região, incide a maior quantidade de energia solar provocando o aquecimento do ar e na queda da pressão exercida. Essas características, intensificam a convecção, formação de nuvens e abundância em chuvas (MOLION E BERNARDO, 2002). É a região do planeta com os maiores totais pluviométricos anuais e é um dos principais sistemas atmosféricos responsáveis pelo tempo e pelo clima nas regiões tropicais. Além disso, a convecção gerada pela ZCIT está

acoplada ao ramo ascendente da célula de Hadley, levando calor e umidade para as trópicos e as médias latitudes.

Em condições normais, a ZCIT migra sazonalmente sua posição latitudinal, se desloca em torno de 14° N durante os meses de agosto e setembro e, 2° S durante os meses de março e abril (sobre o Brasil). Sendo assim, a ZCIT é um sistema migratório, relacionado a uma intensa banda de nebulosidade e elevadas alturas pluviométricos. Quando está na sua posição mais ao sul (outono austral), atua sobre o norte do Nordeste brasileiro e é o principal sistema responsável pelas chuvas nessas áreas (FERREIRA E MELLO, 2005). Ver figura 5.

Figura 5 – Posição média sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), nos meses de janeiro e julho

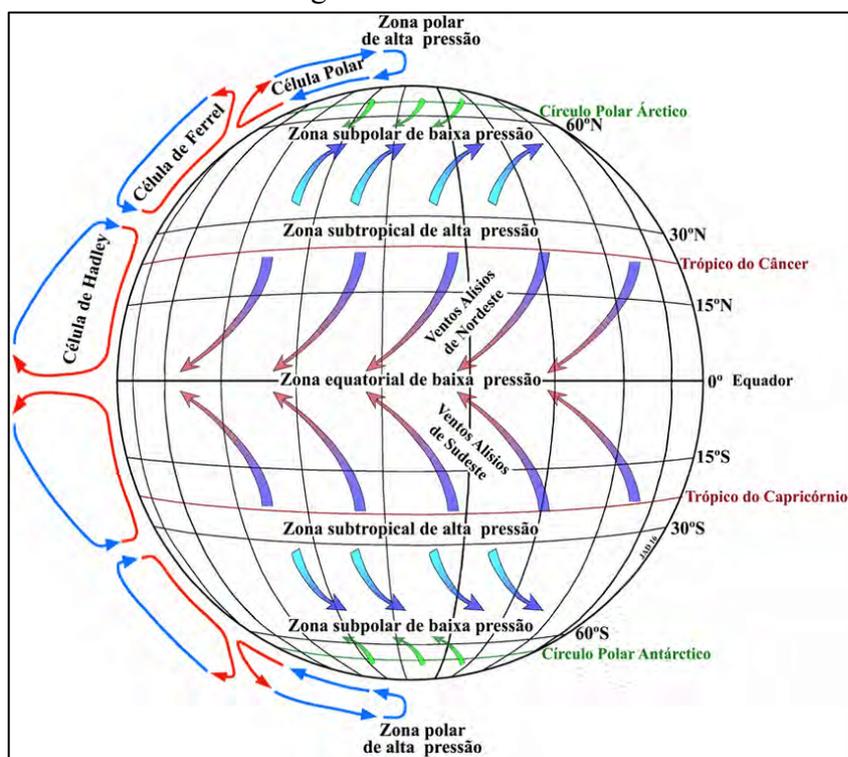


Fonte: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2020)

O ar frio oriundo dos Anticiclones, a aproximadamente 30° N e S, se desloca em superfície em direção ao Equador (0°), ao passo que, os ventos quentes oriundos do Equador se deslocam em altitude em direção às latitudes médias, até por volta de 30° , levando energia necessária para a manutenção do fluxo de umidade e ventos, globais. O deslocamento de ventos em superfície e altitude, formam a Célula de Hadley, que caracteriza os climas tropicais e subtropicais.

É importante destacar que, na célula de Hadley há dois ramos, um ascendente e outro descendente de ar. No ramo ascendente, o ar frio dos anticiclones há o predomínio de boas condições de tempo e, no ramo descendente sobre o Equador térmico, há a formação de nuvens cúmulos e frequentemente precipitação. Além disso, a Célula de Hadley é o sistema condicionante dos ventos alísios. A diferenciação barométrica natural da Terra é que condiciona as principais células de circulação atmosférica no sentido norte-sul, que redistribuem a temperatura e umidade entre as zonas climáticas, figura 6.

Figura 6 - Distribuição zonal idealizada da pressão atmosférica e das células de circulação geral da atmosfera



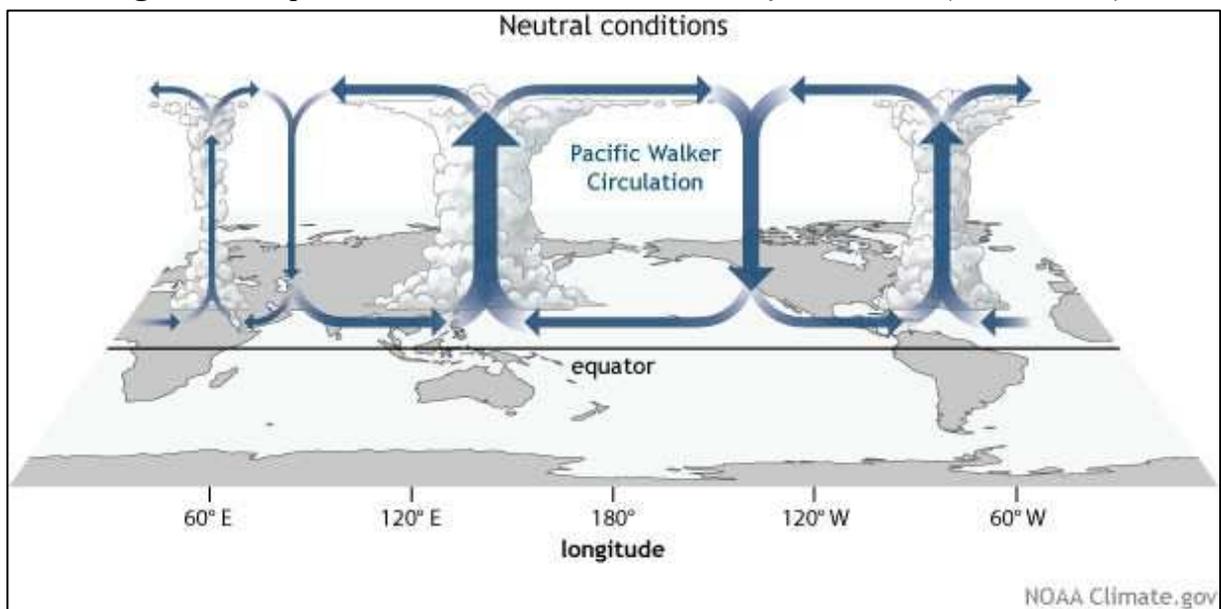
Fonte: Dias (2016)

Outra importante célula de circulação merece destaque, é a Célula de Walker. Enquanto as células de Hadley, Ferrel e Polar ocorrem no sentido norte-sul e por diferenças barométricas, a de Walker ocorre no sentido Zonal (leste-oeste), na região Equatorial, por diferenças térmicas (KAYANO E ANDREOLI, 2009). É importante ressaltar que os ramos ascendentes estão

relacionados a maior temperatura e menor pressão, de outro modo, os ramos descendentes estão relacionados a menor temperatura portanto maior pressão.

Os ramos ascendentes podem ser associados a convecção e precipitação e, os ramos descendentes associados a dispersão de ventos, condições boas de tempo e seca. Essa dinâmica entre os ventos alísios e o transporte de umidade e calor na zona equatorial, caracteriza a célula de Walker (OLIVEIRA, 2001), esquematizada na figura 7.

Figura 7 - Esquema da Célula de Walker em condições normais (anos neutros)



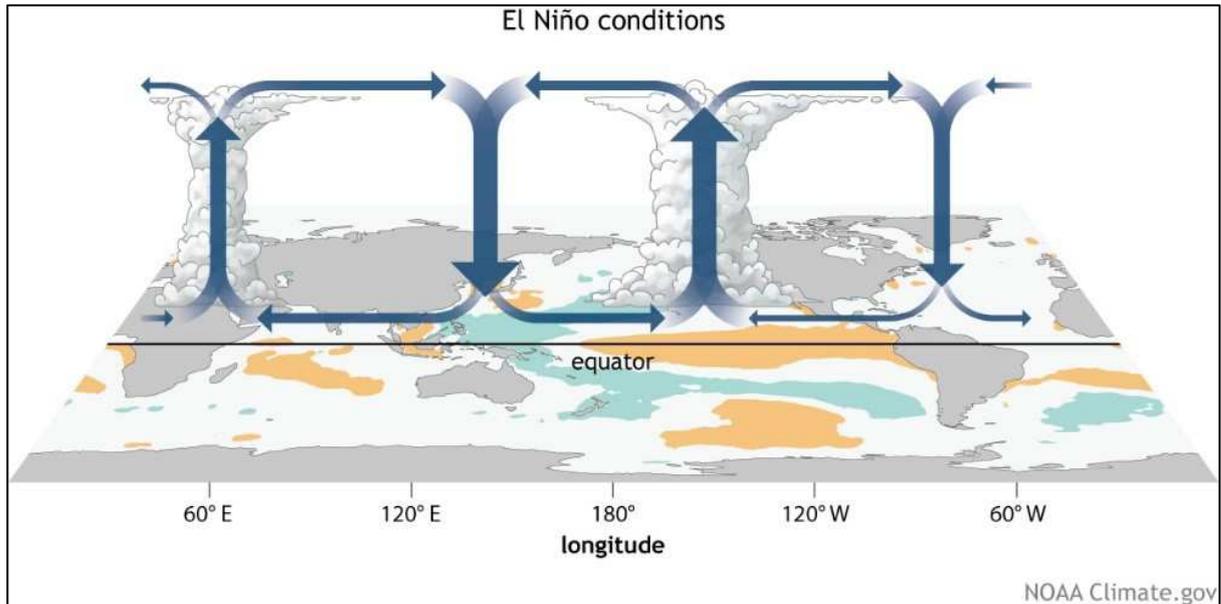
Fonte: Liberto (2014)

Entretanto, há anos em que são verificadas anomalias no padrão de circulação da célula de Walker. Essas anomalias estão relacionadas com a intensificação ou enfraquecimentos dos ventos alísios. Existem duas condições, a fase positiva (La Niña) em que os ventos alísios são intensificados, e fase negativa (El Niño), que os ventos alísios são menos intensos.

Em anos de El Niño (fase negativa), em que os ventos alísios são enfraquecidos, as águas quentes superficiais dos oceanos não se deslocam até a costa da Oceania e assim, no lado oposto da Terra, impedindo a ressurgência das águas do Pacífico na costa do Equador, fazendo com que as águas superficiais nessa área sejam mais quentes, comprometendo o gradiente térmico que gera a célula de Walker. Nessa dinâmica, o ramo ascendente da referida célula é

deslocada para leste, no meio do Oceano Pacífico e, assim, o ramo descendente que, em condições normais seria sobre a costa leste da América do Sul, é deslocado para oeste, sobre a região Norte e Nordeste do Brasil, inibindo a convecção e formação de nuvens, desfavorecendo a precipitação e as chuvas ficam abaixo da média climatológica, ver figura 8.

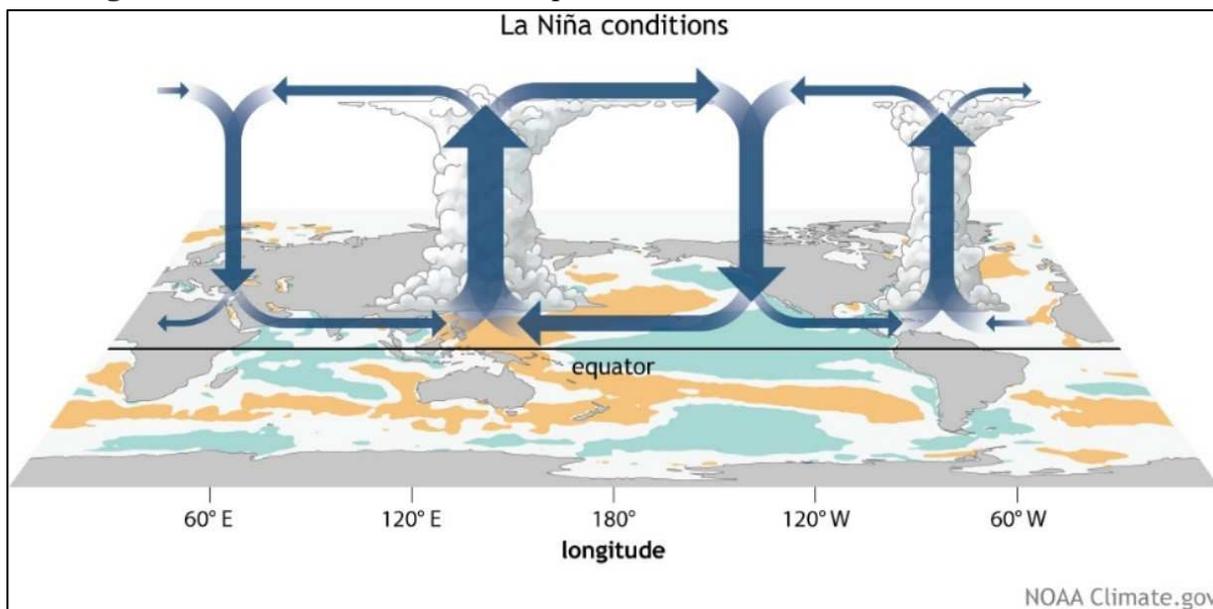
Figura 8 - Célula de Walker na fase negativa, caracterizando ocorrência de El Niño



Fonte: Liberto (2014)

Em anos de La Niña a subsidência ocorrente no meio do Pacífico tropical vai gerar ventos em baixa altitude sobre a porção Norte/Nordeste brasileira, provocando subsidência do ar quente e úmido, favorecendo a convecção e, conseqüentemente chuvas. Em anos de La Niña são esperados chuvas acima da média no Norte e Nordeste brasileiro, figura 9.

Figura 9 - Célula de Walker na fase positiva, caracterizando ocorrência de La Niña



Fonte: Liberto (2014)

3.2. Climas da bacia hidrográfica do São Francisco

Os sistemas atmosféricos descritos na seção anterior fazem parte da circulação de grande escala que determinam os climas globais, promovendo a redistribuição dos elementos climáticos a nível planetário. Contudo, é sabido que os climas são heterogêneos e, condições regionais imprimem climas locais, particulares, regulando a redistribuição de energia e umidade no planeta. Não é uma relação determinista, mas sim relação condicionada à atuação dos fatores climáticos sobre os elementos climáticos (pressão, umidade e temperatura).

Na bacia hidrográfica do rio São Francisco são verificados sete tipos climáticos: Tropical úmido, Tropical semiárido, Temperado de Altitude, Subúmido, Subúmido seco, Semiárido e Árido. Estudos como Molion e Bernardo (2002), Galvêncio e Sousa (2002), Cavalcanti et al. (2009), Marengo et al. (2011) e Santos (2018), demonstram as diferenças climáticas nas regiões fisiográficas da referida bacia, com ênfase nos sistemas atmosféricos atuantes que condicionam esses tipos climáticos. Os sistemas produtores de chuvas atuantes são de macro, meso e microescala.

O regime de chuvas de um determinado local é fator determinante na definição do clima local. No entanto, as chuvas são o resultado final de uma série de eventos com escalas de tempo e espaço bastante diversas, de forma que as causas de uma determinada chuva podem ser uma mistura de fatores locais e remotos (DIAS E SILVA, 2009, p. 18).

Silva, Galvíncio e Nóbrega (2011) evidenciaram a elevada variabilidade interanual da precipitação sobre regiões fisiográficas da BHSF, entre anos muito secos e muito úmidos, sendo uma das principais características da precipitação na referida bacia hidrográfica, sendo uma das regiões da América do Sul em que a variabilidade da precipitação é mais evidente (DINIZ, MEDEIROS E CUNHA, 2014).

3.2.1. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Na porção norte da bacia, abrangendo parcelas dos estados de Pernambuco e da Bahia, a ZCIT é um importante sistema que condiciona a climatologia da precipitação nessa região de influência. Os ventos frios e úmidos oriundos dos anticiclones semifixos no hemisfério norte e hemisfério sul convergem na região equatorial, se condensam, e geram chuvas. Reboita et al. (2016) enfatizam que a ZCIT é atuante apenas na porção norte da bacia e, quando está mais na porção austral, atinge por volta da latitude de 4°S, formando uma banda principal de chuvas atuando na porção setentrional do Nordeste brasileiro (NEB). Diniz, Medeiros e Cunha (2014) apontam que, durante anos muito chuvosos no NEB a posição da ZCIT está deslocada mais ao sul formando uma banda principal de chuvas por volta de até 5°S e, uma banda secundária de chuvas, atingindo até cerca de 8°S, no norte da Bahia, compreendendo a região fisiográfica do Submédio São Francisco.

Esse sistema explica os elevados totais pluviométricos registrados entre os meses de março, abril e maio em anos chuvosos (REBOITA ET AL., 2016; DINIZ, MEDEIROS E CUNHA, 2014). Quando a ZCIT está deslocada para o norte do Equador, significa também o deslocamento dos centros de baixa pressão de convecção, fazendo surgir sobre o NEB

movimentos subsidente de ar, inibindo a formação de nuvens e, conseqüentemente, a ocorrência de chuvas.

Analisando as chuvas na região do SMSF, Assis, Souza e Sobral (2015) verificaram que em anos chuvosos a ZCIT começa a se deslocar sobre o NEB, a partir de fevereiro, contribuindo para a extensão do período chuvoso nessa região. Os totais pluviométricos anuais variam entre 300 mm e 800 mm, podendo chegar até 1.200 mm em anos que a ZCIT se desloca para sua porção mais austral. As autoras também verificaram que recorrência desse fenômeno foi mais frequente nas décadas de 1960-80, sendo que, entre os anos de 1990 e 2000, ocorreram muitos episódios de seca extrema devido à atuação de eventos de El Niño que inibe as chuvas no NEB. A região de abrangência da ZCIT no norte da bacia hidrográfica do rio São Francisco é caracterizada por clima Semiárido, com estação chuvosa definida (primeiro trimestre do ano) sobretudo devido à atuação da ZCIT, e ocorrência de 7 a 10 meses com seca.

Quando a ZCIT está deslocada para a sua posição mais setentrional, entre os meses de agosto e setembro, desloca-se o ramo ascendente da célula de Hadley e, de outro modo, seu ramo descendente fica posicionado sobre o NEB, inibindo a convecção, nebulosidade e ocorrência de chuvas (MOLION E BERNARDO, 2002; REBOITA ET AL., 2016). Essa é uma das características principais que explicam a semiaridez nessa região fisiográfica.

A porção leste, na região da foz do rio São Francisco, que compreende a região fisiográfica do BSF, é influenciada por sistemas que assumem características úmidas devido a influência da maritimidade. Essa condição faz com que o clima da região seja Subúmido, com médias pluviométricas anuais de até 1.500 mm, diferenciando-se das demais regiões fisiográficas que são localizadas na mesma faixa latitudinal (MSF e SMSF).

3.2.2. *Frentes Frias*

Andrade (2005) explica que, antes da passagem de uma frente fria, sobre uma determinada região que está sob domínio de uma massa de ar quente, é notável a redução da pressão atmosférica, aumento da temperatura e há intensificação dos ventos gerando instabilidade atmosférica, alterando assim as condições de tempo.

Esses sistemas podem ocorrer durante todo o ano na América do Sul, contudo, é mais frequente durante o inverno pois a ZCIT está deslocada para o HN, favorecendo a penetração desse sistema até latitudes equatoriais, Andrade (2005). A direção da penetração das frentes frias ocorrem de sudoeste para nordeste, em território brasileiro e, podem avançar tanto sobre a superfície terrestre quanto sobre o oceano Atlântico adjacente, acompanhando a faixa litorânea brasileira. Na passagem das frentes, o ar frio interage com o ar quente predominante, gerando uma zona de instabilidade (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2006).

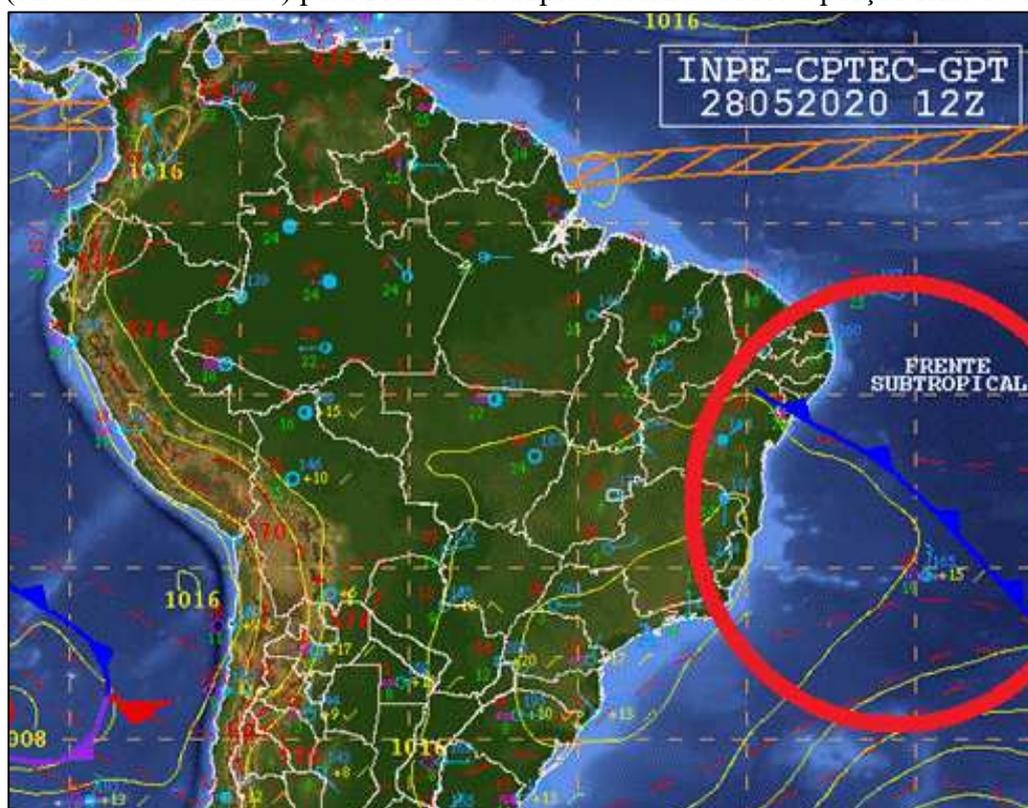
Quando há deslocamento sobre a superfície terrestre, as frentes vão assimilando as características da região de passagem, transformando as condições de tempo, perdendo seus atributos ao longo de sua trajetória, facilitando sua dissipação e dificilmente atingindo baixas latitudes. Molion e Bernardo (2002) explicam que a região preferencial de ocorrência das frentes frias é entre 15°S a 25°S. Quando o deslocamento ocorre na faixa litorânea úmida, esse sistema consegue avançar até as regiões equatoriais, atingindo a porção do litoral sul-baiano até o Rio Grande do Norte, entre 5°S a 18°S, compreendendo a foz do rio São Francisco (10°S), sendo importantes sistemas que proporcionam chuvas na porção sul da Bahia (CAMPOS, 1997; SUASSUNA, 2007).

As Frentes Frias não só condicionam a pluviosidade na porção do BSF, ao norte da BHSF, mas também em sua porção sul, gerando chuvas no ASF e MSF. As principais diferenças da chegada desse sistema nessas regiões é que, no BSF, o deslocamento se dá via litoral

brasileiro e, no ASF e MSF, a frente fria percorre o continente. Cavalcanti e Kousky (2009) falam que há ocorrências de frentes frias ao longo de todo o ano no Brasil, com maior frequência entre maio e setembro (outono/inverno) entre as latitudes 25°S a 30°S, e menor frequência de ocorrência durante a primavera/verão. Para latitudes menores que 20°S (ASF), durante o verão, raramente são verificados esses sistemas, com maior frequência a partir de maio.

Na figura 10 pode ser verificada a passagem de uma frente fria sobre a região nordeste, atingindo latitude de 10°S em maio de 2020.

Figura 10 – Carta sinótica de superfície das 12 UTC do dia 28/05/2020, com destaque (círculo em vermelho) para Frente Subtropical atuando sobre a porção leste do NEB



Fonte: CPTEC-INPE (2020)³

Na figura 10 pode-se observar a passagem de uma frente fria (ou frente subtropical) sobre o Nordeste brasileiro no dia 28 de maio de 2020, as 12h, com borda oeste exatamente sobre a foz do rio São Francisco, na divisa entre os estados de Alagoas e Sergipe. Na imagem

³Histórico de Cartas de Superfície CPTEC-INPE, disponível em: <<http://tempo.cptec.inpe.br/cartas.php?data=20200528&hora=12&tipo=Superficie>>, acesso em: maio/2020.

acima, duas linhas paralelas na cor laranja simboliza a ocorrência de uma ZCIT que, durante a passagem do sistema frontal sobre o NE estava deslocada para o HN, entre 0° e 10°N, possibilitando a penetração desse sistema sobre a referida região. A passagem desse sistema sobre o Nordeste ocorreu no mês de maio (outono), corroborando os estudos anteriores sobre ocorrências de frentes frias no NEB.

3.2.3. *Ventos Alísios*

As características dos ventos alísios, de acordo com Molion e Bernardo (2002) são, a temperatura que variam entre 24°C a 26°C e a umidade relativa entre 80% e 90%. As chuvas provocadas pela convecção associadas aos ventos alísios conseguem penetrar até por volta dos 300 km continente adentro, coincidindo com o domínio da Zona da Mata.

Na região do BSF, Reboita et al. (2016), explicam que a intensidade dos ventos alísios varia ao longo do ano, com máxima intensidade na primavera e no inverno (6 m/s) e menor intensidade no outono e verão (4 m/s). Silva (2003) verificou que em a intensidade dos ventos é maior em abril (outono) do que novembro (primavera), contribuindo para elevação da umidade específica na porção leste do NEB no outono. Esses fatores auxiliam na compreensão da pluviosidade na região fisiográfica do ASF.

Entretanto, há algumas anomalias relacionados aos Alísios que contribuem para o aumento da pluviosidade na porção leste da bacia, as quais relacionam-se as Perturbações Ondulatórias no Campo dos Alísios (POAs) ou “Ondas de Leste” e ocorrem devido a diferenças barométricas. Esses ventos de leste, se deslocam na baixa e média troposfera, que é o campo dos alísios, perturbam os ventos sentido horizontal e vertical, e possui baixo desenvolvimento no oceano Atlântico, intensificando sua atuação quando atinge a costa do nordeste brasileiro. Esses ventos modulam e favorecem a atividade convectiva e são os principais responsáveis

pelas chuvas no oeste da África (FERREIRA E MELLO, 2005; MACHADO et al., 2009), entretanto tem atuação pronunciada no Brasil, com maior frequência de ocorrência durante o inverno austral.

Diniz e Pereira (2015) ao analisar o clima no estado do Rio Grande do Norte, verificaram que as POAs atuam em toda a região da Zona da Mata do Nordeste, entretanto, elas chegam primeiro no litoral a sul do referido estado, fazendo chover na região da foz do rio São Francisco e, depois de perder grande parte umidade, elas se deslocam para o litoral norte, atingindo a porção da Zona da Mata potiguar. Machado et al. (2009) explicam que esses ventos de leste, preferencialmente se formam entre 5°S e 10°S sobre o continente africano, se deslocam a uma velocidade de 8 m/s sobre o oceano Atlântico. O comprimento dessa onda é de 2.000 km a 3.500 km, em média e atuam sobre o continente brasileiro no período de atuação: 4 a 5 dias. Tem ocorrência máxima no inverno no HS, como apontado por Yamazaki e Rao (1977, Apud MACHADO et al., 2009) e, Ferreira, Chan e Satyamurty, (1990) verificaram maior frequência de ocorrência no final do outono e inverno (maio a agosto), que justificam o elevado índice pluviométrico na região do ASF nos meses de outono e inverno.

3.2.4. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

Na América do Sul (AS), a precipitação apresenta padrão anual regular nas faixas tropicais e extratropicais, com estação chuvosa bem definida, ocorrendo principalmente durante os meses de verão (CARVALHO E JONES, 2009). Grande parte dessas chuvas que ocorrem em toda AS é decorrente da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

De acordo com Quadro, Pezzi e Rosa (2006), a ZCAS é caracterizada por uma faixa de nebulosidade associada a uma região de convergência de umidade em baixos níveis, que se estende da Amazônica em direção ao Oceano Atlântico, no sentido noroeste/sudeste. Esse

sistema atmosférico é de mesoescala, responsável pelos elevados totais pluviométricos na estação do verão, e é atuante nas regiões Norte, Centro-Oeste, Nordeste (sul da Bahia), Sudeste e Sul (norte do Paraná), além dos países adjacentes à região amazônica.

A ZCAS é formada a leste da cordilheira dos Andes, quando os Alísios do HN convergem sobre a região, trazendo umidade e favorecendo os processos de evapotranspiração e convecção, sobretudo sobre a Amazônia. Essa região também é um ramo ascendente da Célula de Walker. A sul, está atuante a Alta da Bolívia que induz a formação de um cavado na baixa troposfera na direção da ZCAS e divergem esses ventos úmidos para leste, formando um anticiclone em ar superior (RODRIGUES, 2012). Além disso, é verificado um sistema de cavado semi-estacionário sobre o Nordeste Brasileiro associado a convergência, atuando na porção nordeste da ZCAS e, penetração de ventos polares das frentes frias até a porção sul da ZCAS. Essas são as condições básicas para a formação da ZCAS, de acordo com Quadro, Pezzi e Rosa (2006) e Rodrigues (2012).

Molion e Bernardo (2002) explicam que os principais mecanismos geradores de precipitação sobre a região fisiográfica do ASF são: a permanência dos sistemas frontais que são abastecidos pela umidade proveniente do Oceano Atlântico Sul, as convecções locais e as brisas, esta última limitada a região litorânea. Ambrizzi e Ferraz (2015) citando Quadro (1994) e Sanches e Silva Dias (1996), apontam que, o fenômeno da ZCAS só ocorre quando as seguintes condições são satisfeitas, por pelo menos quatro dias:

- Convergência de umidade a 850 hPa;
- Cavado a oeste da superfície de convergência a 500 hPa;
- Ventos de sul ao sul da superfície da zona de convergência;
- Nebulosidade persistente nas imagens de satélite;⁴ (p. 2)

A ZCAS é um sistema atmosférico caracterizado pela sua estacionalidade. As precipitações decorrentes dela são intensas. O inverso também pode acontecer, quando há

⁴ Tradução do autor.

descaracterização desse sistema, verifica-se secas e má distribuição das precipitações. Ela pode se manter estável por pelo menos quatro dias (QUADRO, 1994) e, uma alteração nesse quadro pode alterar significativamente o regime de chuvas nas regiões de atuação desse sistema. Abreu (1998) diz que as precipitações associadas à ZCAS duram por 7 dias, podendo estender-se por 10 dias. Desse modo, verifica-se a importância da ZCAS para a manutenção do regime pluviométrico na porção central do continente sul-americano e nas regiões fisiográficas do Alto São Francisco (ASF) e Médio São Francisco (MSF) até o sul da Bahia.

3.2.5. *Convecções Locais*

O regime de precipitação de uma área também está condicionado a fenômenos climáticos de microescala. De acordo com Molion e Bernardo (2002), as convecções locais são caracterizadas por movimentos ascendentes de ar úmido, devido ao aquecimento da superfície fazendo com que a superfície tenha uma pressão atmosférica menor que a da atmosfera acima dela, induzindo a convergência do ar em baixas altitudes, favorecendo a formação de nuvens, conseqüentemente, precipitação. Os referidos autores também apontaram sistemas passageiros tais como, sistemas frontais (quentes e frias) e POAs como agentes que podem induzir ou inibir a convecção, contribuindo para aumento ou redução de chuvas convectivas.

Durante o verão austral na região tropical, período anual em que se percebe maior aquecimento da superfície, as convecções locais são as grandes responsáveis pela manutenção dos elevados totais pluviométricos. No inverno austral, as massas de ar frio que penetram com maior frequência no interior do Brasil admitem características de serem frias e secas, inibindo a convecção local e produção de chuvas convectivas. “Uma atmosfera mais fria e mais seca é mais estável e produz menos chuvas” (MOLION E BERNARDO, 2002, p. 8).

Marques, Rao e Molion (1983) ao analisarem o fluxo de energia na atmosfera sobre o NEB, verificaram que, durante o verão são verificadas atividades convectivas, com convergência de energia na superfície e divergência de energia em altitude, configurando uma célula convectiva com ramo ascendente na superfície, condensando a umidade ocasionando em chuvas convectivas. Os mesmos autores verificaram que o fluxo de umidade na atmosfera é constante o ano todo (em função da sua posição latitudinal), portanto, a evapotranspiração intensa o ano todo sendo que, o que diferencia as estações chuvosas e seca são os movimentos convectivos sobre essas áreas para gerar chuvas.

Portanto, com base na literatura, sugere-se que as condições secas no Sertão Nordeste se devem aos movimentos subsidentes das duas células de circulação (Walker e Hadley) que causam o aquecimento do ar por compressão adiabática fazendo sua umidade relativa diminuir, e, portanto, a convecção local parece não ser suficiente para se contrapor a subsidência e elevar o ar para altitudes em que este atinja a saturação (REBOITA ET AL., 2016, p. 266).

Algumas anomalias de macroescala interferem na variabilidade anual das chuvas, intensificando ou reduzindo as convecções, fazendo ter anos anormalmente úmidos ou secos e estão relacionados com a Célula de Walker. Como apresentado, a referida célula é movimentada a partir de diferenças térmicas, e não por diferenças barométricas, como Hadley, Ferrel ou Polar.

Em anos de El Niño, os ventos alísios que convergem sobre o Pacífico Equatorial são enfraquecidos, impedindo a ressurgência na costa leste da AS (águas frias), comprometendo o gradiente térmico que gera a célula de Walker. Devido a isso, o ramo descendente é deslocado para leste, sobre o Norte e Nordeste brasileiros, impedindo a convecção nessas áreas. Portanto, em anos de atuação de El Niño, são verificadas chuvas abaixo da média durante o verão austral, principalmente na porção centro-norte da bacia hidrográfica do rio São Francisco, abrangendo as regiões fisiográficas do MSF, SMSF e ASF. Ver figura 11.

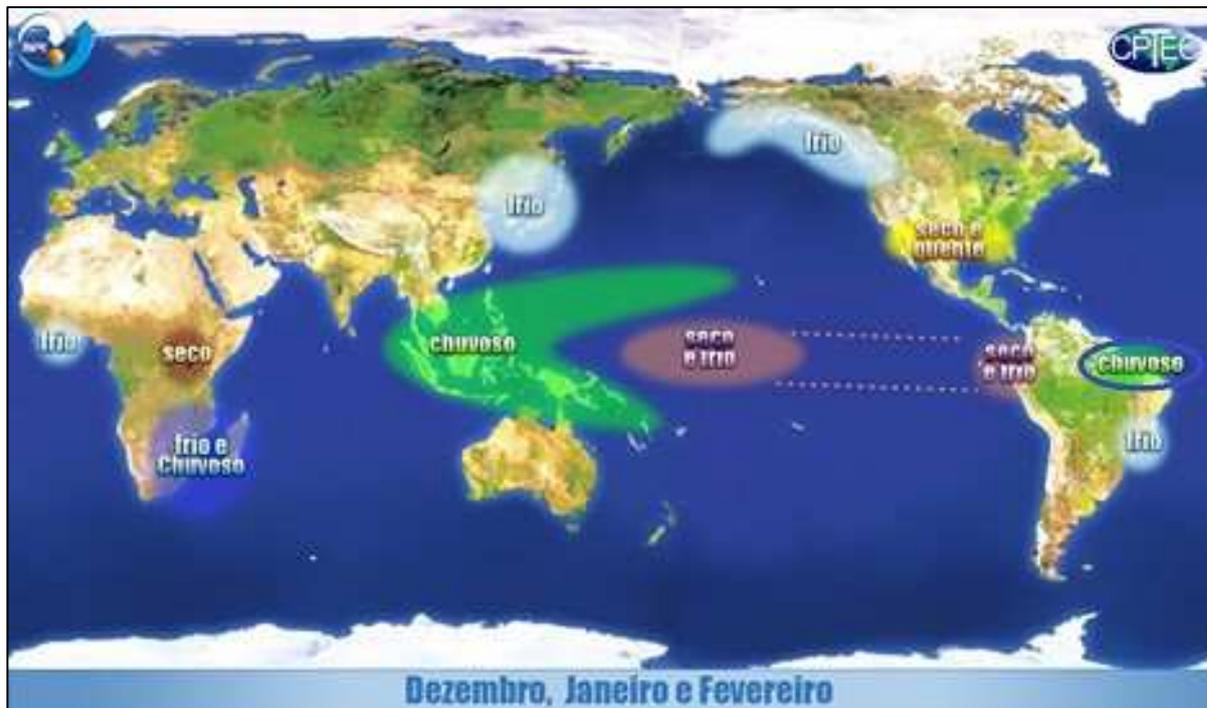
Figura 11 – Efeitos globais das ocorrências de El Niño para o verão austral, com destaque para a região N/NE do Brasil



Fonte: CPTEC-INPE (2020); adaptado por Petrucci (2020)

Em anos de La Niña, os ventos alísios que convergem no Pacífico equatorial chegam fortalecidos, deslocando o ramo descendente para leste, sobre o meio do Oceano Pacífico, fazendo surgir dois ramos ascendentes, um a leste, sobre a Oceania e, outro a oeste, sobre o Norte e Nordeste do Brasil. Essas condições vão gerar ventos em baixa altitude em direção aos ramos descendentes, provocando subsidência do ar quente e úmido, favorecendo a convecção e, conseqüentemente chuvas. Portanto, em anos de atuação da La Niña, são verificadas chuvas acima da média durante o verão austral, principalmente na porção centro-norte da bacia hidrográfica do rio São Francisco, abrangendo as regiões fisiográficas do MSF, SMSF e ASF. Ver figura 12.

Figura 12 – Efeitos globais das ocorrências de La Niña para o verão austral, com destaque para a região N/NE do Brasil



Fonte: CPTEC-INPE (2020); adaptado por Petrucci (2020)

No quadro 2 estão sumarizados os principais sistemas atmosféricos que condicionam os tipos de tempo e o regime pluviométrico na bacia hidrográfica do rio São Francisco, em função da região de estudos dos autores mencionados, que abrangem a referida bacia.

Quadro 2 - Síntese dos Sistemas Atmosféricos que condicionam os tipos climáticos na bacia hidrográfica do rio São Francisco

Macroescala	Escala Sinótica	Mesoescala	Microescala	Demais Sistemas	Referência
ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)	ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul)			El Niño/La Niña	Silva et al. (2002)
Ventos Alísios				El Niño/La Niña	Silva, Galvêncio e Nóbrega (2011)
ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)	POA (Perturbações Ondulatórias no campo dos Alísios)			ODP (Oscilação Decadal do Pacífico)	Galvêncio e Sousa (2002)
				TSM (Temperatura da Superfície do Mar)	
				El Niño/La Niña	
ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)		VCA (Vórtices Ciclônicos de Ar Superior)			Assis, Souza e Sobral (2015)
Região Nordeste					

ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)		Brisas (terrestres e marítimas)	Convecções Locais	El Niño/La Niña	Molion e Bernardo (2002)
	ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul)		Chuvas orográficas	anomalias na Célula de Walker	
	Sistemas Frontais				
	POA (Perturbações Ondulatórias no campo dos Alísios)			anomalias na Célula de Hadley	
ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)		CCM (Complexos Convectivos de Mesoescala)		TSM (Temperatura da Superfície do Mar)	Cavalcanti et al. (2009)
	Sistemas Frontais	VCAs (Vórtices Ciclônicos de Ar Superior)			
		Brisas (terrestres e marítimas)			
Cavado Equatorial (Ventos Alísios)					
		ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul)			
		ASAN (Alta Subtropical do Atlântico Norte)			
Sertão Nordestino					
ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)					Campos (1997)
	Sistemas Frontais				
	Sistemas Frontais			El Niño	
	Massas de Ar (mEa; mEc; mPa)			TSM (Temperatura da Superfície do Mar)	Suassuna (2007)
ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)		Brisas (terrestres e marítimas)	Convecções Locais		Reboita et al. (2016)
Célula de Hadley		Ventos Alísios			
Célula de Walker		VCAN (Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis)			
	Sistemas Frontais	CCM (Complexos Convectivos de Mesoescala)			
	POA (Perturbações Ondulatórias no campo dos Alísios)				

Org: Petrucci (2020)

4. PROCESSOS ESTATÍSTICOS E GEOESTATÍSTICOS

Uma das grandes dificuldades no desenvolvimento de estudos e pesquisas na interface ambiental é a disponibilidade de dados nas áreas focos de estudo. Muitas vezes os dados são amostrados pontualmente ou em lugares estratégicos, distribuídos irregularmente no espaço e, podem não representar o comportamento real de determinado fenômeno ambiental.

Uma das possibilidades de contornar o fato da baixa disponibilidade de amostras, é realizando inferências estatísticas, que são generalizações sobre as características de uma população (dos dados) a partir de um conjunto de amostras (MORETTIN E BUSSAB, 2004). Guimarães (2004) explica que, as análises estatísticas clássicas se baseiam em construção gráfica e cálculos estatísticos e interpretação desses gráficos e parâmetros e, esse tipo de análise de dados baseia-se no pressuposto da “[...] normalidade da variável; independência de erros e homoscedasticidade da variância (homogeneidade de variância)” (p. 14), e outras hipóteses mais restritivas, dependendo da qualidade da análise a ser aplicada.

Dependendo da variável a ser analisada, a estatística clássica pode não conseguir satisfazer as hipóteses das generalizações pois, simplesmente não há viabilidade de auferir informações a partir de amostras de dados para uma população, considerando a heterogeneidade de sua distribuição espacial e, das variáveis não serem representativas da complexidade do fenômeno estudado. A partir disso, pode-se complementar as análises da estatística clássica com a análise espacial (geoestatística) pois, os dados possuem características de ocorrerem em um determinado espaço, portanto, a localização das amostras é importante e pode (deve) ser levada em consideração quando na realização das generalizações.

Uma Variável Aleatória (VA), de acordo com Andriotti (1989) é uma realização que pode assumir qualquer valor dentro de uma determinada lei de probabilidade de ocorrência, ou seja, é uma “família de valores possíveis” (p. 7). Contudo, essa variabilidade vai depender do

caráter estrutural do meio. Camargo (1998, p. 3-5) citando Burrough (1987) explica que uma variável aleatória é composta pela soma de três componentes: a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e c) um ruído aleatório ou erro residual. A relação entre as componentes é expressa pela equação 1.

$$Z(x_1) = m_{(x_1)} + \epsilon'_{(x_1)} + \epsilon'' \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: $m_{(x)}$ é uma função determinística que descreve a componente estrutural de Z em x ; $\epsilon'_{(x)}$ é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de $m_{(x)}$; ϵ'' é um ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância (s^2) finita.

Assim, diz-se que o valor de $Z(x)$ é uma realização da variável aleatória, pois possui um valor associado que retorna a ele mesmo, levando em consideração o termo estocástico (componente estrutural) no ponto x_1 , que é correlacionado com as amostras próximas, dentro das possibilidades determinadas pela variância conhecida (s^2) e é associado um ruído (erro), que é o valor da diferença entre os dados reais e as possibilidades de valores de ocorrência. Andriotti (1989) explica que um valor de $Z(x_1)$ é uma realização da Variável Aleatória e, um conjunto de realizações de VA é considerada uma Função Aleatória (FA), denotada por $Z(x)$.

$$Z(x) = Z(x_1), Z(x_2), Z(x_3) \dots Z(x_n) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: o $Z(x)$ é a Função Aleatória da variável Z ; $Z(x_1)$ é uma realização da Variável Aleatória no ponto x_1 ; $Z(x_2)$ é uma realização da Variável Aleatória no ponto x_2 ; $Z(x_n)$ é uma realização da Variável Aleatória no ponto x_n ;

Então, pode-se considerar o conjunto de realizações de $Z(x)$ como a Função Aleatória que caracteriza a Variável Regionalizada em estudo. Em outras palavras, a teoria das Variáveis

Regionalizadas é possível mediante a aplicação da Função Aleatória, por meio das Variáveis Aleatórias nos pontos x_1, x_2, \dots, x_n . Então, "A geoestatística é a aplicação do formalismo das Funções Aleatórias ao reconhecimento e à estimação dos fenômenos naturais" (ANDRIOTTI, 1989, p. 6).

4.1. Geoestatística

A teoria das Variáveis Regionalizadas, foi introduzida no início dos anos 1960, pelo matemático e geólogo Georges Matheron, que tem como objetivo o estudo e a estruturação das variáveis para a resolução dos problemas de estimação de dados. Krige lançou a ideia das estimativas de dados, mas foi com Matheron que a teoria foi fundamentada. Este, é conhecido como o precursor da Geoestatística, termo que cunhou, quando publicou *Traité de Géostatistique Appliqué* (CLARK, 1979).

A geoestatística pode ser considerada como uma aplicação prática das Variáveis Regionalizadas onde as amostras de dados são aleatórias e estruturadas (ANDRIOTTI, 1989), ou seja, pode admitir qualquer valor possível, levando em consideração as possibilidades determinadas pelo espaço ao qual elas são condicionadas.

A geoestatística envolve um conjunto de procedimentos de análise e inferência dos fenômenos espaciais, que apresentem uma dependência espacial expressa, por exemplo, numa função de autocorrelação no espaço. Esses procedimentos utilizam um modelo de autocorrelação espacial definido a priori e objetivam representar a variabilidade espacial de um atributo considerado em uma superfície contínua (DRUCK, 2002, p. 5).

Com essa definição, fica evidente que os valores das amostras de dados são intimamente relacionados com o espaço ao qual ocupam, não sendo assim, completamente independentes da sua localização (CLARK, 1979). Então, na situação em que um tipo de dado que possua variação (caráter aleatório), mas que esta, seja dependente do espaço ao qual ela está sujeita

(caráter estrutural), pode ser tratada como uma variável regionalizada, podendo ser analisada segundo as leis da geoestatística.

De acordo com Yamamoto e Landim (2013) os métodos geoestatísticos “são um conjunto de técnicas necessárias para entender a aparente aleatoriedade dos dados, os quais apresentam, porém, uma possível estruturação espacial, estabelecendo, desse modo, uma função de correlação espacial” (p. 10). A matemática então, tem por objetivo representar e compreender os fenômenos de caráter espacial, em sua realidade.

Com a utilização da geoestatística faz-se o ajuste de um modelo matemático ao comportamento dos dados. Câmara et al. (2004) explicam que essas técnicas permitem descrever o objeto de estudo, pode-se definir o grau de relacionamento com as amostras vizinhas, na tentativa de estabelecer padrões de ocorrência, identificar dados erráticos e discretizar o fenômeno de caráter espacial. Andriotti (2002) explica que as técnicas em geoestatística são usadas para modelar os dados e estimar valores para locais desprovidos destes, por meio da krigagem e, verificar as incertezas (erros) nas estimativas, por meio da variância da krigagem.

Como sabido, uma variável regionalizada é caracterizada pela sua aleatoriedade e sua estruturação de acordo com o meio ao qual são inseridas. A regionalização representa o caráter estruturado das amostras e, as Funções Aleatórias (FA) representam o caráter aleatório.

4.2. Interpolação

Com o entendimento do comportamento do fenômeno, considerando os valores como uma realização da variável aleatória de $Z(x)$, levando em consideração a estrutura espacial do fenômeno e, partindo do pressuposto que as variáveis são estacionárias de 2ª ordem ou obedecem a hipótese Intrínseca, pode ser realizada a modelagem desse fenômeno e, é possível

reproduzir essas características a outras localidades onde não há registros de dados, é a estimação de valores, também conhecidos como processo de Interpolação.

O processo de reprodução das características do fenômeno espacial baseado em postos amostrais é denominado interpolação ou estimativa. A interpolação ou estimativa de um ponto não amostrado é feita por meio do ajuste de funções matemáticas locais (pontos mais próximos ao ponto não amostrado) ou globais (todos os pontos amostrais) (YAMAMOTO E LANDIM, 2013, p. 21).

Como apontado, a estimação de valores onde não há registros de dados, depende do tamanho da amostragem de dados e de sua distribuição no espaço. A partir disso, busca-se um modelo que se ajuste (e consiga explicar) aos dados, estimando as relações entre eles e a sua localização no espaço, atribuindo pesos às amostras. De modo geral, é consenso que, amostras mais próximas tendem a contribuir mais para a estimação de valores, portanto, sendo atribuídos pesos maiores (maior significância) (Clark, 1979). Essa é a regra geral da estimação de dados. Como serão atribuídos pesos das amostras existentes para estimar valores onde não há dados, é o que difere os métodos de interpolação.

A interpolação é sempre necessária, como apontado por Yamamoto e Landim (2013) pois, muitas vezes, em uma determinada área, são disponibilizados ou coletados dados de apenas alguns pontos e não em sua totalidade, derivado de limitações econômicas, tamanho da área de estudo ou pessoal capacitado. O método interpolador da krigagem, embora tenha sido desenvolvido para a estimação de amostras em depósitos minerais (ouro), foi largamente aplicado a diversas áreas das ciências naturais, tais como, hidrogeologia, a cartografia, a climatologia, geologia, entre outros. Ademais, foram incorporados aos softwares, o que promoveu sua ampla utilização, melhorando as técnicas tradicionais, facilitando os cálculos para amostragens e aprimorando a qualidade dos atributos analisados (CAMARGO, 1998).

Yamamoto e Landim (2013) classificam os métodos de interpolação em dois modelos: os determinísticos e os estocásticos. Os modelos determinísticos são baseados em critérios geométricos, nas distâncias entre as amostras, e não fornecem medidas de incertezas ou erros de estimativas. Nos modelos estocásticos, as amostras de dados disponíveis são interpretadas

como processos aleatórios, dentro de uma mesma probabilidade de ocorrência e há a possibilidade de quantificar as incertezas e os erros de estimação. É nessa categoria que o método geoestatístico de Krigagem se enquadra.

Plouffe, Robertson e Chandrapala (2015), classificam os processos de interpolação em quatro categorias: Métodos Globais (superfícies de tendência a modelos de regressão); Métodos Locais (Polígonos de Thiessen, IDW e Spline); Modelos Geoestatísticos (Krigagem) e; Modelos Mistos (envolve a utilização de mais de um dos demais métodos listados). Apesar de haver diferentes métodos de interpolações, todos eles partem da mesma premissa de que, as amostras mais próximas possuem maior similaridade, portanto, maior contribuição para estimar valores próximos. O que difere os métodos de interpolação é o estabelecimento das relações entre os valores próximos, determinando a importância que eles possuem para estimar dados. As vantagens dos métodos de interpolação são amplamente discutidos na literatura, por exemplo, Clark (1979), Camargo (1998), Jakob e Young (2006), Yamamoto e Landim (2013), Giacomini et al. (2014), Silva (2019) e Rezende (2020).

4.3. Estacionariedade

Em estatística, a estacionariedade (ou homogeneidade) é importante característica de uma amostra, evidenciando que valores são provenientes de uma mesma e única população, assim, possuindo a mesma distribuição de probabilidade. Morttin e Tolo (1981) explicam que se uma distribuição é estacionária “[...] ela se desenvolve no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável” (p. 6).

Dada uma amostra de dados não-estacionária, diz-se que podem ser verificadas a existência de ciclos, tendências ou saltos nas séries temporais (NAGHETTINI & PINTO, 2007). Quando há uma alteração gradativa nos valores da amostra, conseqüentemente dos

parâmetros, pode significar a existência de tendências; os ciclos estão relacionados à períodos de alteração nas variáveis, voltando a condições semelhantes em um período futuro e, os saltos estão relacionados a alterações bruscas nas variáveis (ACOSTA ZUÑIGA, 2018). Todas essas características se tornam uma dificuldade quando da estimação de dados.

Em geoestatística, a estacionariedade é uma propriedade sobre a função aleatória e não sobre os dados, como apontado por Nardi (2015). Portanto, dada uma função aleatória qualquer, se é estacionária, essa função pode ser replicada n vezes sobre qualquer ponto da área de estudo e, isso equivale a n realizações dessa função aleatória, no processo de estimação de dados. Assim, não se espera que os dados propriamente sejam estacionários, mas, que o processo seja estacionário.

Guimarães (2004) ao explicar a hipótese da estacionariedade para o método geoestatístico, assevera:

Diz-se que um processo [...] é estacionário se o desenvolvimento desse processo no tempo ou no espaço ocorrer de maneira mais ou menos homogênea, com oscilações aleatórias contínuas em torno de um valor médio, em que nem a amplitude média e nem as oscilações mudam bruscamente no tempo ou no espaço (p. 15)

Essa hipótese é fundamental para gerar estimativas mais precisas nas aplicações geoestatísticas. Dada uma amostra em uma determinada área, distribuídas em uma grade irregular e, havendo a necessidade de se realizar a espacialização dessa variável, o pressuposto é que em algumas partes dessa área os valores das amostras sejam maiores do que outros e, que áreas adjacentes estão relacionadas (CLARK, 1979). A partir disso, podem ser estimadas tendências sobre esses dados e, os valores aos quais estamos buscando, irá flutuar próximo a essa tendência, esse é o que a autora supracitada denomina de componente fixo (componente estrutural). A estacionariedade analisada pela geoestatística é sobre a componente aleatória, que representa a variabilidade dos dados que povoam a mesma distribuição de probabilidade.

Os tipos de estacionariedade das Funções Aleatórias são:

i) estacionariedade de 1ª ordem ou estritamente estacionária;

ii) estacionariedade de 2ª ordem;

iii) hipótese Intrínseca;

O processo considera que os momentos estatísticos são invariantes da origem, ou seja, independentes por translação. Entretanto, Guimarães (2004) explica que, para a aplicação geoestatística e utilização do método interpolador da Krigagem, é necessário que o primeiro e segundo momento sejam constantes em relação à origem, ou seja, que seja classificado como estacionária de segunda ordem. A validação da hipótese da estacionariedade, como apontado por Andriotti (1989), é dada pela construção do semivariograma experimental (seção posterior).

4.3.1. Estacionariedade de 1ª ordem (Estritamente Estacionária)

Para que uma função aleatória seja classificada como estritamente estacionária, é necessário que o primeiro momento ou esperança matemática (média) seja constante, independentemente da posição em que as amostras estão localizadas na área de estudo e do ponto de origem. Portanto, o primeiro momento é o mesmo para $Z(x)$, $Z(x_1)$ e $Z(x_{1+h})$, sendo que, o vetor h indica a distância em que as realizações $Z(x)$ estão distanciadas entre si. Esse tipo de estacionariedade também é conhecida como Estacionariedade forte.

Com isso, as circunstâncias que determinam os valores dentro de um espaço, se repete por todo o espaço analisado. Para satisfazer essa condição,

$$E[Z^1(x)] = E[Z^1(x_1)] = E[Z^1(x_{1+h})] = \bar{x}_1(x) \text{ para qualquer vetor } h \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: $E[Z^1(x_1)]$ ou \bar{x}_1 é a esperança matemática para a variável $Z(x)$ no ponto 1

4.3.2. Estacionariedade de 2ª ordem

Para que uma função aleatória seja classificada como estacionária de 2ª ordem, é necessário que o primeiro momento seja constante a partir da origem; exista um segundo momento, entretanto, tem que ser menor que infinito; exista a função covariância e que dependa apenas do vetor h ; isso implica que a variância também seja constante.

O segundo momento é a pressuposição que exista uma covariância $C(h)$, ou seja, a esperança do produto para cada par de realizações $Z(x)$, $Z(x + h)$, para qualquer valor de h e, que essa covariância seja estacionária, assim, a covariância não depende dos valores de x ou $x + h$, mas apenas do vetor h , para $h > 0$. A covariância é uma medida de associação, um estimador que analisa a variabilidade entre duas ou mais variáveis dentro a uma distância h , ou seja, o quão relacionadas estão essas amostras.

Para que a pressuposição acima seja verdadeira:

$$C(x, x + h) = E[Z(x) * Z(x + h)] - \bar{x}^2 \quad (\text{Equação 4})$$

$$C(x, x + h) = C(h) \quad (\text{Equação 5})$$

Quando tiver a situação $h = 0$, a covariância é igual a variância:

$$C(0) = E[Z^2(x)] - \bar{x}^2 = \text{Var}[Z(x)] \quad (\text{Equação 6})$$

Com isso, pressupõe-se que a variância também seja um valor constante a partir da origem e admita um valor finito.

$$\text{Var}[Z(x)] = E[Z^2(x)] - \{E[Z(x)]\}^2 = m^2(x) - [m^1(x)]^2 \quad (\text{Equação 7})$$

Se tanto a variância quanto a covariância são estacionários, isso implica na estacionariedade do semivariograma também:

$$\gamma[Z(x_i), Z(x_{i+h})] = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (\text{Equação 8})$$

$$C(h) = E\{Z(x+h) * Z(x)\} - m^2, \forall x \quad (\text{Equação 9})$$

Assim, satisfeitas as condições acima, de média e covariância independentes dos pontos iniciais, mas dependente somente da distância (h) entre as variáveis, assume-se a exista uma variância C(o) finita entre as variáveis, expressa por:

$$\text{Var}\{Z(x)\} = E\{[Z(x) - m^2]\} = C(o), \forall x \quad (\text{Equação 10})$$

E, admitindo a existência da variância (Var), os dados podem ser estruturados segundo o Variograma:

$$2\gamma(h) = E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\} \quad (\text{Equação 11})$$

Comumente, utiliza-se a expressão variograma, como sendo “duas vezes a diferença entre os valores localizados nos pontos (x) e (x + h) ao quadrado”. Entretanto, na realidade, essa variância não ajusta à realidade dos dados, como verificado por Matheron na década de 1960 (CLARK, 1979), pois a variância entre os dados aumentava de acordo com a distância (h) entre as amostras, sendo mais bem explicados pela metade da variância, então utiliza-se a semivariância, expressa por:

$$C_0 - C(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\}, \forall x \quad (\text{Equação 12})$$

A relação estabelecida entre os valores das realizações de $Z(x)$ nas posições x_i e x_{i+h} é denominada de correlograma e é determinada pela razão entre a covariância $C(h)$ e o patamar $C(0)$, medido pelo coeficiente de correlação $r(h)$, ver equação 13:

$$r(h) = \frac{C(h)}{C(0)} \quad (\text{Equação 13})$$

É esperado que o valor de $r(h)$ seja $\neq 0$, indicando que os valores das variáveis nos pontos x_i e x_{i+h} estejam correlacionados, portanto, possuem correlação espacial.

4.3.3. Hipótese Intrínseca

Existem algumas situações em que se torna difícil modelar alguns fenômenos naturais porque a variância não estabiliza e, à medida que se aumenta a área de busca dos pares de dados, aumenta-se proporcionalmente a dispersão entre os dados tendendo ao infinito, ou seja, o segundo momento estatístico não é estacionário ou a estacionariedade é fraca. Nesses casos, considera-se a hipótese da existência do semivariograma, entretanto, sem a exigência da estacionariedade da variância.

As hipóteses da estacionariedade de 1ª e 2ª ordens são bastante restritivas, necessitando que os processos cumpram muitas exigências. Em contrapartida, a hipótese intrínseca é menos restritiva que as anteriores e é a mais usada em geoestatística (GUIMARÃES, 2004).

Quando um processo é classificado como estacionário de 2ª ordem, ele também pode ser admitido como hipótese intrínseca, mas o contrário não é verdadeiro. Isso porque, quando é estacionário de 2ª ordem, é pressuposto que os dois primeiros momentos sejam constantes

para toda a área de estudo e, pela hipótese intrínseca, os momentos são constantes apenas para curtas distâncias, onde a variância é finita (NARDI, 2015). Então, para poder aplicar o método da krigagem, é necessário que os processos sejam classificados ou como estacionário de 2ª ordem ou como hipótese intrínseca.

Para ser classificada como hipótese intrínseca, deve admitir que a esperança matemática exista e não dependa da posição da variável $Z(x_i)$, portanto:

$$E[Z(x)] = \bar{x} \quad (\text{Equação 14})$$

Além disso, é necessário que exista a variância da diferença entre as realizações $Z(x_{i+h}) - Z(x_i)$, entretanto, não é dependente da localização da variável.

$$\text{Var}[Z(x_{i+h}) - Z(x_i)] = E\{[Z(x_{i+h}) - Z(x_i)]^2\} = 2\gamma(h) \quad (\text{Equação 15})$$

Se uma função aleatória apresentar estacionariedade de 2ª ordem, ela automaticamente apresenta estacionariedade de 3ª ordem, mas o inverso não é válido. Andriotti (1989) aponta que quando as FA verificam hipótese de estacionariedade de 2ª ordem, os semivariogramas são do tipo Esférico ou Gaussiano, ao passo que, quando as FA verificam hipótese intrínseca, os semivariogramas são de De Wijs ou Linear.

A estacionariedade supõe que haja uma variação entre os dados que pode ser explicada e relacionada por meio do cálculo de semivariogramas. Entretanto, não é uma regra. Então, podem ser aplicados os semivariogramas tanto para as hipóteses da estacionariedade de 2ª ordem quanto para a estacionariedade intrínseca.

4.4. Semivariograma

Na literatura, é comum haver confusão entre as terminologias variograma, denotado por $2\gamma(h)$ e semivariograma, representado por $\gamma(h)$. Na prática, a variância não ajusta à realidade dos dados, como verificado por Matheron na década de 1960 (CLARK, 1979), pois a variância entre os dados aumentava de acordo com a distância (h) entre as amostras, sendo mais bem explicados pela metade da variância, então utiliza-se a semivariância e o gráfico que representa é o semivariograma, em função de h .

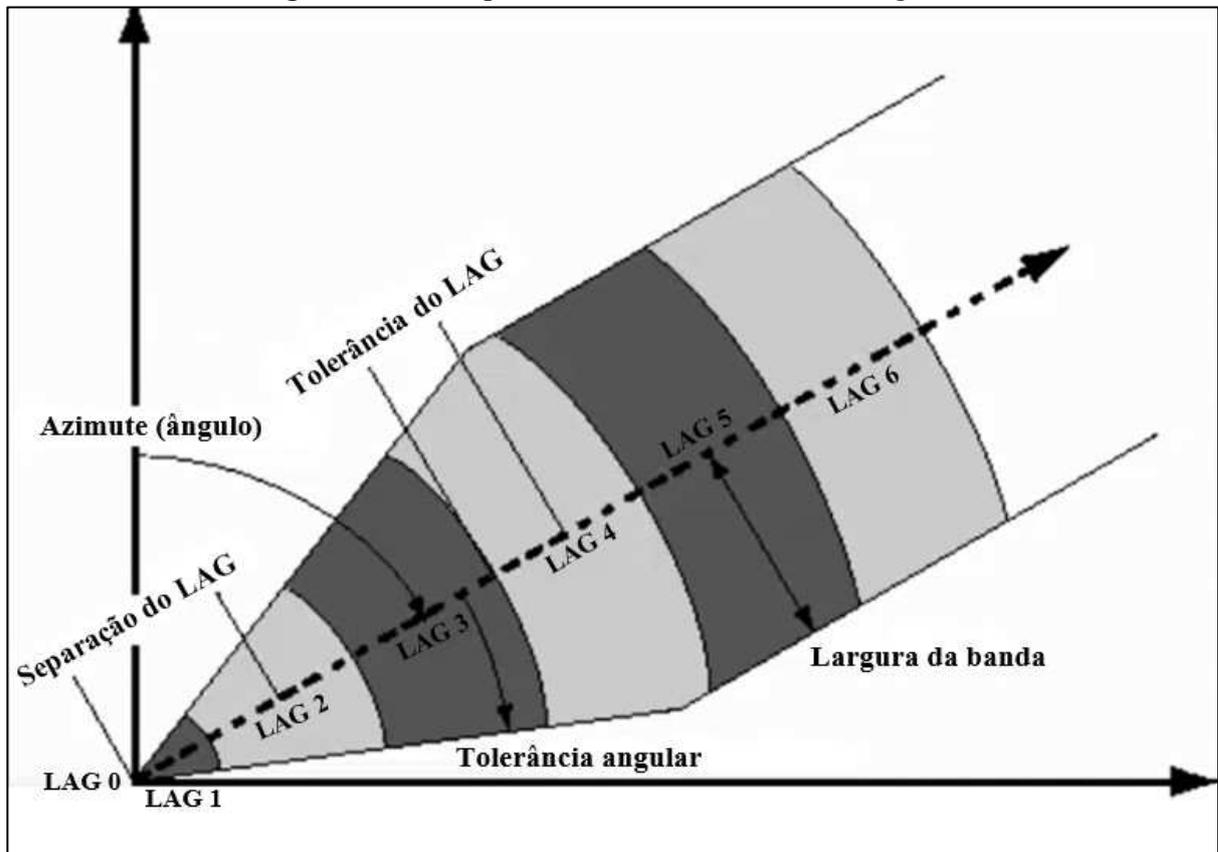
A partir do semivariograma experimental é que se obtêm os parâmetros do modelo ao qual os dados se ajustam, os quais revelam o comportamento espacial de um conjunto de dados, ou das realizações das variáveis aleatórias, como apontado por Clark (1979). A técnica variográfica é representada pelo semivariograma, que é uma função que representa a estrutura do fenômeno analisado, que mede as correlações estatística entre os dados a uma determinada distância (h) e orientação (direção azimutal).

De acordo com Yamamoto e Landim (2013, p. 16), um semivariograma é “[...] a esperança matemática do quadrado dos acréscimos da variável regionalizada em estudo em uma determinada direção definida pelo vetor $h \rightarrow$ ”. Ou seja, é a média do quadrado das diferenças entre todos os pares de dados na área estudada, levando em consideração a distância h entre eles.

Quando se realiza o semivariograma para diferentes direções espaciais e há uma mudança no comportamento dos dados, alterando também os parâmetros dos semivariogramas, diz-se que há a existência de anisotropia, ou seja, o fenômeno estudado possui continuidade espacial limitada a uma ou algumas direções específicas (YAMAMOTO E LANDIM, 2013).

Especificamente sobre os parâmetros de busca no semivariograma experimental, configura-se os intervalos de distâncias (h), os lags que são os múltiplos das distâncias e ainda as direções azimutais, figura 13.

Figura 13 – Componentes de busca do semivariograma



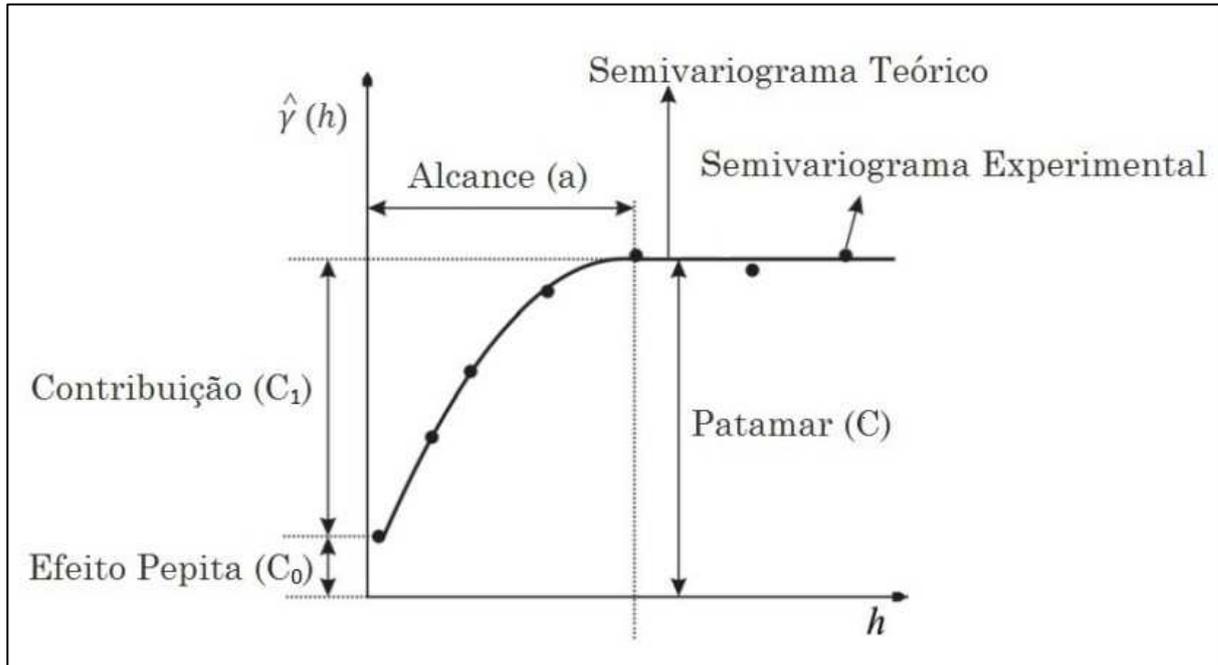
Fonte: Isaaks e Srivastava (1989), adaptado por Petrucci (2020)

O espaçamento h corresponde ao intervalo da distância de procura entre os pares amostrados, sendo o LAG o indicativo dos múltiplos desse espaçamento. A direção de busca é o azimute em graus (0° , 45° , 90° e 135°), podendo ainda ter certa tolerância, onde, geralmente, utiliza-se a metade do valor da direção do azimute definido. A largura de banda é a largura da faixa de busca.

Após definir os componentes de busca do semivariograma, e realizados os devidos ajustes, são encontrados um conjunto de pontos que podem ser plotados em um gráfico cartesiano, no eixo das abscissas é determinado a distância da continuidade espacial (h), geralmente em metros e, no eixo das ordenadas os valores da semivariância $\gamma^*(h)$, com origem

0. As características e parâmetros de um semivariograma experimental está representado na figura 14.

Figura 14 - Parâmetros de um Variograma Experimental $\hat{\gamma}^*(h)$



Fonte: Teixeira e Scalon (2013)

Na figura 14 são apresentados os parâmetros a serem levados em consideração quando da construção de um semivariograma experimental. De acordo com Yamamoto e Landim (2013), o alcance (a), também conhecido pelos nomes de amplitude ou *range*, é a distância a partir do vetor h que se atinge o limite da continuidade espacial, onde a semivariância $\gamma(h)$ atinge o Patamar (C). As amostras que estão dentro desse alcance possuem relação entre si.

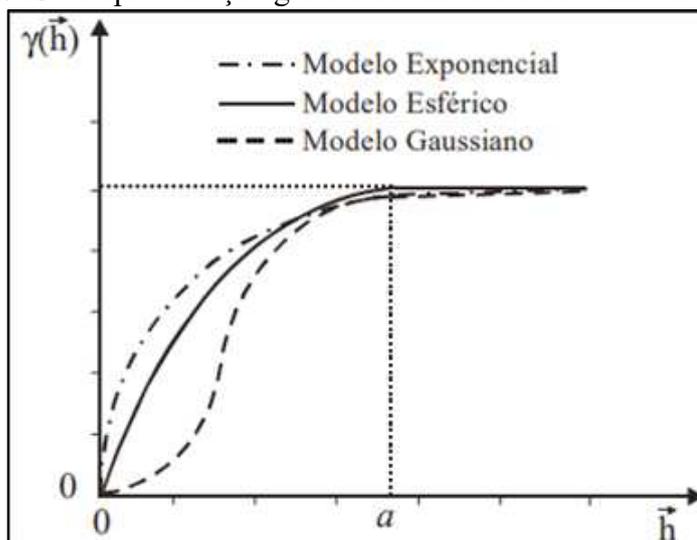
O Efeito Pepita (C_0) também conhecido como *Nugget Effect*, representa uma descontinuidade na origem. De acordo com Isaaks e Srivastava (1989) isso marca irregularidades decorrentes de erros de amostragem ou que há elevada variabilidade a curtas distâncias, sendo diferenças significantes. Essa descontinuidade também ocorre devido à uma variância aleatória nos valores das amostras. Deve-se contornar essa aleatoriedade, por isso eleva-se o ponto de origem. A Contribuição (C_1) ou *Partial Sill* é a diferença entre o Efeito Pepita (C_0) e o Patamar (C), marcando a variância espacial do conjunto de amostras.

O Patamar (C) também conhecido como *Sill*, é o valor da semivariância $\gamma(h)$ no eixo das ordenadas, quando atinge o alcance (a). O patamar também determina o limite da dependência espacial do fenômeno estudado. Para amostras além do alcance, a variância é elevada e se torna invariante com a distância (h). Apesar de ser representado por C, o Patamar é a soma do Efeito Pepita e a Contribuição, portanto, Patamar $C = C_0 + C_1$.

A relação entre os parâmetros do semivariograma para a determinação da continuidade espacial de uma variável aleatória é que a semivariância cresce com o aumento da distância entre as amostras, podendo atingir o patamar (C), que corresponde à variância máxima dos pares de dados em um determinado intervalo de distância. Para a distância de $h = 0$ entre os pares de amostras, tem-se a semivariância $\gamma(0) = 0$, pois não há incremento entre elas, então admitem o mesmo valor. Quanto maior o incremento de h, maior será a variância entre eles, até atingir um valor constante de $\gamma(h)$, determinado pelo alcance (a). A partir desse ponto, as amostras são aleatórias e não possuem correlação espacial.

A projeção em linha reta, onde a distância alcança o patamar é denominado como alcance (*range*), o limite, em distância, da continuidade espacial do fenômeno. Aos parâmetros ótimos é plugado um modelo matemático, dentre os mais utilizados tem-se os modelos esférico, exponencial e gaussiano. Na figura 15 estão representados graficamente os modelos de semivariogramas comumente utilizados, todos eles com o mesmo alcance (a):

Figura 15 - Representação gráfica dos modelos de semivariogramas



Fonte: Camargo, Fucks e Câmara (2004)

De modo geral, é esperado que duas amostras $Z(x)$ e $Z(x + h)$, possuem os mesmos valores se, h for igual a 0. A medida que o valor de h aumenta, as amostras ficam mais distantes entre si, aumentando as diferenças entre elas e, quando a distância h for muito grande, os valores se tornam independentes

a) Semivariograma Esférico (Matheron)

No modelo esférico (Matheron), ou ideal, como apontado por Clark (1979), é o modelo mais utilizado na geoestatística. Possui característica de rápido crescimento a partir da origem e apresenta comportamento linear, ver equações 16 e 17 abaixo:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \text{ quando } 0 \leq |h| \leq a \quad (\text{Equação 16})$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \text{ quando } |h| > a \quad (\text{Equação 17})$$

onde: C_0 é o efeito pepita; C_1 é a Contribuição da dependência espacial; a é o alcance; h é o módulo do vetor $h \rightarrow$;

b) Modelo Exponencial (Fomery)

Este modelo possui elevação abrupta a partir da origem, como pode ser verificado na figura 15 e se estabiliza quando próximo a variância total dos dados, entretanto, nunca atingindo esse valor (Patamar = $C = C_0 + C_1$), a isso diz-se que é alcançado de forma assintótica, ou seja, quando o h tende ao infinito (∞). Na prática, o alcance é igual a $3a$.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - e^{-3\frac{|h|}{a}} \right), \text{ para } 0 < |h| \leq a \quad (\text{Equação 18})$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \text{ quando } |h| \geq a \quad (\text{Equação 19})$$

Onde: C_0 é o Efeito Pepita; C_1 é a Contribuição da dependência espacial; “ h ” a distância; “ a ” é o range teórico; “ e ” é base dos logaritmos neperianos.

c) Semivariograma Gaussiano (Parabólico):

Esse tipo de semivariograma experimental é muito utilizado para modelar fenômenos contínuos, apresenta grande amplitude, o Patamar (C) é muito semelhante à do modelo exponencial e possui característica de uma função parabólica próximo à origem. Andriotti (1989) explica que esse é o modelo teórico mais regular possível devido à curva do semivariograma tangente na origem e a presença do efeito pepita.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - e^{\left[-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right]} \right), \text{ para } 0 < |h| \leq a \quad (\text{Equação 20})$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \text{ quando } |h| \geq a \quad (\text{Equação 21})$$

Onde: C_0 é o Efeito Pepita; C_1 é a Contribuição da dependência espacial; “h” a distância; “a” é o range teórico; “e” é base dos logaritmos neperianos.

Nesse modelo, o valor do alcance (a) também é puramente analítico no campo teórico. No campo prático, o valor do alcance admitido como $\sqrt{3} * a$. A presença do efeito pepita (C_0) nesse modelo, remete à elevada variabilidade entre os pares de dados a curtas distâncias, próximo à origem, uma vez que esse modelo apresenta grande regularidade.

4.5. Krigagem

A Krigagem é um dos métodos de interpolação mais eficientes, no que diz respeito a minimização dos erros, e tem como objetivo gerar estimativas em um ponto não amostrado com base nas informações e nas distâncias entre as amostras vizinhas (CLARK, 1979). A modelagem dos dados contempla a construção do semivariograma e, conseqüentemente, análise da variância, que irá determinar a dependência espacial e os limites dos fenômenos

Concernente ao processo da krigagem, Silva (2019) explica:

O método de krigagem é determinado como sendo o inverso da distância, onde as distâncias utilizadas não são mais as cartesianas e, sim, as distâncias estatísticas. Deste modo, não se mede mais a distância em metro, mas sim em correlação, que é um meio de se medir a distância estatisticamente, pois, não basta dois pontos estarem próximos geograficamente se os mesmos não estiverem correlacionados. Assim, comparando-se valores de um ponto em relação a outros dois pontos, o mais significativo, talvez, não seja o mais próximo, mas, sim, o que apresentar maior correlação. Agora, o conceito de perto ou longe torna-se estatístico, as medidas que interessam são de similitude dos fenômenos naturais (p. 36).

A vantagem sobre o processo da krigagem em relação a outros métodos de interpolação, é a atribuição de pesos (λ) para as amostras. Enquanto nos demais métodos é utilizada a distância cartesiana (h) entre as amostras para estimar valores, na krigagem, verifica-se quais amostras possui maior correlação para a estimação de valores, com isso, atribui-se maior importância para umas amostras em detrimento de outras. Não é via de regra que amostras mais próximas serão as mais bem correlacionadas, mas de forma geral, é assim que se aplica.

A atribuição de pesos das amostras é expressa pela equação 22:

$$Z_K^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i * Z_{x_i} \quad (\text{Equação 22})$$

Onde: λ_i são os ponderadores; Z_{x_i} são os dados experimentais; N o número de vizinhos; Z_K^* é o estimador da krigagem. O * indica que são os dados estimados.

Levando em consideração a heterogeneidade dos espaços e as dinâmicas atuantes sobre eles e que podem diversificar os fenômenos, por exemplo a precipitação, parece mais sensato utilizar um ponderador às amostras, ou seja, além de considerar a distância entre as amostras para estimar dados, considerar também a relação espacial (correlação) entre essas amostras. É importante que todas as amostras disponíveis sejam levadas em consideração. Quanto mais amostras, elimina os excessos otimizando o processo e melhorando as estimativas.

Durante o processo, de acordo com Andriotti (1989), o método da Krigagem leva em consideração:

- a) o número de amostras utilizadas;
- b) as posições das amostras na área a ser avaliada;
- c) as distâncias entre as amostras e a zona a ser estimada;
- d) a continuidade espacial da variável em estudo; (p. 42)

Cabe agora ressaltar a importância da amostragem não somente inserida na região de estudo, mas também próxima a ela, diminuindo o erro nas extremidades (a supervalorização ou subestimação de valores), como apontado por Viviani e Manzato (2005). Quando se pretende

estimar dados para todos os locais da área de estudo, por exemplo uma bacia hidrográfica, pode ser que não haja dados nos limites dessa bacia, sendo, que as estimativas realizadas nessas localidades são baseadas em amostras mais interioranas dessa bacia. Então, é comum utilizar dados que extrapolem o limite da área de estudo para que haja uma aproximação dos valores reais.

Existem diferentes tipos de krigagem, por exemplo, simples, ordinária, universal, indicativa, probabilística, disjuntiva entre outros. A escolha do melhor tipo de krigagem, de acordo com Oliveira (1997) e Grego e Oliveira (2015), varia em função do pressuposto da estacionariedade, nas particularidades de obtenção das funções que serão combinadas para estimar os dados, ou mesmo quanto aos intervalos de incertezas. A krigagem ordinária é a mais utilizada em geoestatística. Abaixo são apresentadas características sobre os diversos tipos de krigagem, baseadas em Guimarães (2004), Jakob e Young (2006), Santos (2010), Santos et al. (2011), Fonseca (2011), Almeida (2013) e Silva (2019).

a) Krigagem simples é utilizada quando há a existência da média conhecida do processo estocástico, assim, ela não é estimada a partir das realizações de $Z(x)$;

b) Krigagem ordinária é a mais utilizada devido à simplicidade de aplicação, as estimativas são geradas por meio das médias móveis ponderadas, que usa das informações extraídas das estruturas modeladas pelos semivariogramas, além de proporcionar as incertezas de predição, ou seja, os erros de estimativa, por meio da variância da krigagem. É o tipo de krigagem utilizado nesse trabalho;

c) Krigagem Universal é utilizada quando o processo não obedece à condição de estacionariedade das estimativas, portanto existindo tendência nos dados. As estimativas são dependentes dos valores dos pontos e não das distâncias. A base do cálculo dessa krigagem é a média local $[m(x)]$. Utiliza-se uma regressão entre as coordenadas dos pontos, considerando-as

como as variáveis explicativas, não assume independência dos valores de erro, mas sim, modela-se os valores e depois realiza a autocorrelação entre eles;

d) Krigagem indicativa é um modelo não linear da krigagem, a função aleatória $F(x)$ agora é uma variável binária, os dados amostrais são transformados via codificação por indicação (*cutoff*), assumindo valores 0 ou 1 e, modela-se a incerteza sobre o valor a ser estimado com base em uma função de distribuição acumulada condicional. Ela é indicada para evitar problemas com a estimação de valores pela presença de poucos pontos amostrais com valores altos, em regiões que possuem valores baixos. A vantagem desse tipo de krigagem é que ele consegue modelar dados com elevada variabilidade, além de não sofrer influências de *outliers*;

e) Co-krigagem - difere-se dos métodos tradicionais lineares devido à utilização de múltiplos dados, ou seja, a estimação de valor(es) que dependa ou que possa ser explicada por mais de uma variável, e elas possuem elevado grau de correlação. Para cada local amostrado define-se um vetor de valores, sendo variável “primária”, a que se deseja estimar, e as demais variáveis envolvidas são denominadas de “secundárias”. A dificuldade em se trabalhar com esse método é o tamanho das equações geradas e a possibilidade de determinar pesos negativos às amostras. Também apresentam medidas de acurácia e possibilita a suavização do erro;

Concernente às vantagens e desvantagens da aplicação do método da krigagem, bem como quando da utilização desse método, está sumarizado no quadro 3, de acordo com Landim (2000, p. 11), justificando assim sua utilização:

Quadro 3 - Vantagens e Desvantagens da utilização do método da krigagem para estimação de dados

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> • parâmetros adequados de amostragem: número de amostras, distribuição e densidade; • parâmetros adequados de busca: tamanho da área de busca, forma (circular ou elipsoide) e, se elipsoide, orientação do eixo principal; • parâmetros adequados da grade: tamanho das células, forma e orientação; • natureza da distribuição espacial da variável investigada: uniformidade da distribuição, 	<ul style="list-style-type: none"> • O usuário pode não compreender o uso dos controles matemáticos e apesar disto resultados são sempre obtidos. • É necessário tempo para preparo do variograma e entendimento de geoestatística. • Pode não ser possível a construção de um variograma adequado devido à natureza da variação espacial da variável analisada. Isto pode

<p>importância relativa da influência espacial x casual;</p> <ul style="list-style-type: none"> • previsibilidade da variação espacial da variável avaliada. • se o variograma for apropriado controla a krigagem, com as seguintes vantagens: <ul style="list-style-type: none"> • evita ponderação arbitrária dos pontos amostrados; • permite a determinação das melhores estimativas sem tendenciosidade: o melhor estimador é aquele que produz a melhor precisão (menor variância); • permite o estabelecimento de limites de confiança, indicando se os resultados são aceitáveis e se a estratégia de amostragem deve ser modificada; • precisão, contornos suaves, artefatos indesejáveis raros a não ser nas bordas do mapa. • interpolador exato: os valores estimados para os nós das células é exatamente igual ao valor amostrado naquela posição. • estima além dos limites máximo e mínimo dos valores dos pontos amostrados. • modela tanto tendências regionais quanto anomalias locais. • calcula variâncias dos pontos estimados (erros), que podem ser utilizadas para: <ul style="list-style-type: none"> • quantificar um intervalo de valores (\pm) para os pontos estimados, definindo estimativas realistas; • calcular intervalos de confiança para verificar a probabilidade de os valores ocorrerem dentro de um intervalo de ± 2 unidades de desvio padrão da média; variâncias mapeadas podem indicar locais para adensamento da amostragem 	<p>ocorrer devido à magnitude da amostragem e por erros analíticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requer longo tempo de computação para grupos de dados grandes ou complexos. • Necessidade de software capacitado.
QUANDO USAR	QUANDO NÃO USAR
<ul style="list-style-type: none"> • Estiverem presentes tanto tendências regionais quanto anomalias locais. • Anomalia local não presente em toda a área, por ex. em ambiente fluvial. • Quiser estimar com base em uma média global. • Tiver dados irregularmente amostrados ou agrupados (<i>clustered</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> • Menos de 30 pontos amostrados: número insuficiente de pares para modelar o variograma. • Valores discrepantes de Z: removê-los antecipadamente. • Erro grande e inexplicado (efeito pepita pronunciado). • Amostras de populações Diversas

Fonte: Landim (2000)

4.5.1. Krigagem Ordinária

As técnicas de Krigagem podem ser classificadas como: Lineares, quando não há necessidade de usar qualquer transformação nas variáveis, assim, trabalhando com os dados na escala original; e Não Lineares, quando há necessidade de transformar previamente os dados à determinados modelos não-lineares. Entre os métodos de krigagem lineares, destacam a

Simples, Ordinária e Médias Ponderadas, entre os não-lineares, se destacam a Indicativa, Lognormal e Multigaussiana.

Na Krigagem Ordinária, assume-se que a média seja constante e desconhecida, uma vez que os dados obedecem à hipótese de estacionariedade de 2ª ordem, então, não há a necessidade de se utilizar a média, mas sim, as diferenças ao quadrado entre as posições dessas amostras, que são os valores dos semivariogramas (discutido na seção posterior).

A definição da krigagem ordinária, segundo Yamamoto e Landim (2013), “[...] é um método local de estimativa e, dessa forma, a estimativa em um ponto não amostrado resulta da combinação linear dos valores encontrados na vizinhança próxima (YAMAMOTO E LANDIM, 2013, p. 69). Esse método utiliza um estimador linear não viciado com variância mínima, que é intitulado de BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*) para realizar a interpolação da variável aleatória em locais não amostradas (ISAAKS, SRIVASTAVA, 1989).

Há duas condições da krigagem ordinária que a considera como um dos melhores e mais usados métodos de interpolação, primeiro, o estimador não considera uma possível tendência nos dados, e segundo, a variância é mínima.

4.6. Erros de estimativas (resíduos)

Um dos pressupostos básicos do método da krigagem e o que o diferencia dos demais métodos de interpolação é a indicação dos erros de estimativa. Para todo processo de geração de estimativas há uma incerteza associada que é inerente ao processo, como apontado por Clark (1979). O erro (ε), também denominado de resíduo de estimativa pode ser expresso pela equação 23:

$$\varepsilon_i = Z_i^* - Z_i \quad (\text{Equação 23})$$

Onde: ε_i é o erro de estimativa; Z_i^* é o dado (Z) estimado no ponto i; Z_i é o valor real observado.

Zeni (2019) explica que é necessário presumir que para toda predição de dados há uma incerteza relacionada e, ela deve ser conhecida e quantificada porque, geralmente está associada à tomada de decisões importantes. Então, para garantir resultados satisfatórios, aqueles com menos resíduos possíveis, há a necessidade de se analisar os erros de estimativas. É importante frisar que o modelo a ser utilizado é que deve se ajustar aos dados e não o contrário (JAKOB E YOUNG 2006) pois, se forçar os dados a se ajustar os modelos, aumenta os desvios em relação ao modelo, fazendo com que haja maior variação, conseqüentemente aumentando os erros.

Clark (1979) salienta que um processo de estimativa é considerado confiável observando a disseminação dos seus erros. Se não houver muita dispersão, os valores de erro forem próximos de 0, o método é considerado ótimo, por outro lado, se os valores de erros forem elevados, o modelo não é considerado confiável. Vicente-Serrano, Saz-Sánchez e Cuadrat (2003) explica que devem ser usadas estatísticas sobre as estimativas, para verificar a concordância entre o modelo e a realidade.

Entre os métodos de avaliação dos erros de estimativas, destaca-se a Validação Cruzada (*Cross Validation*), que consiste na retirada de um valor de um ponto conhecido e substituí-lo pelo valor estimado pela krigagem, como se aquele valor não existisse e, esse processo é repetido para todos os pontos amostrados (ANDRIOTTI, 2002; LUNDGREN, SILVA e FERREIRA, 2017). A partir disso, obtêm-se a regressão entre os dados observados e estimados, além de um gráfico de correlação com indicação do coeficiente de correlação (r).

4.7. Índices de Seca

A estatística e a geoestatística são ferramentas valiosas que auxiliam na compreensão dos fenômenos climáticos, “O entendimento da dinâmica climática associado ao tratamento

geoestatístico do clima com base em uma série de dados são elementos primordiais para definição do ritmo climático de uma região, bem como para delimitar, estatisticamente, os eventos extremos” (QUEIROZ E ASSUNÇÃO, 2013, p. 450). Destarte, a partir de uma série de dados de precipitação pode-se aplicar técnicas estatísticas e geoestatísticas a fim de identificar a extensão da ocorrência (início e fim), a magnitude e a recorrência desse fenômeno em determinado espaço em um certo período.

A partir da necessidade de conhecimento, identificação e classificação das secas, ao longo do século XX, foram desenvolvidos índices para determinar regiões com ocorrência(s) de seca(s), a partir de dados de uma natureza ou variados, com o objetivo de padronização e comparação das secas entre regiões (ROSA, 2011). De acordo com Zargar et. al. (2011) os índices de seca são parâmetros quantitativos (representações matemáticas) que utilizam de dados para determinar os níveis de seca e são mais eficientes que os dados brutos.

Os índices de seca têm o intuito de identificar o começo de uma seca e o seu término e, avaliar suas intensidades em termos de severidade. Os índices de seca têm sido uma das ferramentas mais úteis para compreender e lidar com estes fenômenos, permitindo análises às suas características temporais e espaciais, a sua monitorização, e contribuindo, até certo grau, para a sua predição. (ROSA, 2011, p. 4).

Dentre os índices mais utilizados, destacam-se: PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) desenvolvido por Palmer em 1965 e o SPI (*Standardized Precipitation Index*) desenvolvido por McKee et al. em 1993 e 1995. O PDSI é o método mais utilizado dos EUA e são necessários de dados de precipitação, temperatura e umidade do solo em que são feitas relações na oferta e demanda de água ao invés de cálculos sobre anomalias de precipitação. O SPI é amplamente utilizado em todo o mundo, sendo recomendada a sua utilização no Brasil pelo Instituto Nacional de Meteorologia.

O princípio do SPI é calcular as anomalias de precipitação em períodos definidos em função das probabilidades de precipitação além de verificar os períodos secos e a severidade dos mesmos (ROSA, 2011; ZARGAR, et. al., 2011; MACIEL, 2017). Contudo, desvantagens de aplicações para os índices supracitados são evidenciados por Blain e Brunini (2007), Rosa (2011) e Zargar (2011). Entre elas, para o PDSI, a generalização das conclusões e problemas de estabelecimento conciso sobre as condições do balanço hídrico do solo, entre outras questões específicas. Para o SPI, Pita Lopez (2000) aponta problemas relacionados ao estabelecimento prévio de uma duração fixa (meses) e, para o cálculo da intensidade, a duração fixa não acumulada no início reflete nos acúmulos de uma sequência longa de seca.

Dito isso, a autora supracitada desenvolveu um índice de avaliação de secas, o Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas (IESP), em que são utilizados dados de precipitação (totais mensais) e calculados os desvios em relação à mediana da precipitação do referido mês e acumuladas. A padronização da distribuição, variação da precipitação em torno da mediana, possibilita que os valores encontrados possam ser comparados com as demais regiões (PITA LOPEZ, 2000).

“Por causa da complexidade das secas, nenhum único índice tem sido hábil para capturar adequadamente a intensidade e a severidade das secas e os possíveis impactos e sobre um grupo tão diverso de usuários” (HEIM JR., 2002, p. 1150). Dito isso, não há melhor ou pior índice de seca, mas sim índices que melhor ou pior representam as frequências de ocorrências e severidade da seca em determinada região, questão relacionada à melhor aplicabilidade, para precisar com melhor acurácia esse fenômeno.

O Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas (IESP) é um método estatístico desenvolvido por Pita Lopez (2000) que tem como objetivo principal identificar períodos de secas pluviométricas. O princípio do IESP consiste no cálculo das anomalias de precipitações

mensais em relação à mediana mensal da série histórica, acumulando os valores dos desvios e depois padronizando-os.

A partir de sua aplicação, é possível determinar o período exato das estações secas e úmidas (meses e anos de início e término), e a severidade (quanto maior o desvio maior a intensidade dos eventos, tanto positivos quanto negativos). Devido as anomalias serem mensuradas a partir de variações em relação à mediana, e não pela média como demais índices, como o SPI (*Standardized Precipitation Index* ou Índice de Precipitação Padronizado), por exemplo, dá maior confiabilidade à distribuição, visto que os valores extremos ou *outliers* não induzem à uma elevação ou diminuição dos valores de tendência central, não intensificando ou atenuando as condições de secas ou umidade.

O acumulado dos valores se dá a partir de uma dada ocorrência, seja condição de umidade ou de seca e, o valor de IESP do mês seguinte possuir o mesmo sinal (positivo para úmido e negativo para seca). Enquanto suceder valores com os mesmos sinais, eles serão acumulados, aumentando a permanência desses eventos intensificando a severidade. Quando há ocorrência de um valor mensal que diferente ao do mês anterior, os valores são somados, suavizando gradualmente a curva, de modo que não haja mudança abrupta de condições nos ciclos. Valores iguais a zero não interferem na contagem dos valores, caracterizando estabilidade e manutenção dos valores anteriores.

Peña-Gallardo et al. (2016), comparando a aplicação de três índices de seca, a saber: IESP (Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas), SPI (Índice de Precipitação Padronizado) e SPEI (Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração), na região de Andaluzia, ao sul da Espanha, verificou que os resultados do IESP apontaram períodos de seca mais longos e homogêneos, sem mudanças abruptas nos ciclos secos/úmidos. Isso remete à utilização da mediana como referência estatística, visto que tanto o SPI quanto o SPEI utilizam a média aritmética como medida de centralidade, aumentando a alternância entre períodos

secos/úmidos repentinamente, dificultando a delimitação dos períodos secos e compreensão dos eventos de secas pluviométricas.

Petrucci e Oliveira (2018) ao aplicar o IESP no interior do estado do Ceará, conseguiram definir as secas, quanto ao período de início e término dos desvios negativos (que caracterizam as secas) bem como as magnitudes (severidades) desses eventos, e concluíram, por meio da aplicação desse método, uma possível alteração no regime climático na referida região, somente pelas características das ocorrências das secas. Blanquero et al. (2012) ao realizarem predição das secas com durabilidade de 12 meses, na região de Andaluzia (Espanha), com base no método do IESP, conseguiram a definição precisa dos eventos se seca e realizar estimativas confiáveis, para previsões no período de até 1 ano, com porcentagens de erros muito reduzidos.

Ruiz Álvarez et al. (2016) ao aplicarem o IESP para a região de Murcia (Espanha), que compreende climas mediterrâneos e litorâneos, verificaram que para as estações pluviométricas localizadas na região mediterrânea, aumento de frequência de ocorrência e intensidade das secas nos últimos 30 anos, em detrimento das estações localizadas na porção litorânea, apresentando um clima mais regular, não perceberam tais resultados. Também assinalam que a intensificação das ocorrências de secas acarretam importantes consequências socioeconômicas e territoriais.

Petrucci, Oliveira e Silva (2022) aplicaram o IESP para o todas as estações pluviométricas convencionais no estado de Minas Gerais e verificaram que todas as mesorregiões de Minas Gerais registraram secas pluviométricas no período analisado, também foi possível determinar os períodos exatos de início e término de tais eventos. Outro resultado interessante obtido pelos autores é que, nas regiões de maiores ocorrências das secas, houve também as maiores permanências desses eventos e sem relação direta com as fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENSO.

Enfim, as aplicações do IESP em território brasileiro ainda não pontuais, havendo necessidade de maiores estudos para verificar a adaptabilidade desse índice na região tropical.

5. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse capítulo, serão descritos os materiais e métodos envolvidos na pesquisa e, que de modo sumarizado estão contidos nas seções 4.1 a 4.7. Foram utilizados os softwares de geoestatística SGeMS⁵ e GS+Win⁶, Sistemas de Informação Geográfica - SIGs QGIS e, ainda o Microsoft Excel:

- I- Aquisição e tratamento inicial dos dados, aplicação dos métodos estatísticos para avaliação da consistência dos dados precipitação mensal;
- II- Tratamento e inferência estatística básica para obtenção de informações preliminares sobre o comportamento da precipitação;
- III- Aplicação e análise dos resultados do IESP;
- IV- Modelagem geoestatística para produção de estimativas e respectivos erros;
- V- Processamento SIG, integração dos dados modelados pela geoestatística e produção de mapas;

5.1. Estações Pluviométricas

Foram utilizados dados mensais de precipitação de 190 estações, com dados consistentes, série histórica entre 1985 e 2018, localizadas no limite da Bacia, obtidos na Agência Nacional de Águas – ANA, no Portal HIDROWEB⁷. As estações estão distribuídas por sete estados, sendo eles: Alagoas (7), Bahia (41), Goiás (1), Minas Gerais (124),

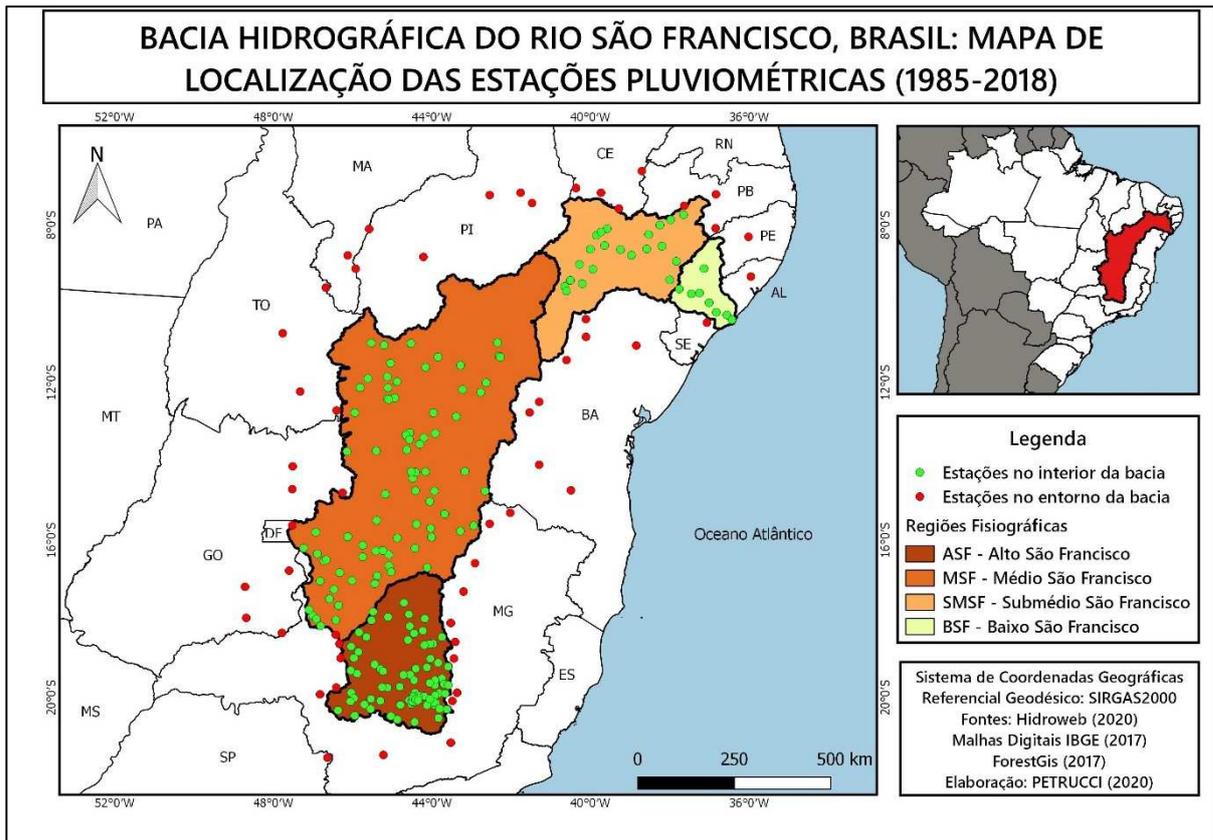
⁵ STANFORD GEOSTATISTICAL MODELING SOFTWARE (SGeMS), Versão 2.5 Beta – 64bits. Disponível em: <<http://sgems.sourceforge.net/?q=node/77>>. Acesso em jan/2020.

⁶ GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA, 2020. Disponível em: <<http://www.gammadesign.com/>>. Acesso em: jan/2020.

⁷ Portal HIDROWEB. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em mar/2018.

Pernambuco (16) e Sergipe (1). Informações das estações, tais como: código, nome, município, estado, coordenadas geográficas e altitude estão sumarizadas no quadro 07 e 08 (em anexo), bem como o mapa de localização, figura 16.

Figura 16 - Mapa de localização das estações pluviométricas dentro e no entorno à bacia hidrográfica do rio São Francisco, Brasil, período de dados de 1985 a 2018



Fonte: Petrucci (2020)

A distribuição das estações por região fisiográfica ficou a seguinte: 81 estações no ASF; 80 estações no MSF; 21 estações no SMSF; e 8 estações no BSF. Entre as regiões do MSF e SMSF não foi possível obter estações com dados consistentes entre o período de 1985 a 2018, devido a quantidade de falhas nos dados, por isso há uma carência de estações pluviométricas nessa porção da bacia.

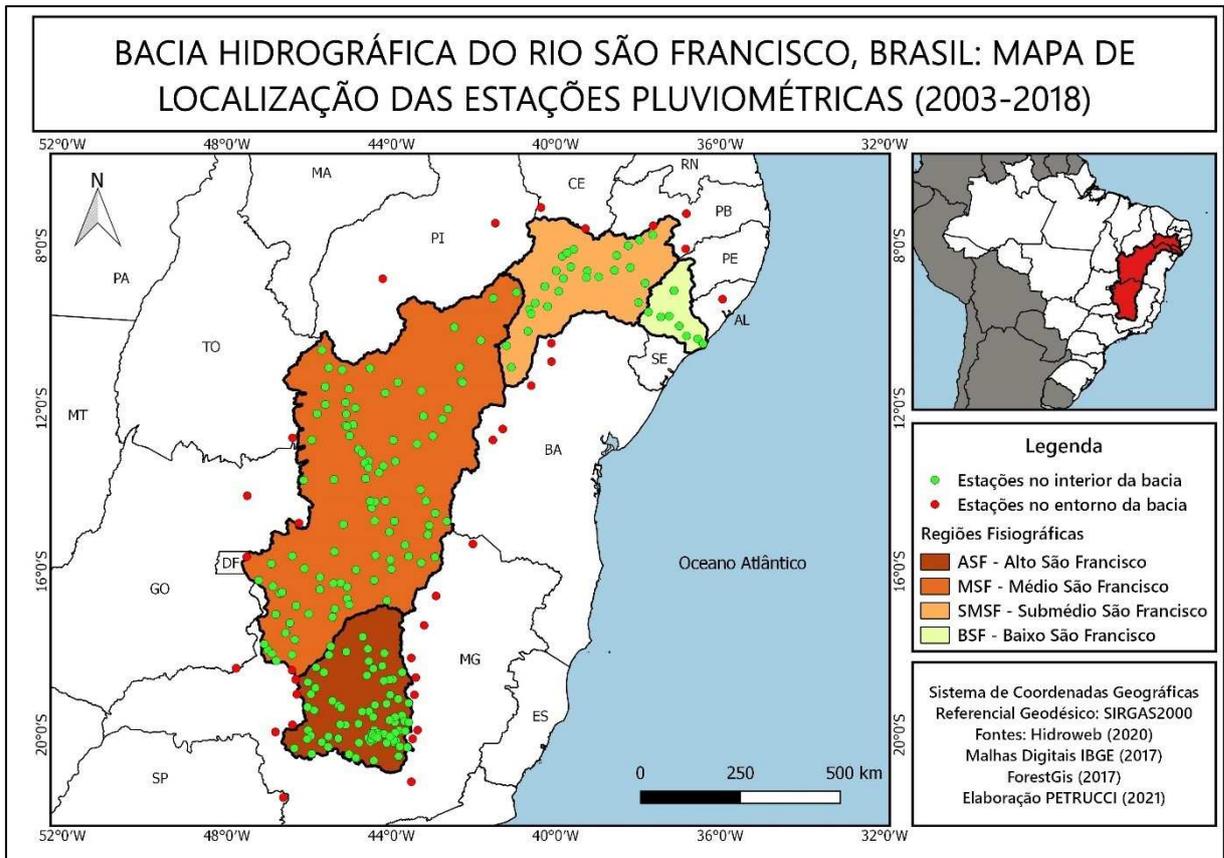
Essa lacuna de estações pluviométricas na região supracitada, quando da realização da espacialização dos resultados obtidos sobre a precipitação média anual, dos meses secos e das anomalias negativas de precipitação, produziram resultados pouco satisfatórios, com valores

muito elevados de erros de estimativas devido à distância entre as estações, que contradiz com um dos objetivos principais dessa tese, que é a minimização dos erros de estimativas.

Durante as análises dos resultados, no período entre 1985 e 2020, foi possível verificar que, entre 2000 e 2018 há uma alteração no comportamento da distribuição da precipitação média anual, a nível de bacia, com redução significativa dessa variável para todas as regiões fisiográficas. Ademais, foi possível verificar que há uma concentração das ocorrências das anomalias negativas de precipitação, durante a década de 2010, sobretudo a partir de 2015, como pode ser verificado nas seções 6.3 e 6.4, que discorre sobre os resultados do Déficit Extremos de Precipitação (DEp) e Meses Secos, respectivamente.

Devido a essas razões, optou-se pela redução das séries históricas de precipitação, passando do período de 34 anos (1985/2018) para 16 anos (2003/2018) que abrange os períodos mais críticos das ocorrências dos eventos extremos de secas na BHSF e houve a possibilidade de inserção de novas estações pluviométricas onde a densidade de estações era baixa. A partir disso, foram introduzidas 21 novas estações no interior da bacia, totalizando agora 211 estações. Concernente as estações ao entorno da bacia, também houve ajuste, sendo reduzidas de 54 para 33, como pode ser observado no mapa da figura 17:

Figura 17 - Mapa de localização das estações pluviométricas dentro e no entorno à bacia hidrográfica do rio São Francisco, Brasil, período de dados de 2003 a 2018



Fonte: Petrucci (2021)

As informações sobre as novas estações estão em anexo, tanto das estações que foram incluídas no interior da bacia, quanto das estações que foram excluídas no entorno da bacia, nos quadros 09 e 10, respectivamente.

Então, no capítulo 6, dos Resultados e Discussão, haverá a análise estatística da precipitação (totais anuais, médias anuais, médias mensais) e dos índices para a caracterização das secas (IESP, Meses Secos e Anomalias Negativas), para o primeiro período analisado, série histórica de 34 anos, entre 1985 e 2018 e, logo após, será feita análise das mesmas variáveis para o segundo período, série histórica de 16 anos, entre 2003 a 2018, que será o período referência para as análises geoestatísticas, espacialização de dados e produção dos mapas finais.

5.2. Hipótese da Estacionariedade

Para a aplicação da geoestatística nas funções aleatórias e realização das inferências estatísticas, existem algumas hipóteses restritivas que os dados devem obedecer. A principal delas é a suposição de que os dados sejam estacionários. Há três hipóteses para a verificação da estacionariedade, sendo elas: estacionariedade estrita, estacionariedade de 2ª ordem e, hipótese intrínseca.

a) estacionariedade estrita (ou de 1ª ordem):

A função aleatória é considerada estacionária estrita, quando se verifica a hipótese de que o primeiro momento estatístico (média) não dependa do valor no ponto x_0 ou x_0+h , sendo que, em qualquer ponto, a constante determinística $m(x)$, seja a mesma do valor da função aleatória $Z(x)$. Assim, as circunstâncias que determinam os valores dentro de um espaço, se repete por todo o espaço analisado. Para satisfazer essa condição,

$$E[Z^1(x)] = E[Z^1(x_1)] = E[Z^1(x_1 + h)] = \mu_1(x), \text{ para qualquer vetor } h \quad (\text{Equação 24})$$

Onde: $E[Z^1(x_1)]$ ou μ_1 é a esperança matemática para a variável $Z(x)$ no ponto 1

b) estacionariedade de 2ª ordem:

A função aleatória é considerada estacionária de 2ª ordem quando os dois primeiros momentos estatísticos existam e são conhecidos, entretanto, o primeiro momento (média = $\mu(x)$) é constante a partir da origem e, a covariância seja um valor menor que infinito, de modo

que, $C(h) < \infty$ e, independente do ponto inicial (x_0), mas dependente do vetor h , ou seja, ela varia de acordo com a distância à qual as variáveis estão espaçadas umas das outras. Para isso:

$$C(x, x + h) = E[Z(x) * Z(x + h)] - \mu^2 \quad (\text{Equação 25})$$

$$C(x, x + h) = C(h) \quad (\text{Equação 26})$$

Quando tiver a situação $h = 0$, a covariância é igual a variância:

$$C(0) = E[Z^2(x)] - \mu^2 = \text{Var}[Z(x)] \quad (\text{Equação 27})$$

Com isso, pressupõe-se que a variância também seja um valor constante a partir da origem e admita um valor finito.

$$\text{Var} [Z(x)] = E[Z^2(x)] - \{E[Z(x)]\}^2 = m^2(x) - [m_1(t)]^2 \quad (\text{Equação 28})$$

Se tanto a variância quanto a covariância são estacionários, isso implica na estacionariedade do semivariograma também:

$$\gamma[Z(x_i), Z(x_{i+h})] = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (\text{Equação 29})$$

$$C(h) = E\{Z(x + h) * Z(x)\} - m^2, \forall x \quad (\text{Equação 30})$$

Assim, satisfeitas as condições acima, de média e covariância independentes dos pontos iniciais, mas dependente somente da distância (h) entre as variáveis, assume-se a exista uma variância C_0 finita entre as variáveis, expressa por:

$$\text{Var}\{Z(x)\} = E\{[Z(x) - m]^2\} = C_0, \forall x \quad (\text{Equação 31})$$

E, admitindo a existência da variância (Var), os dados podem ser estruturados segundo o Variograma:

$$2\gamma(h) = E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\} \quad (\text{Equação 32})$$

Comumente, utiliza-se a expressão variograma, como sendo “duas vezes a diferença entre os valores localizados nos pontos (x) e (x + h) ao quadrado”. Entretanto, na realidade, essa variância não ajusta à realidade dos dados, como verificado por Matheron na década de 1960 (CLARK, 1979), pois a variância entre os dados aumentava de acordo com a distância (h) entre as amostras, sendo mais bem explicados pela metade da variância, então utiliza-se a semivariância, expressa por:

$$C_0 - C(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\}, \forall x \quad (\text{Equação 33})$$

b) Hipótese Intrínseca:

Existem algumas situações em que se torna difícil modelar alguns fenômenos naturais porque a variância não estabiliza e, à medida que se aumenta a área de busca dos pares de dados, aumenta-se proporcionalmente a dispersão entre os dados tendendo ao infinito, ou seja, o

segundo momento estatístico não é estacionário ou a estacionariedade é fraca. Nesses casos, considera-se a hipótese da existência do semivariograma, entretanto, sem a exigência da estacionariedade da variância.

Para ser classificada como hipótese intrínseca, deve admitir que a esperança matemática exista e não dependa da posição da variável $Z(x_i)$, portanto:

$$E[Z(x)] = \mu \quad (\text{Equação 34})$$

Além disso, é necessário que exista a variância da diferença entre as realizações $Z(x_{i+h}) - Z(x_i)$, entretanto, não é dependente da localização da variável.

$$\text{Var}[Z(x_{i+h}) - Z(x_i)] = E\{[Z(x_{i+h}) - Z(x_i)]^2\} = 2\gamma(h) \quad (\text{Equação 35})$$

Se uma Função Aleatória apresentar estacionariedade de 2ª ordem, ela automaticamente apresenta estacionariedade de 3ª ordem, mas o inverso não é válido. Andriotti (1989) aponta que quando as FA verificam hipótese de estacionariedade de 2ª ordem, os semivariogramas são do tipo Esférico ou Gaussiano, ao passo que, quando as FA verificam hipótese intrínseca, os semivariogramas são de De Wijs ou Linear.

Como já mencionado no capítulo 3, a estacionariedade supõe que haja uma variação entre os dados que pode ser explicada e relacionada por meio do cálculo de semivariogramas. Entretanto, não é uma regra. Então, podem ser aplicados os semivariogramas tanto para as hipóteses da estacionariedade de 2ª ordem quanto para a estacionariedade intrínseca.

5.3. Tendência

As amostras de dados são valores pontuais de um dado fenômeno que ocorre em um determinado tempo sobre um espaço. Contudo, o conjunto das amostras pode apresentar tendência ou flutuações de ordem locais ou globais que necessitam ser removidas, pois os métodos de interpolação, como a Krigagem, pressupõe o não enviesamento dos dados, infringindo um dos preceitos da geoestatística. Dessa forma, considerando a existência de tendência, não há a possibilidade de considerar a estacionariedade dos dados, pois não deve haver variação dos parâmetros estatísticos ao longo do tempo.

De acordo com Camargo, Fucks e Câmara (2004), o processo de retirada da tendência de uma superfície é feita por meio de “[...] um ajuste polinomial aos dados, através de um processo de regressão múltipla entre os valores do atributo e as localizações geográficas” (p. 8). A regressão múltipla é realizada pelo método dos Mínimos Quadrados (MMQ), sobre os valores da variável Z_i (dependente) sobre os valores dos pares de coordenadas X e Y (independentes).

Landim e Corsi (2001) explicam que o processo de análise da superfície de tendência tem por objetivo extrair as flutuações locais, assim como dados anômalos (erráticos) por meio de equações polinomiais, de modo que a equação produzida possa representar os dados com o menor erro possível. Essa técnica consiste na aplicação de polinômios não ortogonais, sendo que, o aumento dos graus desse polinômio é justificado pelo ajuste da equação aos dados. As equações referentes à superfície de tendência foram baseadas em Gomes et al. (2014).

$$Z_i(X, Y) = [\beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 y_i + \beta_3 x_i^2 + \beta_4 x_i y_i + \beta_5 y_i^2 + \dots] + \epsilon_i(x_i, y_i) \quad (\text{Equação 36})$$

Em que: $Z_i(X, Y)$ é a variável analisada em função das coordenadas x_i e y_i ; $\epsilon_i(x_i, y_i)$ são os resíduos gerados; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ e β_5 são os parâmetros associados ao modelo, que proporcionam o melhor ajuste aos dados.

Na acurácia do ajuste, pela análise da variância (ANOVA), calcula-se a soma do quadrado total, para todas as amostras em suas respectivas coordenadas (X, Y) , a soma do quadrado da regressão e a soma do quadrado dos resíduos, que podem ser verificadas pelas equações 37, 38 e 39, respectivamente. O objetivo da análise ANOVA é verificar cada um dos incrementos da equação polinomial (LANDIM, 2003). Um banco de dados não tendencioso é pressuposto básico para procedimentos de interpolação por krigagem.

$$SQ_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left[\frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \right] \quad (\text{Equação 37})$$

$$SQ_{\text{regressão}} = \sum_{i=1}^n y_i^{*2} - \left[\frac{(\sum_{i=1}^n y_i^*)^2}{n} \right] \quad (\text{Equação 38})$$

$$SQ_{\text{resíduos}} = SQ_{\text{total}} - SQ_{\text{regressão}} \quad (\text{Equação 39})$$

Sendo que: Y_i são os valores das amostras observadas no ponto i ; e y_i^* são os valores das amostras estimadas por interpolação (nesse caso a krigagem) no ponto i .

5.4. Semivariogramas

O variograma é uma função crescente até um determinado espaçamento h , sendo que, a até esse valor, pode-se dizer que as amostras possuem continuidade espacial, sendo essa a zona

de influência. Então, qualquer valor $Z(x)$ que esteja posicionado em um ponto x_i estará correlacionado com os valores de $Z(x)$ no ponto x_{i+h} e, essa distância é conhecida como amplitude. Assim, as amostras que estiverem além da amplitude não podem ser explicadas umas em função das outras, não verificando correlação espacial. É esperado que, quanto maior for o valor de espaçamento (h) entre as amostras, mais fraca é a correlação espacial.

O variograma é expresso pela equação 40, de acordo com Clark (1979):

$$2\gamma^*(h) = \frac{1}{n} \sum [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (\text{Equação 40})$$

Em que: $2\gamma^*(h)$ é a função do variograma; n é o número de pares de dados; $Z(x)$ é a variável regionalizada no ponto x ; $Z(x+h)$ é o valor da variável regionalizada no ponto $x+h$ e, o asterisco (*) expressa que é um variograma experimental.

Sendo o semivariograma a metade do valor do variograma, pode ser expresso pela equação 41:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2n_h} \sum_{i=1}^{n_h} [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (\text{Equação 41})$$

Em que: n_h indica a quantidade de pares de valores separados entre si a uma distância h .

Os semivariogramas podem ser plotados em um gráfico cartesiano, no eixo das abscissas é determinado a distância da continuidade espacial (h) e no eixo das ordenadas os valores da semivariância $\gamma^*(h)$, com origem 0. Perto da origem, os pontos formam uma linha quase reta. Esta é uma característica da maioria dos modelos de semivariograma.

Andriotti (1989) ressalta que o efeito pepita tem importância tanto sobre os pesos λ_i quanto sobre a variância da krigagem σ_K^2 . “O efeito pepita observado experimentalmente apresenta como propriedade a proporcionalidade inversa em relação ao volume das amostras

(*op. Cit.* p. 20)". Quando há a existência do efeito pepita, o valor do Patamar é igual ao valor do Patamar mais o Efeito Pepita:

$$C(h) = C_1 + C_0 \quad (\text{Equação 42})$$

A primeira suposição a ser feita quando na modelagem dos semivariogramas é a verificação da direção espacial do fenômeno. Quando essa é invariante, diz-se que os dados são isotrópicos, de outro modo, quando o fenômeno apresenta uma direção preferencial diz-se que o dado é anisotrópico. Neste trabalho, os semivariogramas experimentais construídos não apresentaram direção preferencial de padrões de comportamento, sendo essa uma característica de banco de dados isotrópico, tendo o processamento variográfico sido configurado como omnidirecional.

No processamento da estimativa por Krigagem e de seus respectivos semivariogramas, foram utilizados os *softwares* SGeMS/AR2GeMS e o GS+Win. Mesmo ambos os *softwares* possuindo ferramentas que permitem a tratativa completa da geoestatística, desde a entrada dos dados até o produto final, perpassando pela modelagem e ajuste do semivariograma ótimo, permitindo o melhor método de espacialização, entretanto o SGeMS/AR2GeMS permite uma visualização melhor dos dados primários, a partir da criação do *pointset*, em que se define com precisão a delimitação os intervalos de distâncias (h) entre as amostras e o número de lags. Também é de fácil visualização as análises das vizinhanças e os pesos que os vizinhos próximos exercem na estimativa de um local sem dados. Então, fizemos uma análise primária, ou mais “grosseira” no SGeMS/AR2GeMS para depois continuar as análises e a modelagem no GS+Win.

Em posse do *pointset*, do grid gerado no primeiro *software*, e as anotações dos parâmetros básicos como o vetor h entre as amostras, do número de lags e do intervalos entre

os lags, a tratativa e validação ficou a encargo do GS+Win, este que não há a necessidade de criar arquivos de saída para cada modificação dos parâmetros testados, como no primeiro. O GS+ permite a alteração dos parâmetros em sua própria interface, com possibilidades de exportação dos resultados em formato compatível com o Microsoft Excel (.xls). No GS+Win, o ajuste da curva do modelo de regressão é mais preciso, pois há a manipulação dos valores nesse *software*, e os ajustes reta é feito pelo método dos mínimos quadrados, enquanto no primeiro, o ajuste da curva é feita graficamente (visualmente).

A partir disso, para a validação do semivariograma ótimo, por meio da *Cross Validation*, foram testadas múltiplas combinações de parâmetros, as quais incluem: direções (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, 360° e Omnidirecional), tamanho de lags (múltiplos de 10 desde 10 até 200 km e a partir daí em múltiplos de 100 até 1.500 km e ainda 1.683 km, que é a maior distância entre pares de amostras), grids locais de 2x2, 4x4, 6x6 e 8x8, números de vizinhos próximos (2, 5, 8, 10, 12 e 15 vizinhos), raio de busca (10 km, 20 km, 50 km, 75 km, 100 km, 200 km, 500 km 750 km e 1.000 km), nos sistemas *point kriging* e *block kriging*, para encontrar o modelo que melhor se ajusta aos dados e que produza a menor quantidade de erros. Frisa-se que nesse software não há a criação de *layers* (arquivos de saída) para cada modificação dos parâmetros, facilitando as interações entre os parâmetros.

Em ambos os *softwares*, SGeMS e GS+Win, foram processados o banco de dados contendo as 244 estações localizadas no interior da bacia hidrográfica do rio São Francisco e no seu entorno, tendo-se utilizado os procedimentos estatísticos referentes ao semivariograma. O banco de dados foi organizado em arquivo extensão texto (*.txt) separado por tabulações, com os seguintes campos:

- a) Localização X (coordenada plana em metros);
- b) Localização Y (coordenada plana em metros);

- c) Código da estação (número da codificação da estação de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA));
- d) Precipitação média anual (mm);
- e) Anomalia negativa de precipitação (quantidade de eventos na série histórica) e,
- f) Maior sequência de anomalia negativa de precipitação (corresponde a maior sequência de ocorrências de anomalias negativas de precipitação ao longo da série histórica).

5.5. Acurácia: validação cruzada

Para avaliação do modelo de ajuste dos dados com melhor acurácia, aquele modelo que melhor representaria a espacialização do fenômeno, com resíduos mínimos, foi aplicada a Validação Cruzada (*Cross Validation*). Esse método fornece uma ideia da adaptação do modelo que explica os dados, servindo como uma medida que revela a incerteza quanto ao método.

O método parte do princípio de que, retira-se uma observação e determina o valor estimado para esse ponto. Assim, retira-se uma a uma as observações amostradas e calcula-se a sua estimativa. Feita a interpolação, calcula-se a diferença entre o valor amostrado (observado) e o dado estimado, como meio de verificação da qualidade do semivariograma produzido.

5.6. Etapas da Krigagem

O estimador da krigagem é do tipo BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*), ou seja, é o melhor estimador de dados não enviesado (sem tendência) que produz as estimativas com o erro mínimo (ANDRIOTTI, 2002). Quando as estimativas forem não enviesadas, ela assume a

Condição de Universalidade, onde a soma dos pesos dadas às amostras é igual a 1, ver equação 43:

$$E[Z_K^*] = E[Z], \text{ onde } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (\text{Equação 43})$$

E a soma das distâncias entre os pares de dados é igual a 0:

$$E\{Z - Z_K^*\} = 0 \quad (\text{Equação 44})$$

Como a variância da estimativa é mínima, então obedece à Condição de Otimalidade, representada pela equação 45:

$$\sigma_K^2 = E[(Z - Z_K^*)^2] \quad (\text{Equação 45})$$

Existem diversos tipos de métodos de krigagem, entretanto as comumente utilizadas são: krigagem simples, krigagem ordinária (normal), krigagem universal, krigagem indicativa e a co-krigagem. Nesse trabalho, em função do comportamento do fenômeno e do banco de dados é utilizada a krigagem ordinária.

Como já mencionado, na krigagem ordinária considera-se as diferenças ao quadrado entre as posições das amostras, cuja equação é determinada no semivariograma. A fórmula para a estimação de qualquer ponto Z_{KO}^* é tida a partir de uma combinação linear, dos n pontos analisados, com a diferença da necessidade da adição de um parâmetro λ_0 (CAMARGO, FUCKS, E CÂMARA, 2004), desde que:

$$\lambda_0 = 0 \text{ e } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (\text{Equação 46})$$

No intuito de que o estimador não seja enviesado, a condição deve ser verdadeira:

$$E [Z_{x_0} - Z_{x_0}^*] = 0 \quad (\text{Equação 47})$$

A partir disso, o estimador da Krigagem Ordinária é:

$$Z_{x_0}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i), \quad \text{com } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (\text{Equação 48})$$

Visando a minimização da variância dos erros $VAR [Z_{x_0} - Z_{x_0}^*]$, sob a condição de $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, os pesos λ são obtidos a partir do seguinte sistema de equações, denominado sistema de krigagem ordinária:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_1, x_j) - \alpha = \gamma(x_1, x_0) & \text{para } i = 1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (\text{Equação 49})$$

Onde: $\gamma(x_1, x_j)$ e $\gamma(x_1, x_0)$ compreendem respectivamente, a semivariância entre os pontos x_1, x_j e entre os pontos x_1, x_0 ; α é o multiplicador de Lagrange, necessário para minimizar o erro da variância.

Com isso, a Variância da Krigagem Ordinária σ_{KO}^2 , corresponde à minimização da variância do erro, expressa pela equação 50:

$$\sigma_{KO}^2 = \text{VAR}[Z_{x_0} - Z_{x_0}^*] = \gamma - \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_j, x_0) - \alpha \quad (\text{Equação 50})$$

Então, quanto menor for o valor da variância da Krigagem Ordinária (equação 35), mais confiável é o processo de estimativas geradas por esse interpolador.

A operacionalização do processo de krigagem ordinária pode ser representada por um sistema matricial e, os ponderadores λ_i são obtidos por meio de um conjunto de equações lineares do tipo $ax + b$, que compõem o sistema da krigagem:

$$K * \lambda = k \gg \lambda = K^{-1} * k \quad (\text{Equação 51})$$

Onde: K e k representam matrizes das covariâncias (ou variograma) e λ o vetor de pesos.

Assim sendo, considerando a existência do efeito pepita, é dada a seguinte matriz:

$$K = \begin{vmatrix} \gamma(x_1, x_1) & \gamma(x_1, x_2) & \dots & \gamma(x_1, x_n) & 1 \\ \gamma(x_2, x_1) & \gamma(x_2, x_2) & \dots & \gamma(x_2, x_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_n, x_1) & \gamma(x_n, x_2) & \dots & \gamma(x_n, x_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix}, \lambda = \begin{vmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{vmatrix}, k = \begin{vmatrix} \gamma(x_1, x_0) \\ \gamma(x_2, x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_n, x_0) \\ 1 \end{vmatrix} \quad (\text{Equação 52})$$

5.7. Processamento SIG

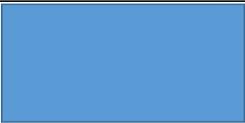
No software QGIS, os projetos foram configurados com datum SIRGAS 2000, zona 23, coordenadas métricas, projeção de Mercator, tendo sido prolongado os limites do fuso em: W:

206.000 m; E: 1.600.000 m, permitindo assim contemplar a localização das estações posicionadas nas extremidades da área em análise. Quando do layout para impressão o sistema de referência espacial foi convertido para coordenadas geográficas, datum SIRGAS 2000.

Procurando otimizar as tarefas, foram criados modelos de rotinas de tarefas, executáveis a partir de esquema em fluxograma. As explicações dos processos serão numeradas conforme a ordem descrita no fluxograma e sempre depois de cada bloco do processo, a figura do respectivo fluxograma será inserida.

Foram elaborados os mapas dos valores estimados por interpolação Krigagem da precipitação média anual da bacia (2003/2018), mapa dos resíduos da precipitação média (retirada da tendência) (2003/2018), mapa de Meses Secos (2003/2018), mapa de desvios negativos de precipitação (anomalias negativas) (2003/2018). A descrição da função de cada simbologia do fluxograma está no quadro 4.

Quadro 4 - Simbologia do fluxograma

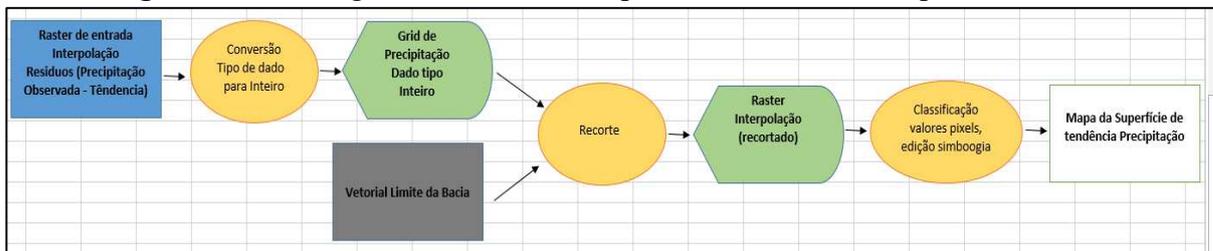
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo: arquivo de entrada (Raster) • Processamento: valor de entrada
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo: arquivo de entrada (Vetorial) • Processamento: valor de entrada
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo: Ferramenta • Processamento: Iterator
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo: arquivo de saída • Processamento: valor de saída (Raster)
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo: arquivo de saída • Processamento: valor de saída (Vetorial)

Fonte: Petrucci (2021)

5.7.1. Mapas de estimativas dos resíduos da precipitação média anual e precipitação média anual restituída, período entre 2003 e 2018

O primeiro bloco de processamento, representado pelo fluxograma figura 18, tem como entrada arquivo raster da interpolação por krigagem dos resíduos (diferença entre os valores de tendência, gerados por regressão, e precipitação observada), células 5x5 km, importado do software GS+win. Na saída do processamento têm-se mapa de resíduos da precipitação média anual, recortado para o limite da bacia, classificado e com respectiva paleta de cores.

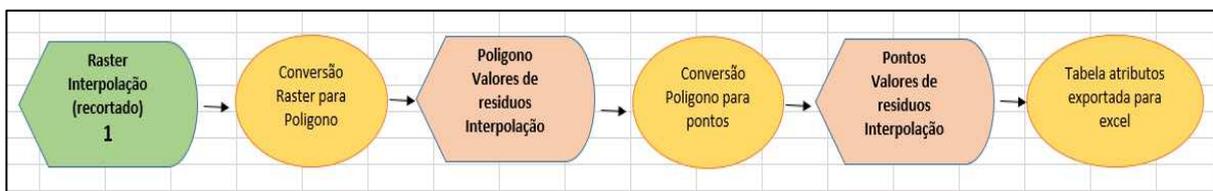
Figura 18 – Fluxograma do modelo de processamento SIG do primeiro bloco



Fonte: Petrucci (2021)

O segundo bloco de processamento, representado pelo fluxograma figura 19, têm-se como entrada arquivo raster (saída do bloco 1) e, no final do processamento têm-se arquivo vetorial feição pontos contendo os resíduos estimados (tendência – precipitação média anual), cuja tabela de atributos foi exportada como planilha do Excel para posterior restituição aos valores de precipitação.

Figura 19 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do segundo bloco

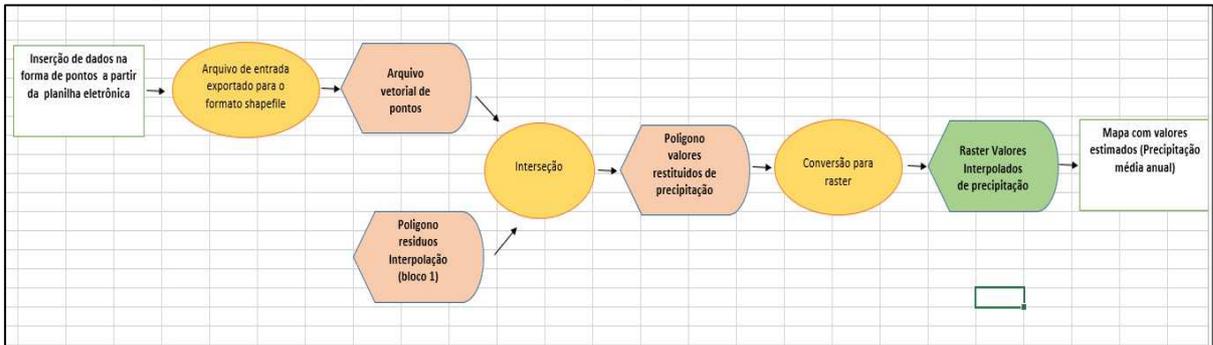


Fonte: Petrucci (2021)

O terceiro bloco de processamento, representado pelo fluxograma figura 20, tem como entrada um arquivo vetorial de feição por pontos, cuja tabela de atributos contém os valores

restituídos da precipitação média anual. Ao final desse bloco têm-se o mapa com os valores, interpolados por krigagem, de precipitação média anual.

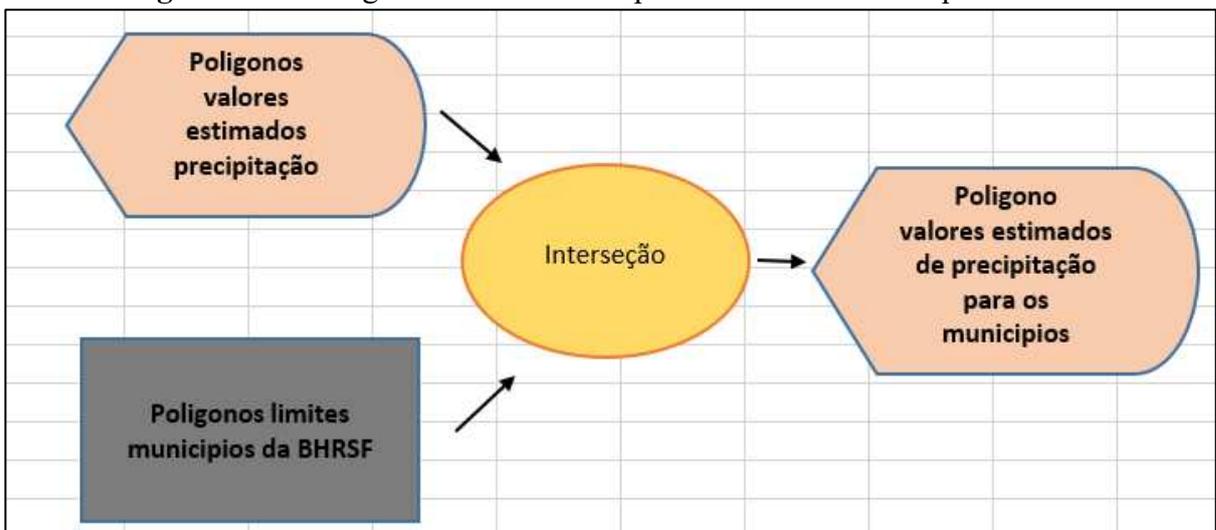
Figura 20 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do terceiro bloco



Fonte: Petrucci (2021)

O quarto bloco de processamento, representado pelo fluxograma figura 21, compreende a criação de arquivo, feição polígono, das estimativas de precipitação média anual para os 508 municípios interiores à Bacia. Foi feita interseção do arquivo vetorial feição polígono, contendo os valores estimados de precipitação (gerado no bloco 3) com o arquivo vetorial contendo os polígonos dos municípios interiores na bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Figura 21 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do quarto bloco

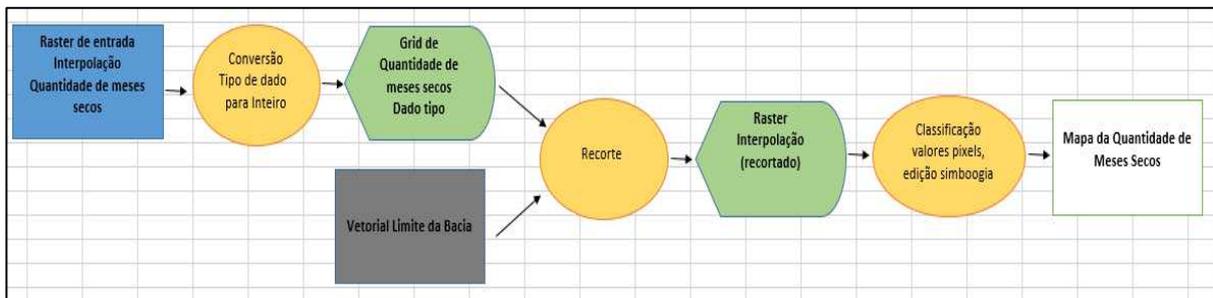


Fonte: Petrucci (2021)

5.7.2. Mapas de estimativas da quantidade de Meses Secos, período entre 2003 e 2018

O quinto bloco de processamento, representado pelo fluxograma da figura 22, tem como entrada arquivo raster da interpolação por krigagem da quantidade de meses secos, células 5x5 km, importado do software GS+win. Na saída do processamento têm-se mapa com os valores estimados de quantidade de meses secos, recortado para o limite da bacia, classificado e com respectiva paleta de cores.

Figura 22 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do quinto bloco

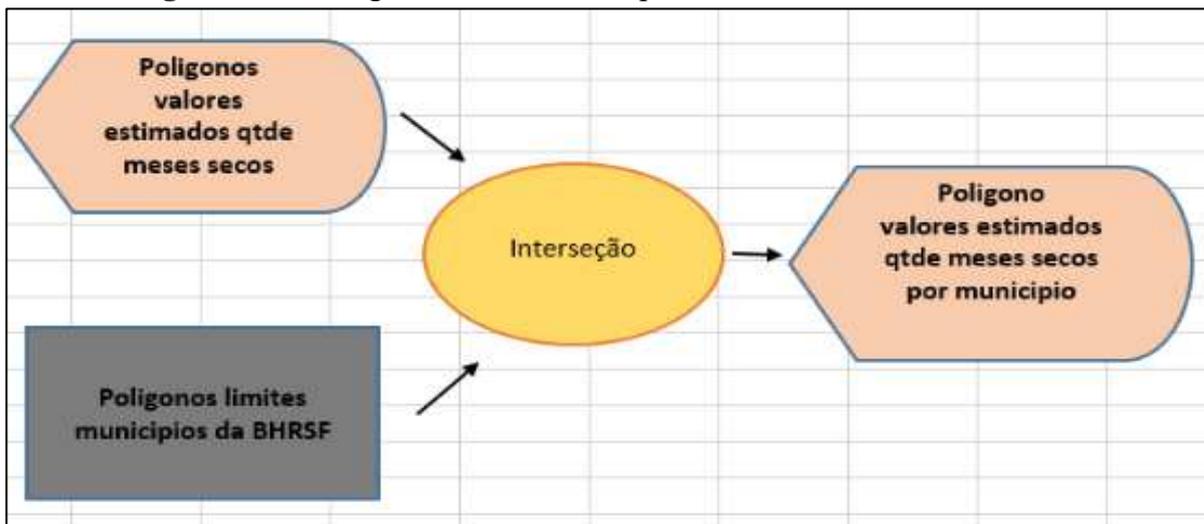


Fonte: Petrucci (2021)

O sexto bloco de processamento, representado pelo fluxograma figura 23, compreende a criação de arquivo, feição polígono, das estimativas da quantidade de meses secos para os 508 municípios interiores à Bacia. Foi feita interseção do arquivo vetorial feição polígono, contendo os valores estimados da quantidade de meses secos (obtido pelo mesmo processo desenvolvido no bloco 3) com o arquivo vetorial contendo os polígonos dos municípios interiores na bacia hidrográfica do rio São Francisco.

No processo, como os limites de alguns municípios fazem interseção com mais de um polígono (valores de interpolação), foi feita aplicada a média estatística.

Figura 23 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do sexto bloco

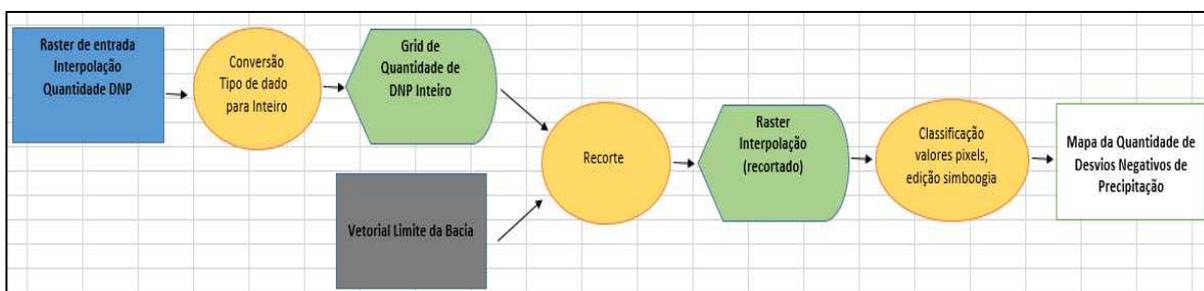


Fonte: Petrucci (2021)

5.7.3. Mapas de estimativas da quantidade de Desvios Negativos (DNs) de precipitação, período entre 2003 e 2018.

O sétimo bloco de processamento, representado pelo fluxograma figura 24, tem como entrada arquivo raster da interpolação por krigagem da quantidade de desvios negativos de precipitação, células 5x5 km, importado do software GS+win. Na saída do processamento têm-se mapa com os valores estimados da quantidade de desvios negativos de precipitação, recortado para o limite da bacia, classificado e com respectiva paleta de cores.

Figura 24 - Fluxograma do modelo de processamento SIG do sétimo bloco



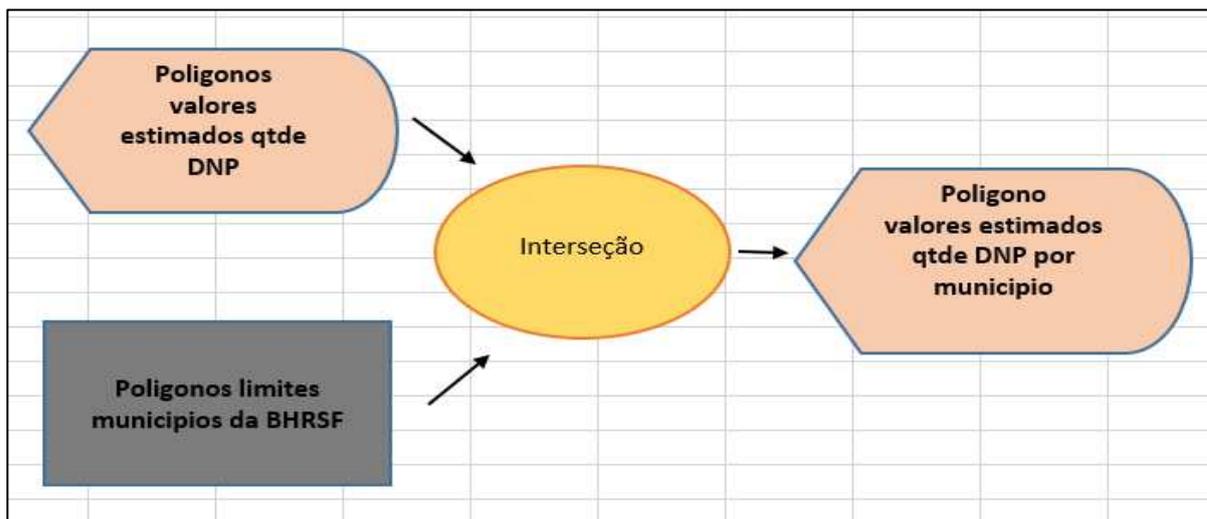
Fonte: Petrucci (2021)

O oitavo bloco de processamento, representado pelo fluxograma figura 25, compreende a criação de arquivo, feição polígono, das estimativas da quantidade desvios negativos de precipitação para os 508 municípios interiores à Bacia. Foi feita interseção do arquivo vetorial

feição polígono, contendo os valores estimados da quantidade de desvios negativos de precipitação (obtido pelo mesmo processo desenvolvido no bloco 3) com o arquivo vetorial contendo os polígonos dos municípios interiores na bacia hidrográfica do rio São Francisco.

No processo, como os limites de alguns municípios fazem interseção com mais de um polígono (valores de interpolação), foi feita aplicada a média estatística.

Figura 25 – Fluxograma do modelo de processamento SIG do oitavo bloco



Fonte: Petrucci (2021)

5.8. Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas (IESP)

Para a aplicação desse método, segue-se três etapas:

a) Calcular a anomalia pluviométrica mensal em relação à mediana mensal do período de análise, equação 53:

$$AP_i = P_i - P_{MED} \quad (\text{Equação 53})$$

Em que: AP_i é a anomalia pluviométrica total no mês i ; P_i é a precipitação total do mês i ; P_{MED} é a mediana dos totais de precipitação do referido mês i ao longo da série histórica.

b) Acumular as anomalias mensais de precipitação. Quando ocorrer anomalia positiva, sua sequência será acumulada caracterizando um período de excedente de precipitação que, será interrompido, quando do aparecimento de uma anomalia negativa. Agora, diante de uma sequência de valores negativos, eles serão acumulados, caracterizando um período de seca e, assim sucessivamente. Durante os meses em que a anomalia é igual a 0, não há inversão de períodos secos/úmidos, ver equação 54:

$$APA_i = \sum AP_i \quad (\text{Equação 54})$$

Onde: APA_i é o valor acumulado das Anomalias Pluviométricas (AP_i); AP_i é a anomalia pluviométrica total no mês i

c) Padronização (standardização) das anomalias de precipitação à uma distribuição normal, equação 55:

$$IESP_i = \left(\frac{APA_i - APA}{sAPAi} \right) \quad (\text{Equação 55})$$

Onde: $IESP_i$ é o valor do Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas no mês i ; APA_i é o valor acumulado das Anomalias Pluviométricas, APA é a média dos valores de anomalia pluviométrica acumulada de todos os meses do período analisado; $sAPAi$ é o desvio padrão das anomalias pluviométricas acumuladas de todos os meses do período analisado.

Quanto mais acentuado o acúmulo de desvios, positivos ou negativos em relação à mediana, mais forte são classificados os períodos de déficit ou de excedente. Com isso, a autora estipula 3 passos para a realização dos cálculos.

Em posse dos valores mensais de IESP, Pita Lopez (2000) definiu cinco classes de secas para análise dos resultados, variando desde ausência de secas até secas excepcionais. Entretanto, como o referido índice classifica tanto os períodos de seca quanto os períodos úmidos, é proposto aqui uma adaptação das escalas de classificação, ver quadro 5.

Quadro 5 - Classificação dos eventos de Seca com base no Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas (IESP)

Valores IESP	Classificação
≥ 2,3	Excedente Extremo de Chuva (EEp)
2,3 a 1,7	Excedente Severo de Chuva (ESp)
1,7 a 1,0	Excedente Moderado de Precipitação (EMp)
1,0 a 0,0	Normal úmido
0,0 a -1,0	Normal seco
-1,0 a -1,7	Déficit Moderado de Precipitação (DMp)
-1,7 a -2,3	Déficit Severo de Precipitação (DSp)
≤ -2,3	Déficit Extremo de Precipitação (DEp)

Fonte: PITA (2001b); adaptado por Petrucci e Oliveira (2021)

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Tratamento dos dados e correção das falhas

A organização e tratamento dos dados, bem como as estatísticas básicas, foram feitos no Microsoft Excel. Em análise ao banco de dados, verificou-se inconsistência (séries históricas incompletas, falhas na série, ausência de dados) nos dados de determinadas estações. As falhas foram preenchidas utilizando correlação linear simples, por meio da equação da reta de regressão entre as estações que possuíram um valor superior a 0,7 de coeficiente de correlação (r).

Para a realização da correlação linear, foram selecionadas no mínimo 3 estações meteorológicas próximas, independente da distância ou direção. Um dos preceitos básicos para o preenchimento de falhas é que na estação utilizada como base para estimar a correlação, não possua falhas nas séries de dados no mesmo período em que a estação a ser preenchida possua falhas. A estação selecionada para realizar o preenchimento foi aquela que apresentou o maior valor do coeficiente de correlação.

Esta é uma técnica amplamente utilizada para estabelecimento de relações ou preenchimento de falhas, Nascimento et al. (2010), Sanches et al. (2016), Moreira et al. (2017) e Petrucci (2018). Do total de 190 estações utilizadas, em 34 delas foram identificadas falhas nas séries temporais, sendo possível a realização da correção em todas. No quadro 6 estão sumarizadas as estações onde foram feitos os preenchimentos de falhas, as equações de regressão e os coeficientes de determinação (r^2) e correlação (r).

Quadro 6 - Sumário dos preenchimentos de falha, com destaque para as estações pluviométricas, equações da reta e coeficientes de determinação (r^2) e correlação (r)

ESTAÇÕES NO INTERIOR DA BACIA						
n	Estação original	UF	Estação de preenchimento	Equação da Reta	r^2	r
1	Juazeiro	BA	Lagoa do Boi	$y = 0,7894x + 4,1158$	0,711	0,843
2	Brotas de Macaúbas	BA	Ponte BR-242	$y = 1,133x + 9,8344$	0,751	0,867
3	Correntina	BA	Mocambo	$y = 0,9144x + 0,6315$	0,835	0,913
4	Arrojolândia	BA	Arrojado	$y = 0,8141x + 17,189$	0,654	0,809
5	Pedras Maria da Cruz	MG	Varzelândia	$y = 0,8629x + 4,1216$	0,865	0,930
6	Serra das Araras	MG	São Francisco	$y = 0,9406x + 21,113$	0,748	0,865
7	Barra do Escuro	MG	Santo Inácio	$y = 0,9635x + 10,924$	0,814	0,902
8	Porto Alegre	MG	Vila Urucuaia	$y = 0,9433x + 1,8304$	0,772	0,879
9	Unai	MG	Santo Antônio do Boqueirão	$y = 0,8639x + 12,416$	0,831	0,911
10	Fazenda o Resfriado	MG	Santo Antônio do Boqueirão	$y = 0,8603x + 7,5751$	0,865	0,930
11	Fazenda Limeira	MG	Unai	$y = 0,8682x + 13,611$	0,762	0,873
12	Fazenda Santana	MG	Barra do Rio de Janeiro	$y = 0,9494x + 17,989$	0,783	0,885
13	Ponte da BR-040 - Prata	MG	Ponte BR-040 - Paracatu	$y = 0,8255x + 8,2455$	0,843	0,918
14	Fazenda Poções	MG	Santa Rosa	$y = 0,9782x + 13,643$	0,732	0,856
15	Gouveia	MG	Usina Parauna	$y = 0,9108x + 15,466$	0,766	0,875
16	Ponte do Bicudo	MG	Corinto	$y = 0,9197x + 4,496$	0,779	0,883
17	Morro da Garça	MG	Ponte do Licínio	$y = 0,9952x + 5,5452$	0,760	0,872
18	Barra do Rio de Janeiro	MG	Lassance	$y = 0,8634x + 13,807$	0,768	0,877
19	Jaboticáúbas	MG	Taquaraçu	$y = 0,8858x + 8,2575$	0,847	0,920
20	José de Melo	MG	Taquaraçu	$y = 1,0576x + 10,157$	0,919	0,959
21	Ponte Raul Soares	MG	Vespasiano	$y = 0,9143x + 4,9755$	0,850	0,922
22	Jaguaruna	MG	Bom Despacho	$y = 0,718x + 14,441$	0,790	0,889
23	Juatuba	MG	Fazenda Curralinho	$y = 0,9544x - 0,1283$	0,897	0,947
24	Betim - COPASA	MG	Fazenda Curralinho	$y = 0,8996x + 6,3442$	0,893	0,945
25	Abaeté	MG	Porto das Andorinhas	$y = 0,9568x + 5,9708$	0,886	0,941
26	Martinho Campos	MG	Porto das Andorinhas	$y = 0,9178x + 1,9838$	0,856	0,925
27	São Gotardo	MG	Barra do Funchal	$y = 0,8474x + 14,465$	0,837	0,915
28	Lagoa Grande	MG	Congonhas	$y = 1,1273x + 16,788$	0,790	0,889
29	Congonhas	MG	Lagoa Grande	$y = 0,7004x + 10,357$	0,790	0,889
30	Itaúna	MG	Fazenda Laranjeiras	$y = 0,9019x + 9,2063$	0,912	0,955
31	Carmo do Cajuru	MG	Fazenda Benedito Chaves	$y = 0,8236x + 6,815$	0,818	0,905
32	Ibirité	MG	Betim - COPASA	$y = 1,1781x + 8,8538$	0,905	0,951
33	Alto da Boa Vista	MG	Calambau	$y = 1,046x + 5,6359$	0,908	0,953
34	Escola de Veterinária	MG	Fazenda Curralinho	$y = 1,0023x - 1,3609$	0,948	0,974

Org. Petrucci (2020)

No quadro 6, verifica-se que todos os coeficientes de correlação foram maiores que 0,8, justificando o preenchimento de falhas pela adoção da técnica.

A produção dos mapas de localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco, localização das estações pluviométricas e das regiões fisiográficas foram feitas no Quantum Gis (QGIS), versões 2.14.22 e 2.18.28. Na tabela 4 estão sumarizados as estatísticas básicas dos dados de precipitação anual das 190 estações da BHSF.

Tabela 4 – Estatística básica dos dados de precipitação anual na bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)

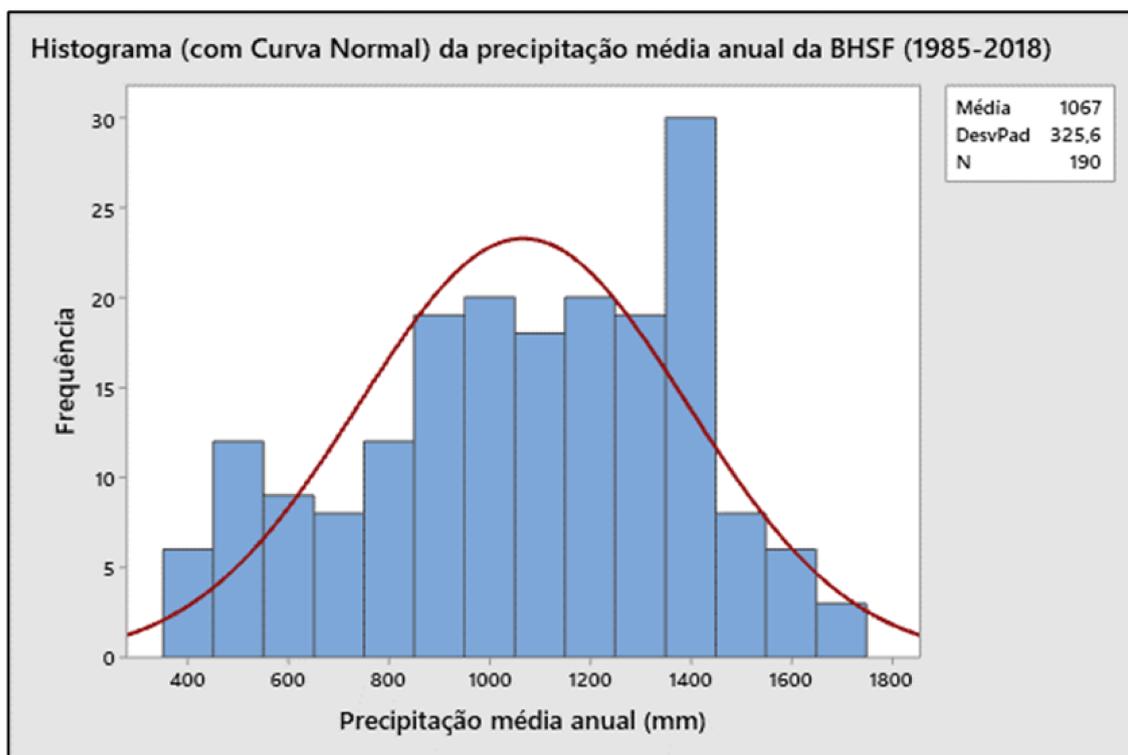
Nº dados	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média
190	405,4	1.715,8	1.310,4	1.066,8
	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação	
	325,6	106.036,3	30,5	
Q1	Mediana	Q3	Assimetria	Curtose
849,6	1.107,5	1.344,7	-0,29	-0,79

Fonte: Petrucci (2021)

Na tabela 4 estão considerados todas as 190 estações pluviométricas localizadas no interior da bacia hidrográfica do rio São Francisco. A média é de 1.066,8 mm e desvio padrão de 325,6, com variância de 106.036,3. Com relação às medidas separatrizes, o Q1 é de 849,6 mm e o Q3 é de 1.344,7 mm. O valor mínimo de precipitação anual é de 405,4 mm na estação Juazeiro, localizada na região fisiográfica do SMSF, no interior do estado da Bahia. Por outro lado, o máximo verificado foi de 1.715,8 mm, na estação Ibitité, localizada na região fisiográfica do ASF, na região metropolitana de Belo Horizonte. Com isso, é verificada uma amplitude de 1.310,4 mm, que é um valor bastante expressivo, fato evidenciado pelo elevado valor de coeficiente de variação que é de 30,5 %, indicando grande variabilidade nos valores de precipitação anual na referida bacia hidrográfica.

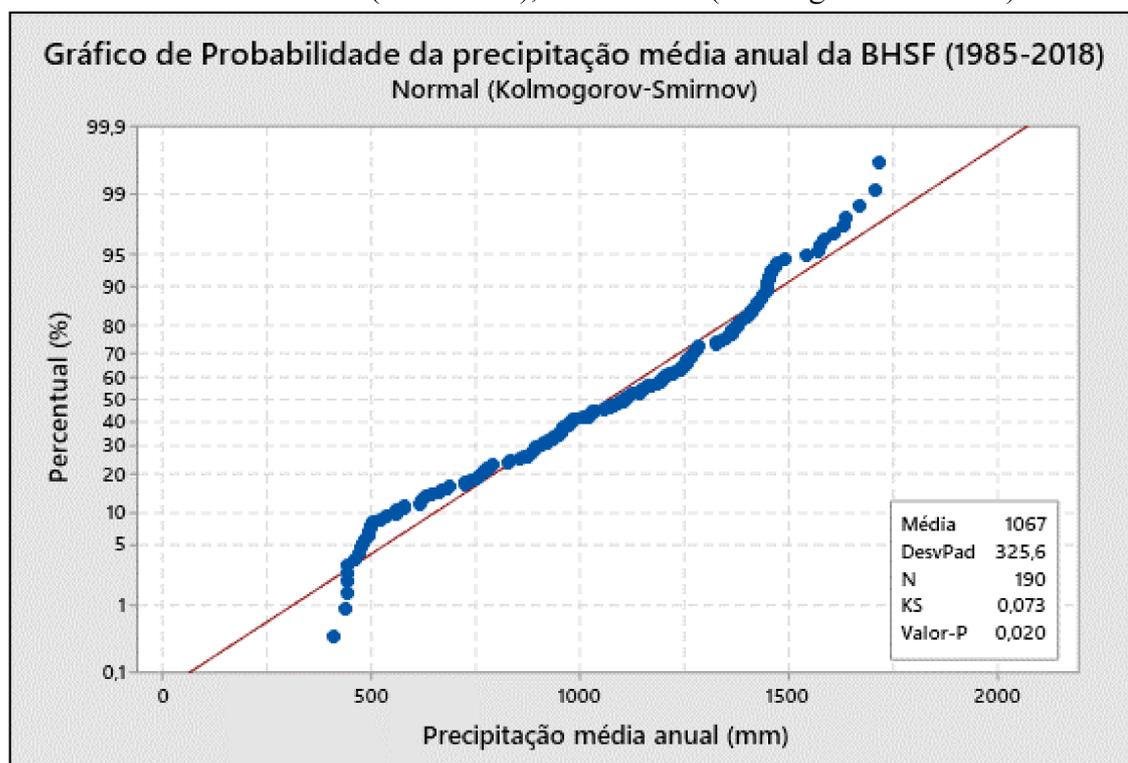
Essas características podem ser visualizadas no gráfico de distribuição de frequências e no gráfico de distribuição de probabilidades (teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov), figuras 26 e 27, respectivamente.

Figura 26 - Gráfico de distribuição de frequências (histograma) com ajuste à Distribuição Normal da precipitação média anual da BHSF (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 27 – Gráfico de probabilidade da precipitação média anual da bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018), com normal (Kolmogorov-Smirnov)



Fonte: Petrucci (2021)

Como pode ser observado nas figuras 26 e 27, os dados de precipitação anual obedecem a uma distribuição normal, por meio da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov, considerando $\alpha = 0,01$ (1%) e o p-valor = 0,02, sendo que, se o p-valor for maior que o valor de α , aceita-se a hipótese nula de normalidade dos dados.

6.2. Coeficiente de Variação (CV) – período 1985 a 2018

A fim de analisar a variabilidade sobre as precipitações médias anuais, foi calculado o Coeficiente de Variação (CV) que tem como objetivo “[...] comparar duas ou mais distribuições que possuem médias diferentes, ou estão expressas em unidades de medida diferentes” (SINDELAR, CONT E AHLERT, 2014, p. 93). O valor de CV é uma medida adimensional que serve para analisar a dispersão em qualquer conjunto de dados com relação à sua média. Com isso, quanto menor (maior) o valor de CV, indica que há uma baixa (alta) variação dos dados ou maior (menor) homogeneidade.

A partir disso, foram aplicados os coeficientes de variação sobre as precipitações médias anuais das 190 estações pluviométricas no interior da BHSF. O cálculo do CV pode ser determinado pela equação 56.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad (\text{Equação 56})$$

Onde: s é o desvio padrão e \bar{x} é a média.

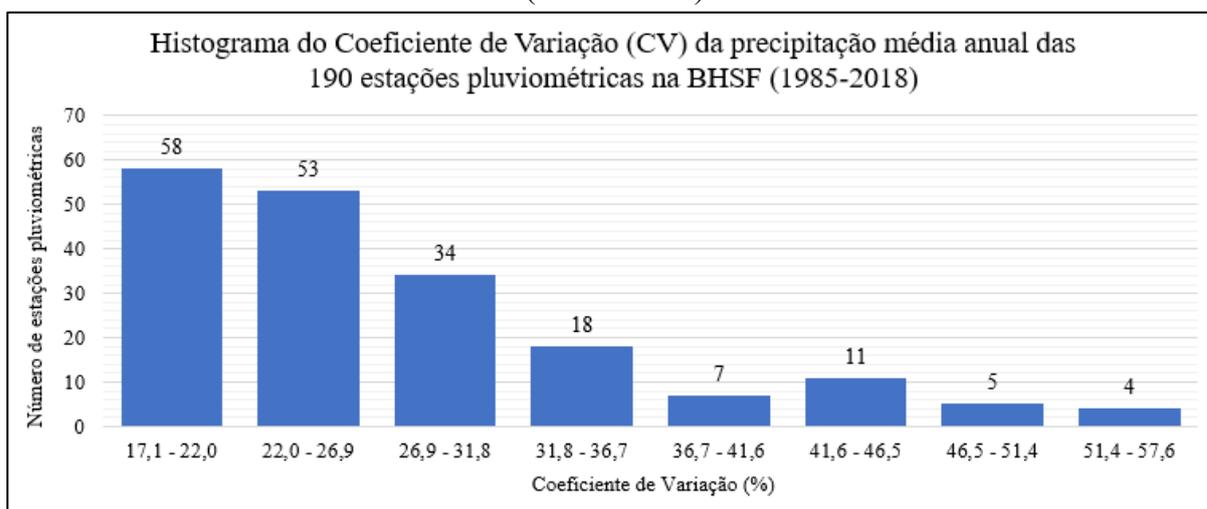
Na tabela 28, em anexo, estão sumarizados os valores dos coeficientes de variação dos dados das 190 estações, série histórica de 1985 a 2018. Devido ao enorme volume de dados do referido quadro, foi realizada uma distribuição de frequências para analisar os valores de coeficiente de variação na BHSF, que pode ser verificado pela tabela 5 e figura 28.

Tabela 5 – Distribuição de Frequências dos Coeficientes de Variação da precipitação média anual na BHSF (1985 a 2018)

Intervalos	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
17,1 - 22,0	58	58	30,5%	30,5%
22,0 - 26,9	53	111	27,9%	58,4%
26,9 - 31,8	34	145	17,9%	76,3%
31,8 - 36,7	18	163	9,5%	85,8%
36,7 - 41,6	7	170	3,7%	89,5%
41,6 - 46,5	11	181	5,8%	95,3%
46,5 - 51,4	5	186	2,6%	97,9%
51,4 - 57,6	4	190	2,1%	100,0%

Fonte: Petrucci (2021)

Figura 28 – Histograma dos Coeficientes de Variação da precipitação média anual na BHSF (1985 a 2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Analisando a tabela 5 e a figura 28, percebe-se uma concentração de ocorrência no intervalo entre 17,1 e 21,6%, totalizando 55 estações nesse intervalo, que corresponde a 28,9% do total. O valor máximo de CV foi de 57,5%, representando a estação Próximo à Curaça II, localizada no município de Curaçá, norte da Bahia, que possui clima semiárido. O valor mínimo foi de 17,1%, e representa as estações Gouveia e Fazenda Benedito Chaves, localizadas na porção central de MG e na Região Metropolitana de Belo Horizonte, respectivamente, que apresentam clima tropical.

Os resultados encontrados de coeficiente de variação na bacia hidrográfica do rio São Francisco estão em consonância com os resultados verificados por Silva, Pereira e Almeida

(2012), sendo, valores de coeficientes de variação mais altos em regiões mais secas do que úmidas. Um elevado valor de CV aplicado a dados de precipitação indica que, nessas localidades, a chuva apresenta-se mal distribuída ao longo dos anos havendo intercorrência entre anos extremamente secos em contrapartida com a ocorrência de anos úmidos. Além disso, como é verificado em regiões semiáridas, é característica climática a concentração das chuvas em um curto período chuvoso, geralmente em 3 a 4 meses no NEB.

A entrada de água no sistema, via precipitação líquida, dando continuidade à dinâmica climática fica condicionada a um período específico (período chuvoso) e, se haver algum sistema meteorológico impedindo ou desfavorecendo a produção de chuvas dentro desse pequeno intervalo de período chuvoso, toda as atividades ficam comprometidas, reduzindo a disponibilidade de água para a população e atividades relacionadas à elas, a reposição de água subterrânea, agravando as condições das secas, sendo potencial para desastres relacionado às secas.

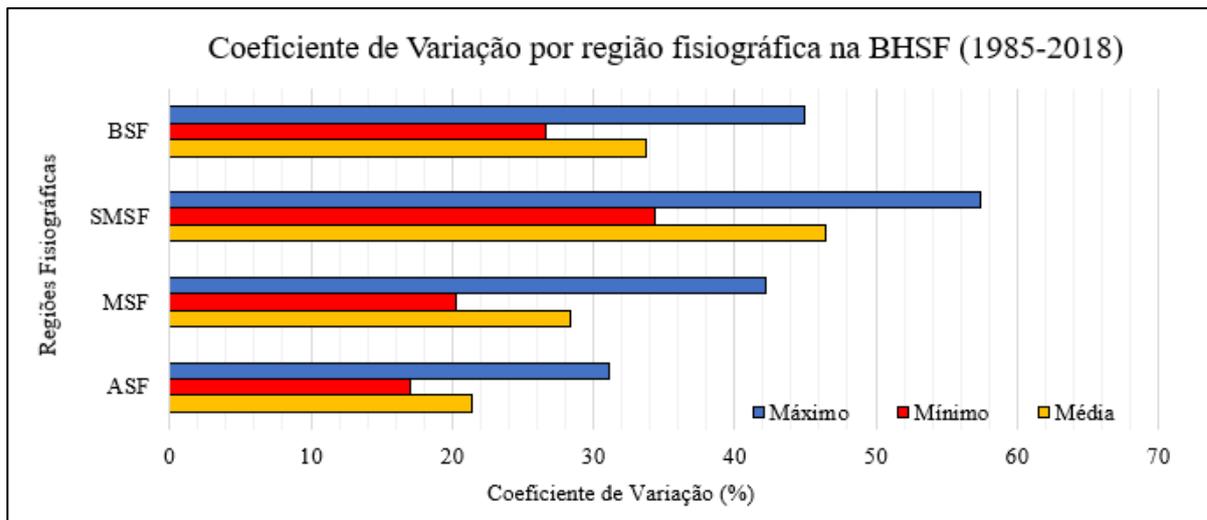
Devido à característica de os valores serem adimensionais e serem calculados a partir do desvio em sua própria série histórica, o CV é considerado uma estatística portátil, ou seja, é um parâmetro que pode ser usado em comparação à outras localidades. Com isso, a fim de verificar a variabilidade dos CV entre as regiões fisiográficas da BHSF, os dados foram agrupados de acordo com as regiões fisiográficas, como pode ser observado na tabela 6 e figura 29.

Tabela 6 - Coeficiente de Variação (CV) por Região Fisiográfica na BHSF (1985-2018)

Regiões Fisiográficas	ASF	MSF	SMSF	BSF
Máximo	31,2 %	42,2 %	57,5 %	45,0 %
Estação	Pirapama	Arrojolândia	Próximo a Curaça II	Santana do Ipanema
Mínimo	17,1 %	20,2 %	34,4 %	26,6 %
Estação	Faz. Benedito Chaves e Gouveia	Ponte da BR-040 - Prata	Delmiro Gouvéia	Penedo
Média	21,4 %	28,4 %	46,4 %	33,8 %

Fonte: Petrucci (2021)

Figura 29 - Coeficiente de Variação por região fisiográfica na bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985 - 2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Por meio de leitura da tabela 6 e figura 29, fica evidente que o CV é maior nas regiões predominantemente secas, como por exemplo no SMSF, que possui clima semiárido/árido. Nessa região é verificado o CV máximo de toda a referida bacia, com 57,5 %, e CV mínimo de 34,4 %. É curioso verificar que o CV mínimo do SMSF é maior que o CV máximo do ASF (31,2 %), que possui regime de precipitação mais bem distribuído ao longo do ano e, mesmo frente à fenômenos que inibem de precipitação, conseguem manter os volumes pluviométricos anuais próximos ao normal.

A média dos valores de coeficiente de variação por região fisiográfica são: para o ASF, 21,4 %, para o MSF 28,4 %, para o SMSF 46,4 % e BSF com 33,8 %. Como o volume de precipitação é maior nas porções sul da bacia, representado pela ASF, diminuindo em direção a porção norte, representado pelo SMSF, fica evidente e justificado o aumento dos valores de CV entre as regiões fisiográficas. Na região da foz do rio São Francisco, no BSF, os valores médios de CV diminuem, por ser região litorânea, o ritmo climático nessa região é regulado e condicionado por sistemas oriundos diretamente do Oceano Atlântico, portanto um clima mais regular, com maior volume pluviométrico anual e melhor distribuição da precipitação ao longo do ano.

A partir do exposto, ficou evidente que o coeficiente de variação é menor nas porções a sul da bacia, aumentando no sentido sul para norte. Com isso, pode-se dizer que a variabilidade da precipitação anual é menos evidente na porção sul da bacia do que na porção norte, que é marcado por profundas irregularidades nas distribuições de precipitação anual, distanciando da precipitação média para a referida região fisiográfica.

Com base nos resultados apresentados dos CV, de verificação de variabilidade nos dados de precipitação ao longo da BHSF, em determinadas regiões maiores que em outras, já remete para a análise da tendência e da estacionariedade das séries temporais de precipitação, quando da espacialização dos dados de precipitação média anual. Se é identificada variabilidade dos dados em função da temporalidade, já são indícios de que o pressuposto da estacionariedade não seja alcançado, ou seja, os dados verificam enviesamento, necessitando de aplicar os conceitos apontados na seção 4.3.

6.3. Déficits Extremos de Precipitação (DEp) – período 1985 a 2018

As secas pluviométricas são fenômenos climáticos de ordem natural, caracterizados por um período com ausência ou redução das chuvas em torno de um valor de referência, em determinado lugar, em um certo tempo, podendo ser intensificadas pela ação antrópica (AMS, 2003). As propriedades das secas envolvem não somente o fato da ocorrência, mas também a frequência com que esse fenômeno é recorrente, a intensidade (magnitude) dos eventos, sendo que quanto maior for a anomalia negativa de precipitação, maior podem ser os efeitos adversos decorrentes dela, e a duração, que indica o período de atuação desses eventos.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco é muito heterogênea do ponto de vista climático, sendo evidenciados diferentes regimes pluviométricos ao qual a bacia está sujeita, logo, é suposto que as ocorrências das secas possuam características distintas de acordo com a

localização. A partir disso, foi aplicado o Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas nos dados mensais de precipitação das 190 estações pluviométricas localizadas no interior da BHSF, no período de 1985 a 2018. Os resultados obtidos podem ser visualizados no quadro 11, em anexo.

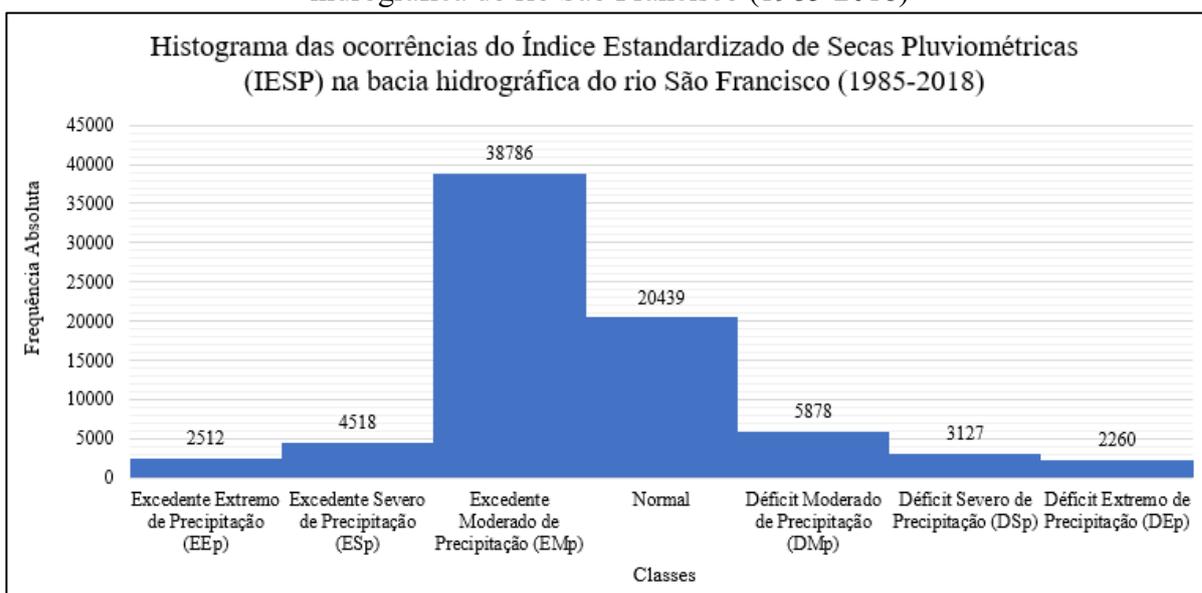
Devido ao enorme volume de dados do referido quadro, foi realizada uma distribuição de frequências para analisar os valores de DEp na BHSF, que pode ser verificado pela tabela 7 e figura 30.

Tabela 7 - Distribuição de Frequências dos valores de IESP em dados de precipitação mensal na bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)

Classes IESP	Frequência Absoluta (meses)	Frequência Absoluta Acumulada (meses)	Frequência Relativa (%)	Frequência Relativa Acumulada (%)
≥ 2,3	2.512	2.512	3,2	3,2
1,7	4.518	7.030	5,8	9,1
1	38.786	45.816	50,0	59,1
0	20.439	66.255	26,4	85,5
-1	5.878	72.133	7,6	93,1
-1,7	3.127	75.260	4,0	97,1
≤ -2,3	2.260	77.520	2,9	100,0

Fonte: Petrucci (2021)

Figura 30 - Histograma dos valores de IESP em dados de precipitação mensal na bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

A tabela 7 e a figura 30 mostram a distribuição de frequências e o histograma dos resultados da aplicação do IESP, respectivamente, revelando o comportamento das ocorrências entre os meses secos, úmidos e normais na bacia hidrográfica do rio São Francisco. De modo geral, a referida bacia é acometida com maior frequência a eventos de excedente de umidade do que com déficit de precipitação.

A maior concentração de ocorrências se deu no intervalo de Excedente Moderado de Precipitação (EMp), total de 38.786 meses, representando 50% do total das ocorrências (77.520 meses). Condições de normalidade foi a segunda mais frequente, que englobam as classes Normal Seco e Normal Úmido, no intervalo entre -1 a +1, ocorrendo em 20.439 meses, que representa 26,4%.

Analisando os extremos, verifica-se maior ocorrência de excedente do que déficits de precipitação. O primeiro, representa 3,2% do total de ocorrências, que significa que 2.512 meses foram classificados com Excedente Extremo de Precipitação (EEp), já os Déficit Extremos de Precipitação (DEp) ocorreram em 2.260 meses, que representa 2,9% do total das análises. Há alguns fatores que podem ser associados à essa característica, primeiro que, a maioria das estações pluviométricas estão localizadas na região fisiográfica do Alto São Francisco, que possui predominantemente climas tropical úmido e temperado de altitude, portanto, percebe um grande volume de chuvas anuais, além de boa distribuição dela ao longo do ano.

Além disso, nas regiões onde são verificados climas semiáridos, como no SMSF, que há uma menor quantidade de estações pluviométricas, o volume anual de chuvas é baixo e concentrada em poucos meses. Assim, na maior parte do ano, a mediana de precipitação (valor de referência utilizado para o cálculo do IESP) é igual a 0, por isso a dificuldade em caracterizar eventos de DEp no período das secas, ficando mais evidente durante o período de chuvas. Isso não exime o fato da ocorrência de demais classes de déficit de precipitação, tais como, DMp e DSp.

De acordo com o quadro 11, em anexo, as estações com maiores ocorrências mensais de DEp são: Barro Preto (34), Estação Álvaro da Silveira (33), Jaboticaúbas, Vespasiano e Itaúna (32), e Corinto (30). A característica em comum é que estão todas localizadas na região da cabeceira do rio São Francisco, na região fisiográfica do ASF. Por outro lado, houve 35 estações que não registraram nenhum evento de DEp, sendo mais da metade delas localizadas na região fisiográfica do MSF.

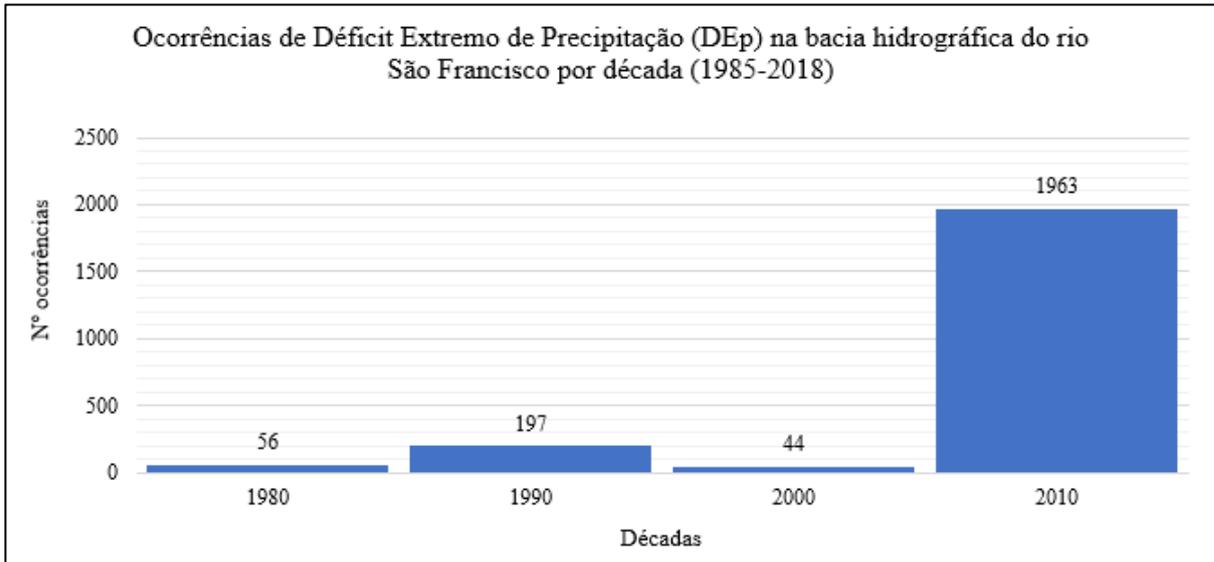
Concernente às durações, que são as sequências de meses consecutivos em que perduraram eventos de DEp, a estação Jaguaruna, no ASF, apresentou a maior durabilidade, registrando 27 meses consecutivos, no período entre out/16 a dez/18. Em sequência, as estações: Estação Álvaro da Silveira, Itaúna, Fazenda Johá, São Francisco e São João da Ponte tiveram registro de 25 meses consecutivos, que ocorreram entre dez/16 e dez/18.

Algumas estações obtiveram a mesma duração por mais de uma vez ao longo da série histórica, por exemplo a estação Traipu, com duração de 2 meses, ocorreu 2 vezes, entre ago/93 - set/93 e abr/94 - mai/94. Já a estação Varzelândia teve duração de apenas 1 mês, mas ocorreu quatro vezes ao longo da série, em jan/95, dez/15, jan/17 e jan/18. Mesma situação da estação Ponte Raul Soares, 4 ocorrências em meses não consecutivos, nos meses de jan/15, dez/15, mar/16 e jan/18.

Com relação aos mínimos, que são os valores negativos mais acentuados de DEp, duas estações registraram índice menor que -4, foram elas: Tapiraí, no ASF, com desvio negativo de -4,035, em out/18 e, estação Cachoeira da Manteiga, no MSF, com índice de -4,017, ocorrendo em dez/15. Outras duas estações obtiveram índice menor que -3,8 e foram: Bom Despacho (-3,860) em dez/18 e Lagoa do Gouvéia (-3,850) em fev/18.

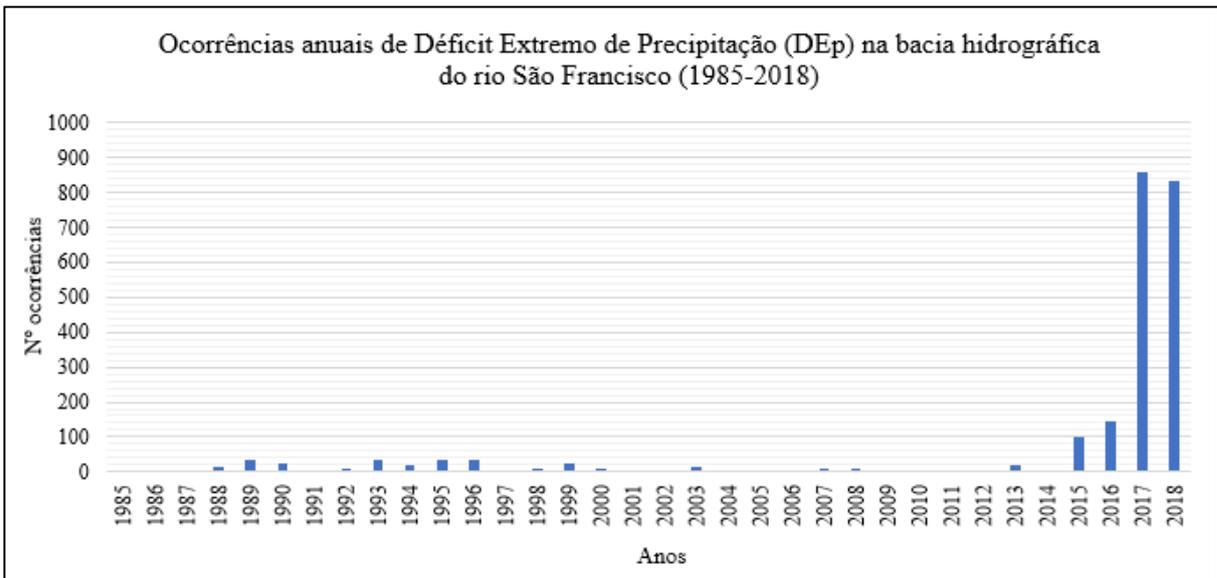
A fim de discretizar as ocorrências de DEp na bacia hidrográfica do rio São Francisco, as ocorrências foram organizadas por décadas e por ano, figuras 31 e 32, respectivamente.

Figura 31 - Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por década na BHSF (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 32 - Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por ano na BHSF (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

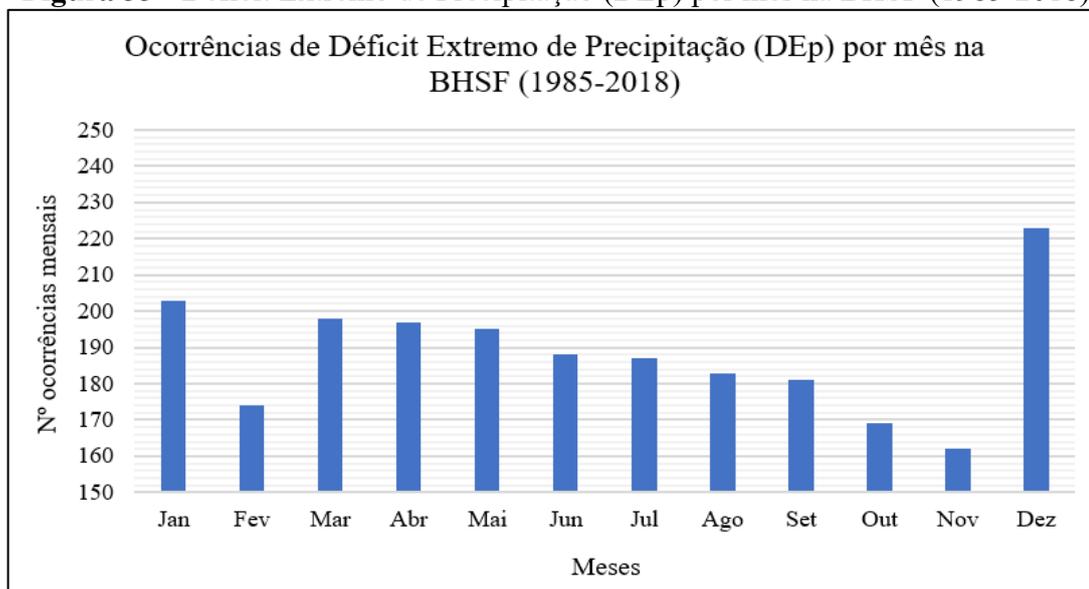
Na figura 31 é possível verificar que as ocorrências de DEp estão concentradas na década de 2010, no total de 1.963 vezes. Na década de 2000 foram registradas as menores quantidades de ocorrências, 44 vezes. Na figura 32, a ocorrência por anos, verifica-se que, do total de 2.260 vezes em que houve registro de DEp, 860 delas foram no ano de 2017 e 834 no

ano de 2018. Com isso, é possível afirmar que, ao longo de 34 anos, 75% das ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação ocorreram nos dois últimos anos (2017 e 2018).

Os resultados apresentados no quadro 11 (anexo) referente aos períodos das ocorrências mensais de DEp, das maiores durações e dos mínimos (recordes) estão de acordo com os resultados das figuras 31 e 32, em que são verificadas maior frequência de ocorrência nos últimos anos de análise das séries históricas. Essa característica de ocorrência de Déficit Extremos de Precipitação em múltiplas estações ao mesmo tempo pode ser em função das modificações climáticas e aumento dos eventos extremos promulgados pelo IPCC (2014).

A ocorrência de défits de precipitação em períodos chuvosos torna-se um problema pois, muitas vezes é nesse período que são abastecidas as águas subterrâneas e os açudes, que são a principal fonte de água no período seco. O problema agrava-se em áreas semiáridas pois, muitos dos rios que abastecem a população nessas localidades, são intermitentes e possuem água apenas no período das chuvas. Durante o período das secas, não são esperados défits de precipitação pois, em condições normais, não há registro de precipitação ou a precipitação incidente é mínima. Na figura 33 está representado um gráfico que quantifica as ocorrências de DEp por mês.

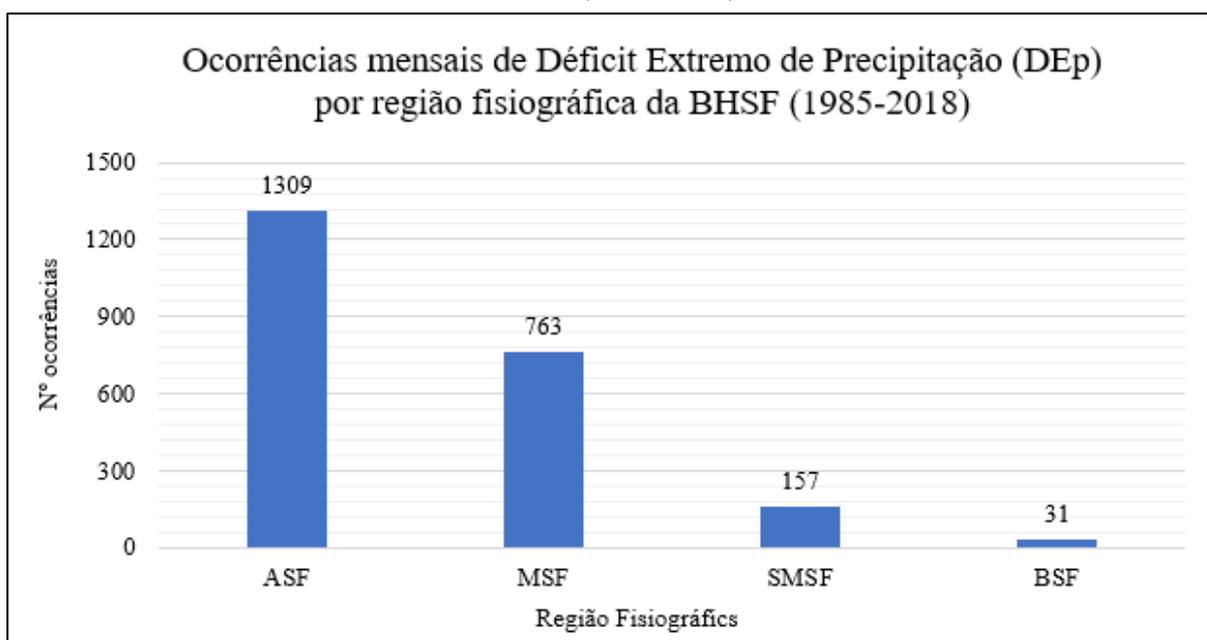
Figura 33 - Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por mês na BHSF (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Como pode ser observado na figura 33, o mês mais recorrente é dezembro, com total de 223 ocorrências, seguido de janeiro, com 203 ocorrências. Nas regiões tropicais, comumente durante os meses de verão (dezembro a fevereiro), registra-se os maiores volumes pluviométricos anuais então, a ocorrência de DEp durante esses meses é um risco à segurança hídrica, podendo acarretar desastres, exceto em regiões onde os fatores do clima atuam para diversificar o ritmo climático, como por exemplo no BSF, que está inserido na região tropical, mas possui os meses mais chuvosos diferente do verificado nas demais regiões fisiográficas. Na figura 34 estão distribuídas as ocorrências de DEp por região fisiográfica da BHSF.

Figura 34 - Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por Região Fisiográfica da BHSF (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Subdividindo as ocorrências de DEp por região fisiográfica, figura 34, verifica-se que na região do Alto São Francisco (ASF) é onde se concentra as maiores ocorrências de toda a bacia, e é onde se localiza a nascente do rio São Francisco. Associando os resultados das figuras 32 (nº ocorrências anuais), 33 (nº ocorrências mensais) e 34 (nº ocorrências por região fisiográfica), depreende-se que, nos últimos quatro anos, de 2015 a 2018, foram registrados

52% (1.178 meses) de todos os eventos de Déficit Extremo de Precipitação de toda a série histórica (1985 a 2018), principalmente nos meses de dezembro e janeiro.

Desde 2015 tem-se registrado maior frequência de recorrência de eventos de secas na região da cabeceira durante o período chuvoso, o que contribui para menor disponibilidade de água no curso do rio principal. Tornando tendência esse comportamento da acentuação dos eventos extremos de déficit de precipitação irá impactar diretamente nas atividades produtivas, na vida das pessoas e das cidades.

6.4. Meses Secos – período de 1985 a 2018

A fim de refinar a análise e compreender sobre o regime de precipitação da bacia hidrográfica do rio São Francisco, foi realizada a contagem dos meses secos e as sequências de meses consecutivos considerados secos. Foi adotado o valor de referência de 1,0 mm, sendo que, é considerado mês chuvoso aquele em que o acumulado mensal é maior ou igual a 1,0 mm e, mês seco, quando o acumulado mensal for menor que 1,0 mm. Esse limite foi baseado na normativa da *World Meteorological Organization* (WMO, 1989) para o cálculo das Normais Climatológicas e na metodologia empregada por Assad et al. (1993).

A simbologia matemática é a seguinte:

$$F(x) = \begin{cases} \geq 1,0 \text{ mm} = \text{mês úmido} \\ < 1,0 \text{ mm} = \text{mês seco} \end{cases}$$

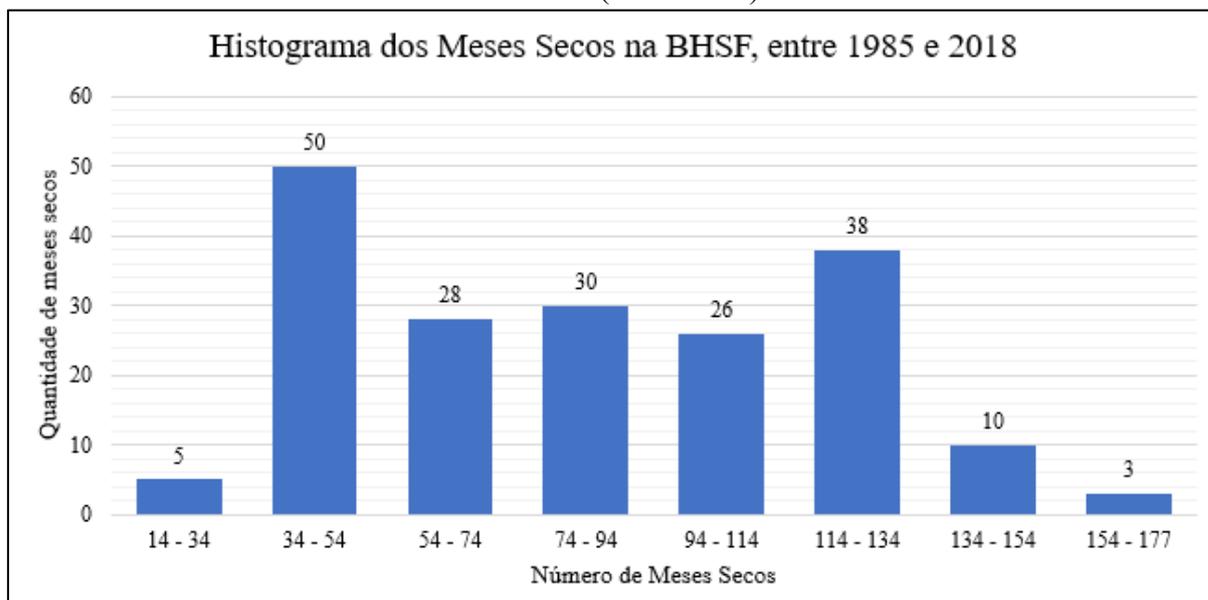
Os resultados obtidos estão sumarizados na tabela 29, em anexo. Devido ao grande volume de informações contida no referido quadro, foi realizada uma distribuição de frequência e histograma para melhor caracterizar a distribuição dos meses secos na BHSF, no período de 1985 a 2018, ver tabela 8 e figura 35:

Tabela 8 - Distribuição de frequências das quantidades de Meses Secos na bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)

Intervalo	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
14 - 34	5	5	2,6%	2,6%
34 - 54	50	55	26,3%	28,9%
54 - 74	28	83	14,7%	43,7%
74 - 94	30	113	15,8%	59,5%
94 - 114	26	139	13,7%	73,2%
114 - 134	38	177	20,0%	93,2%
134 - 154	10	187	5,3%	98,4%
154 - 177	3	190	1,6%	100,0%

Fonte: Petrucci (2021)

Figura 35 - Histograma das quantidades de Meses Secos na bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Resumindo as informações contidas na tabela 8 e figura 35, o intervalo com maior frequência foi entre 34 a 54 meses, no total de 50 estações pluviométricas atingindo essas quantidades ao longo da série histórica, que representa 26,3% do total de estações, seguido de 38 estações no intervalo entre 114 a 134 meses secos (20,0%). As classes que menos tiveram registro de ocorrências foram os extremos mínimos e máximos, com 3 estações no intervalo 154 a 177 meses secos e, 5 estações no intervalo 14 a 34 meses secos, que representam 1,6% e 2,6% respectivamente.

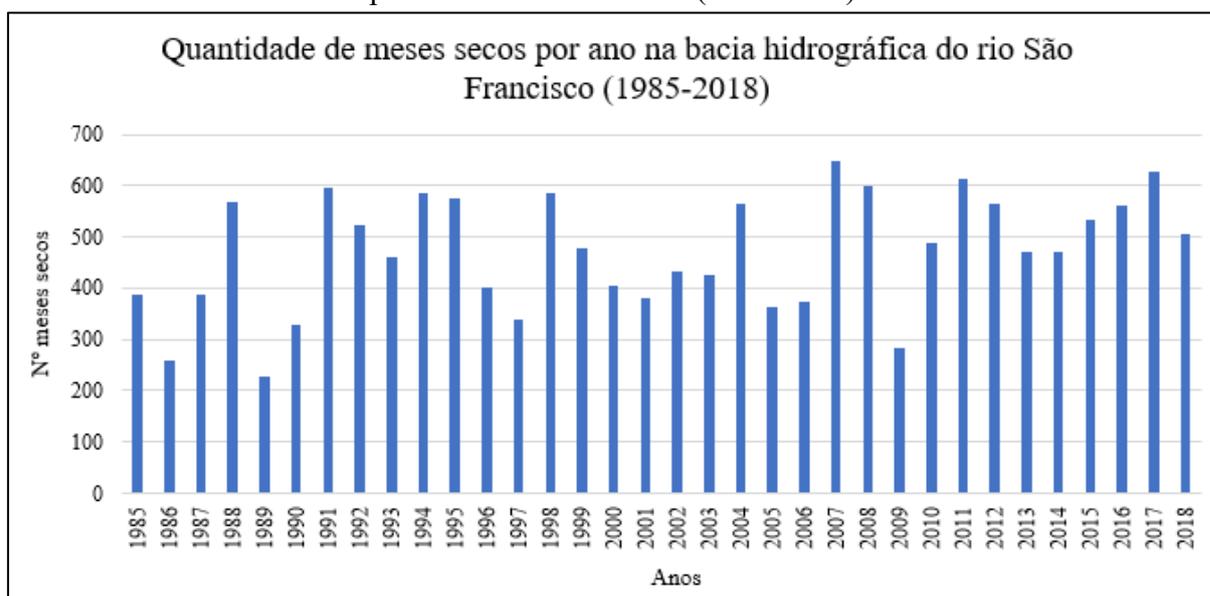
De acordo com a tabela 29, em anexo, é possível verificar que em todas as 190 estações no interior da BHSF houve ocorrências de meses secos. A estação com o maior número de meses secos, no total de 177 meses foi a estação Rio Verde II, no norte da Bahia. Em seguida, com 169 meses secos, a estação Ponte Br-242, localizada na porção central do estado da Bahia e a estação Urandi, na porção sul do estado da Bahia, na divisa com Minas Gerais, no total de 167 meses secos. Todas as referidas estações estão localizadas na região fisiográfica do MSF.

De outro lado, as estações que registraram menores ocorrências de meses secos foram a estação Penedo, no estado do Alagoas com 14 meses secos e, a estação Piaçabuçu também no estado do Alagoas, com 19 meses secos, que representam a região fisiográfica do BSF. A justificativa para essas estações registrarem baixa ocorrência de meses secos é a proximidade com o Oceano Atlântico, portanto, o regime climático nessas estações possui regularidade e boa distribuição de chuvas ao longo do ano.

Com relação às permanências de meses secos consecutivos, a maior sequência foi registrada na estação Próximo à Curaça II, com 9 meses consecutivos sem registro de precipitação, localizada no município de Curaçá, norte da Bahia, que possui clima semiárido. Em seguida, as estações Lagoa do Boi, Ibotirama e Campo dos Cavalos, com 8 meses de permanência da seca. Entre as estações com maior sequência de meses consecutivos considerados secos, apenas a estação Ibotirama está localizada na região fisiográfica do MSF, as demais estão inseridas na SMSF.

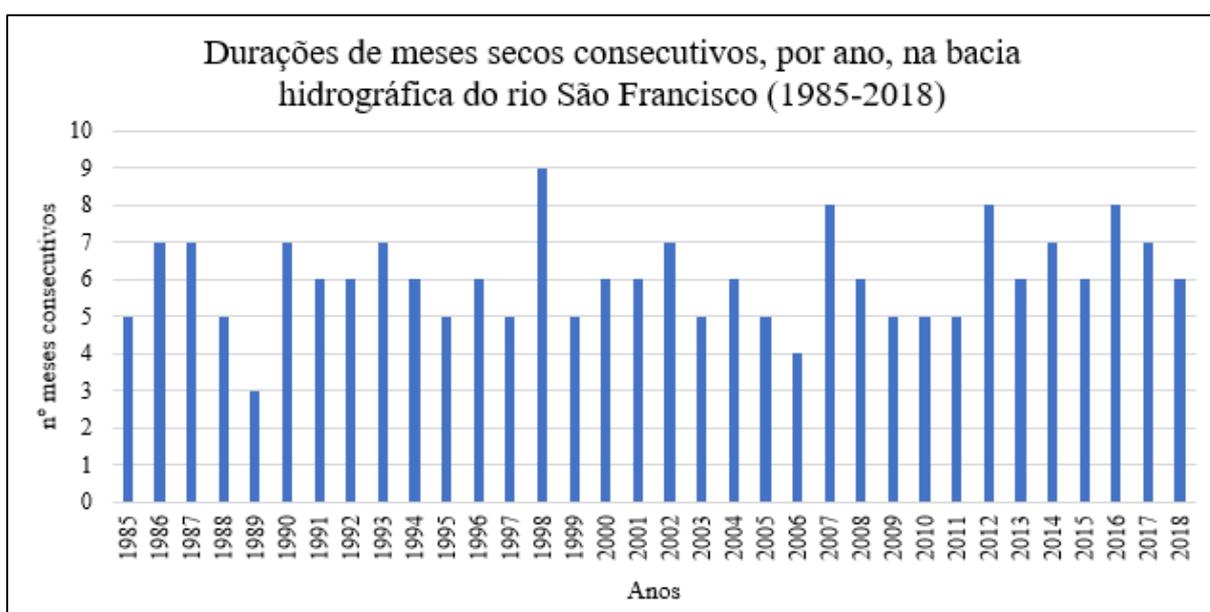
Nas figuras 36 e 37 estão representadas a soma da quantidade de meses secos por ano e as maiores extensões de períodos secos por ano, respectivamente, para todas as estações pluviométricas na BHSF:

Figura 36 – Quantitativo das ocorrências de meses secos por ano para todas as 190 estações pluviométricas na BHSF (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 37 - Maiores extensões anuais de período seco na BHSF (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

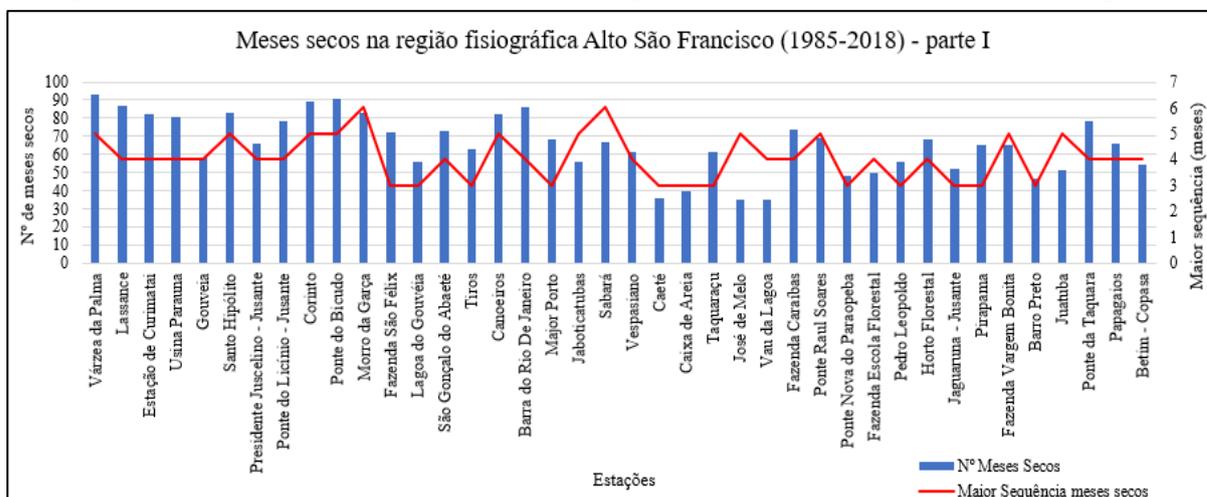
Na figura 36 é possível verificar que não há um padrão de ocorrência interanual do quantitativo de meses secos, entretanto, pode-se auferir que as maiores quantidades, superior a 600 meses, ocorreram: no ano de 2007, com 648 meses secos, em 2017 com 629 meses secos, em 2011 no total de 613 meses secos e 2008, com 601 meses secos. Por outro lado, os anos de menor ocorrência foram: 1989 com 229 meses secos e 1986, no total de 259 meses secos. É

importante ressaltar que os valores apresentados nas figuras 36 e 37 são resultantes da soma dos meses secos de todas as 190 estações de dados.

Com relação às maiores extensões, figura 37, não é percebido um padrão de ocorrência de períodos secos por ano. O máximo foi registrado no ano de 1998, com 9 meses secos consecutivos. Em segundo lugar, o total de 8 meses foi registrado nos anos de 2007, 2012 e 2016. Mesmo não havendo um padrão identificado das ocorrências interanuais do número total de meses secos e maiores extensões de períodos secos, é possível verificar que os recordes máximos ocorreram na segunda metade das séries históricas, mas, principalmente na década de 2010. Isso revela que, nos últimos anos, está ocorrendo maior frequência de ocorrência de meses sem registro de precipitação e com tendência positiva de frequência.

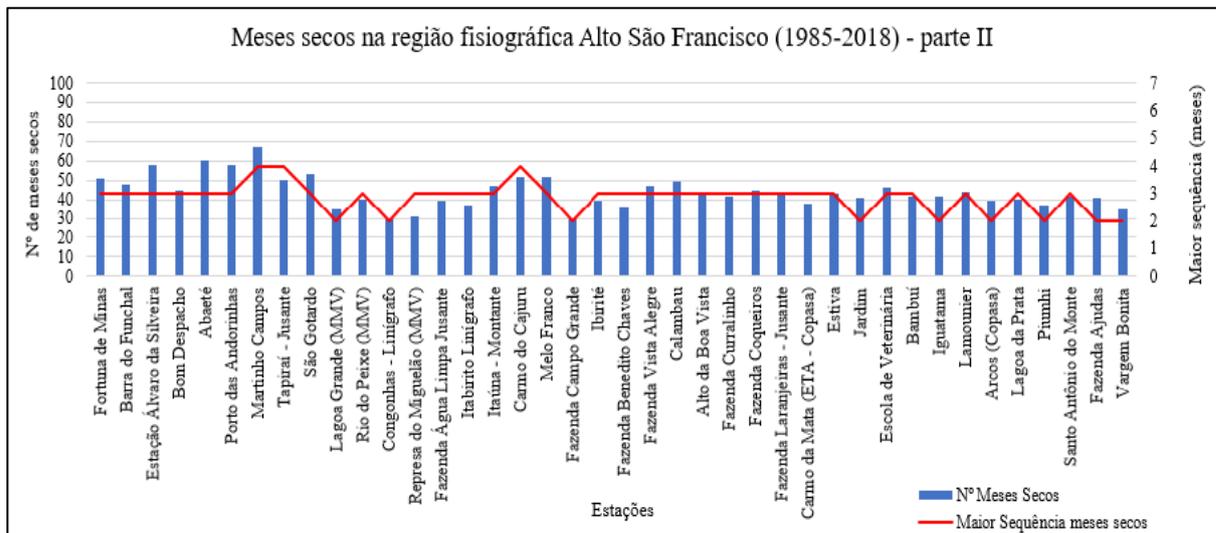
A seguir serão apresentadas as ocorrências do número de meses secos e as maiores extensões de períodos secos por região fisiográfica, figuras 38 a 43.

Figura 38 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica ASF (1985-2018) - parte I



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 39 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica ASF (1985-2018) - parte II



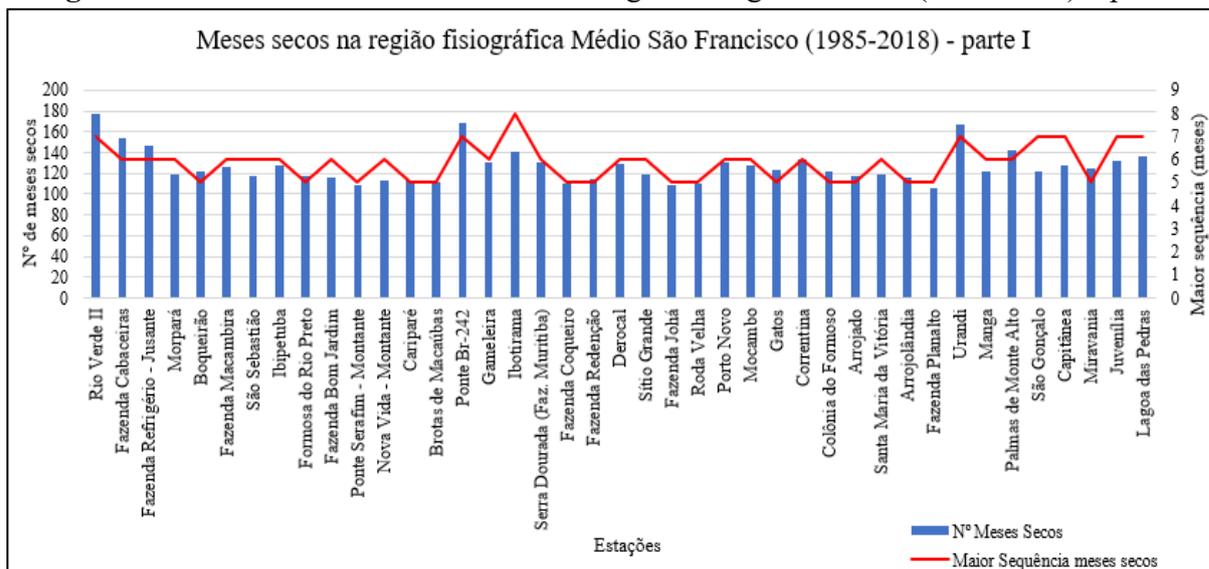
Fonte: Petrucci (2021)

As figuras 38 e 39 representam as estações pluviométricas inseridas na região fisiográfica do Alto São Francisco. Devido ao elevado número de estações (80), houve a necessidade de dividir em duas partes, sendo cada gráfico com 40 estações cada, mas elas serão analisadas em conjunto. As estações com maiores número de ocorrência de meses secos foram Várzea da Palma (93) e Ponte do Bicudo (91).

Nessa região, onde se localiza a nascente do rio São Francisco e possui majoritariamente clima tropical, as durações dos períodos secos são preocupantes, pois afeta diretamente o volume de água no curso do rio ao longo de sua extensão. Para o clima tropical da bacia, o período das secas ocorre durante a estação de inverno (Jun a Ago), e nas transições entre as estações de outono para inverno e de inverno para a primavera, que corresponde cerca de 3 a 4 meses. Entretanto, as maiores sequências de meses secos registradas foram nas estações Morro da Garça e Sabará, no total de 6 meses consecutivos.

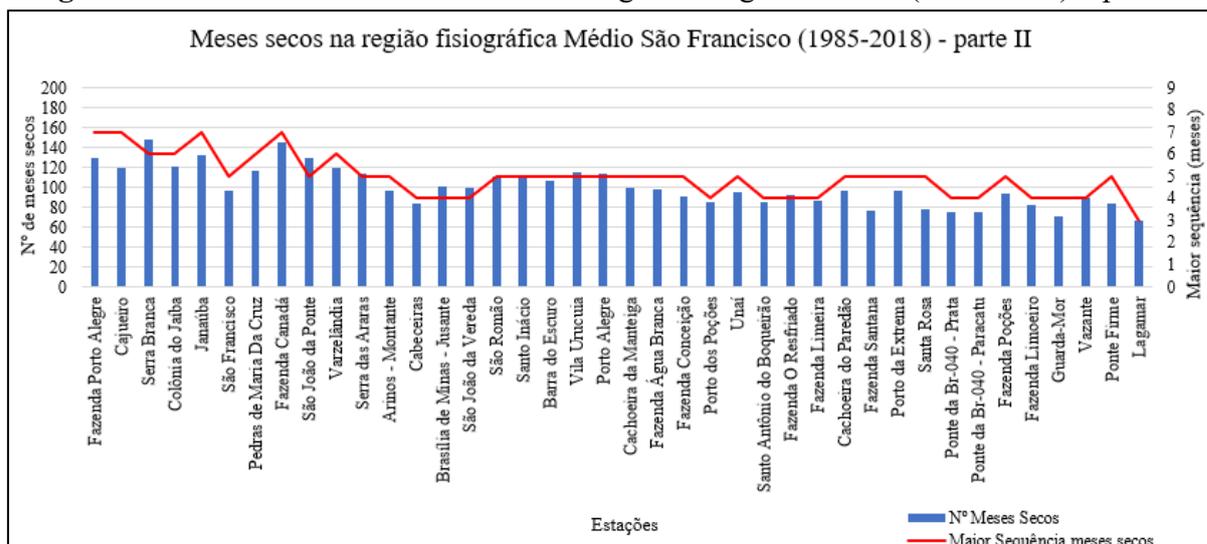
As figuras 40 e 41 representam as estações pluviométricas inseridas na região fisiográfica do Médio São Francisco. Devido ao elevado número de estações (81), houve a necessidade de dividir em duas partes, sendo, a primeira com 41 estações e a segunda com 40 estações, mas elas serão analisadas em conjunto.

Figura 40 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica MSF (1985-2018) – parte I



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 41 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica MSF (1985-2018) – parte II

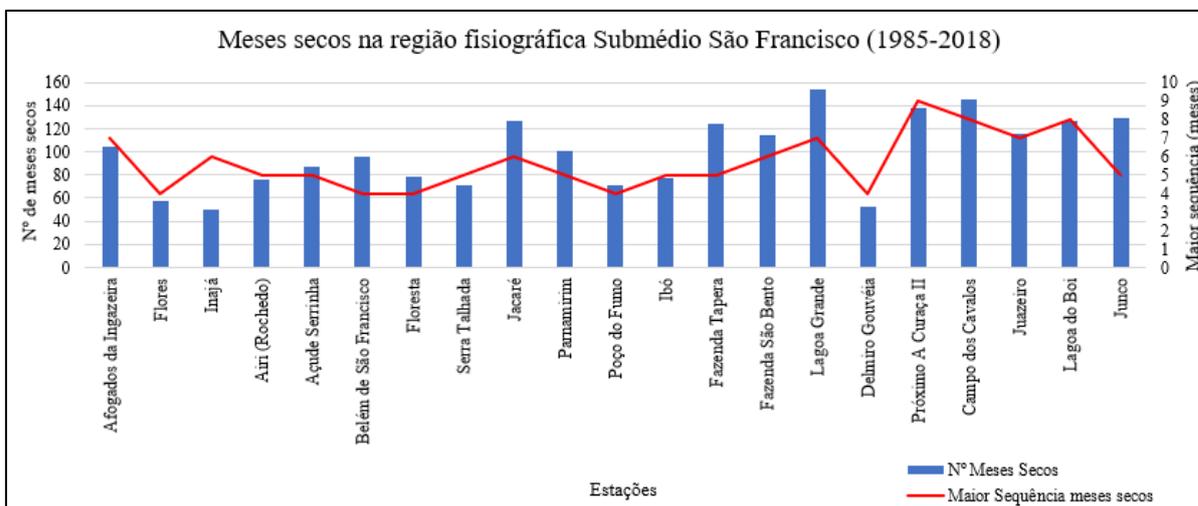


Fonte: Petrucci (2021)

As estações com maior número de ocorrências de meses secos foram: Rio Verde II (177), Ponte Br-242 (169) e Urandi (167), que corresponde aos maiores valores encontrados no

interior da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Já a maior sequência de meses secos consecutivos, ocorreu na estação Ibotirama, período de 8 meses.

Figura 42 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica SMSF (1985-2018)

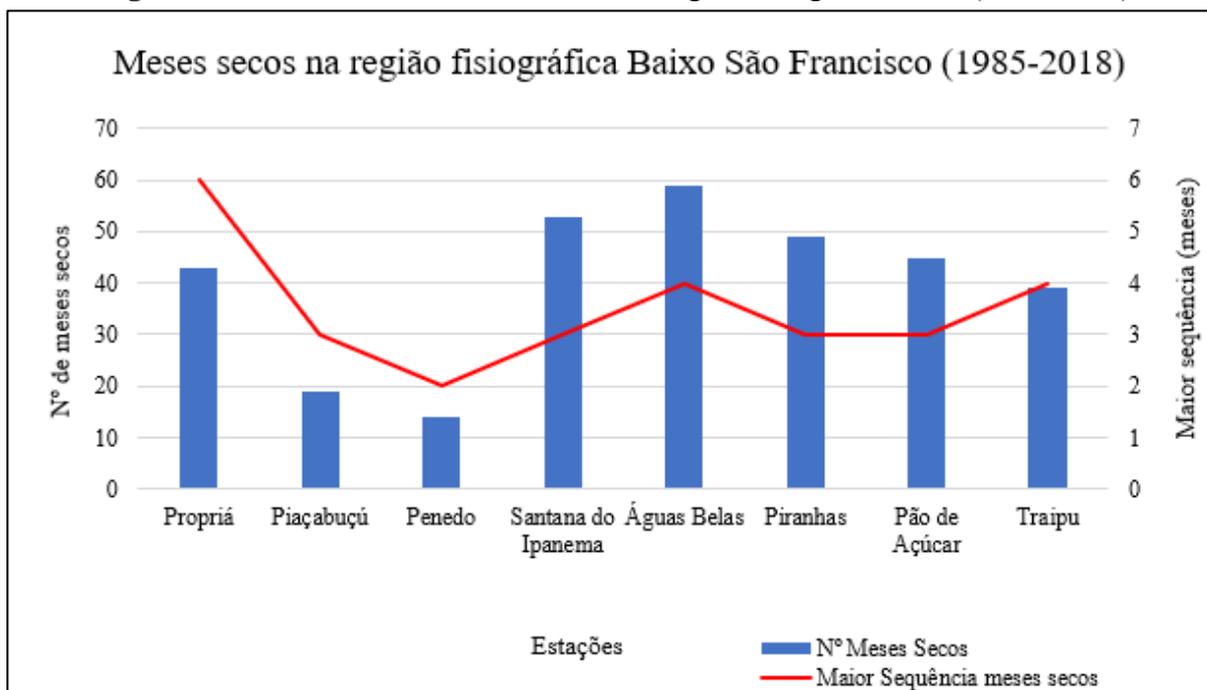


Fonte: Petrucci (2021)

Na região do Submédio São Francisco, figura 42, os maiores números de ocorrências de meses secos foram registrados nas estações Lagoa Grande (154), Campo dos Cavalos (145), nos estados de Pernambuco e Bahia, respectivamente. Referente aos períodos de meses secos, a estação Próximo a Curaça II registrou uma sequência de 9 meses secos consecutivos, seguido das estações Campo dos Cavalos e Lagoa do Boi, com 8 meses consecutivos cada.

Por mais que o SMSF seja a região fisiográfica da bacia com a menor pluviosidade, apresentando clima semiárido, as maiores quantidades de meses secos foram registrados na região do MSF. Entretanto, é no SMSF que são encontrados os períodos mais extensos de meses secos. A estação Próximo a Curaça II, localizada no município de Curaçá-BA que é banhado pelo rio São Francisco, registrou a maior sequência de todas as estações.

Figura 43 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica BSF (1985-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Na região do BSF, que corresponde à região da foz do rio São Francisco, localizada entre os estados de Sergipe e Alagoas, possui clima controlado pelo Oceano Atlântico, portanto é uma das regiões da referida bacia com maior pluviosidade. Devido a isso, é a região com menor ocorrência de meses secos, figura 43, com máximo de 59 meses na estação Águas Belas e 53 meses secos na estação Santana do Ipanema. Assim como na região do ASF, no BSF o período de maior extensão de meses secos foi no total de 6, na estação Propriá, que fica localizada a menos de 100 km do mar.

6.5. Pluviosidade da bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)

Na tabela 9 estão sumarizados as estatísticas básicas nos dados de precipitação média anual das 211 estações da BHSF no período de 2003 a 2018.

Tabela 9 - Estatística básica dos dados de precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)

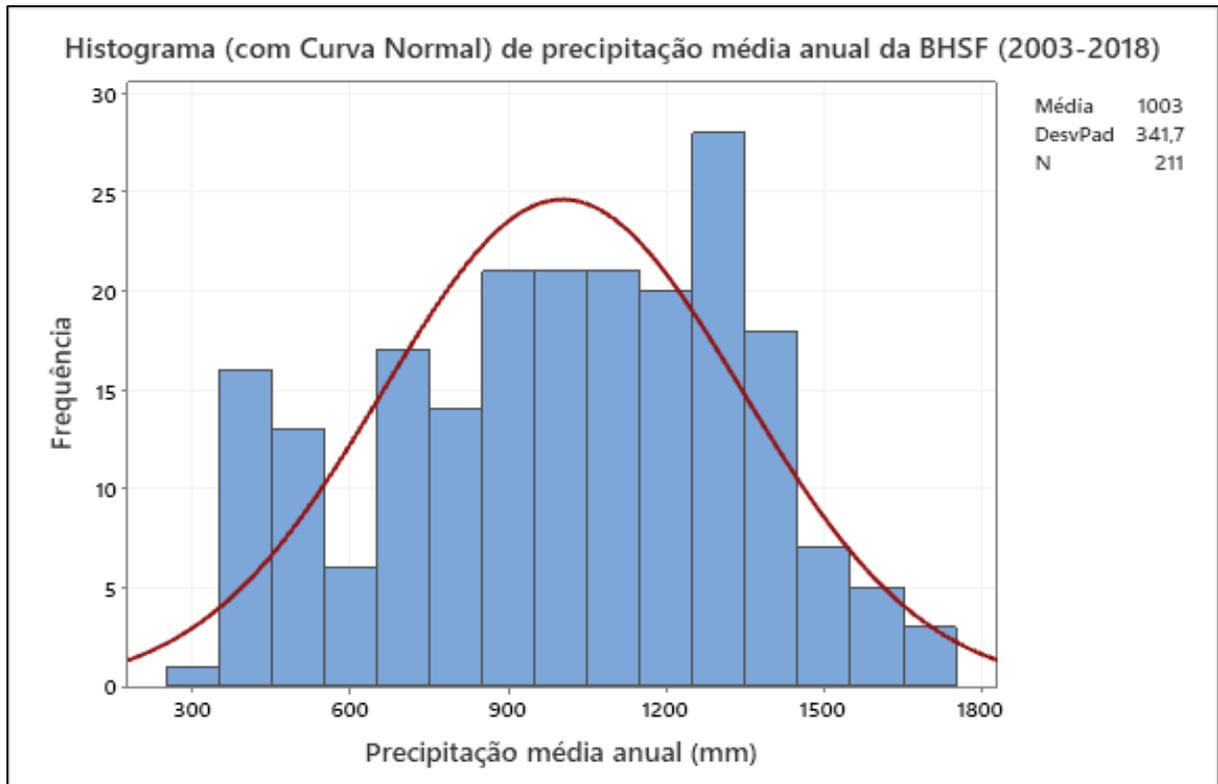
n° dados	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média
211	273,0	1.703,5	1.430,5	1.002,8
	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação	
	341,7	116.774	34,08	
Q1	Mediana	Q3	Assimetria	Curtose
739,7	1.026,7	1.286,4	-0,24	-0,82

Fonte: Petrucci (2021)

Na tabela 9 estão considerados todas as 211 estações pluviométricas localizadas no interior da bacia hidrográfica do rio São Francisco. A média geral dos dados é de 1.002,8 mm e desvio padrão de 341,7, com variância de 116.774. Com relação aos valores quartis, o Q1 é de 739,7 mm e o Q3 é de 1.286,4 mm. O valor mínimo de precipitação anual é de 273,0 mm na estação Curral de Pedra, localizada na região fisiográfica do SMSF, ao norte do estado da Bahia. Por outro lado, o máximo verificado foi de 1.703,5 mm, na estação Ibirité, localizada na região fisiográfica do ASF, na região metropolitana de Belo Horizonte. A amplitude é de 1.430,5 mm, valor expressivo, corroborado pelo valor do coeficiente de variação que é de 34,08 %.

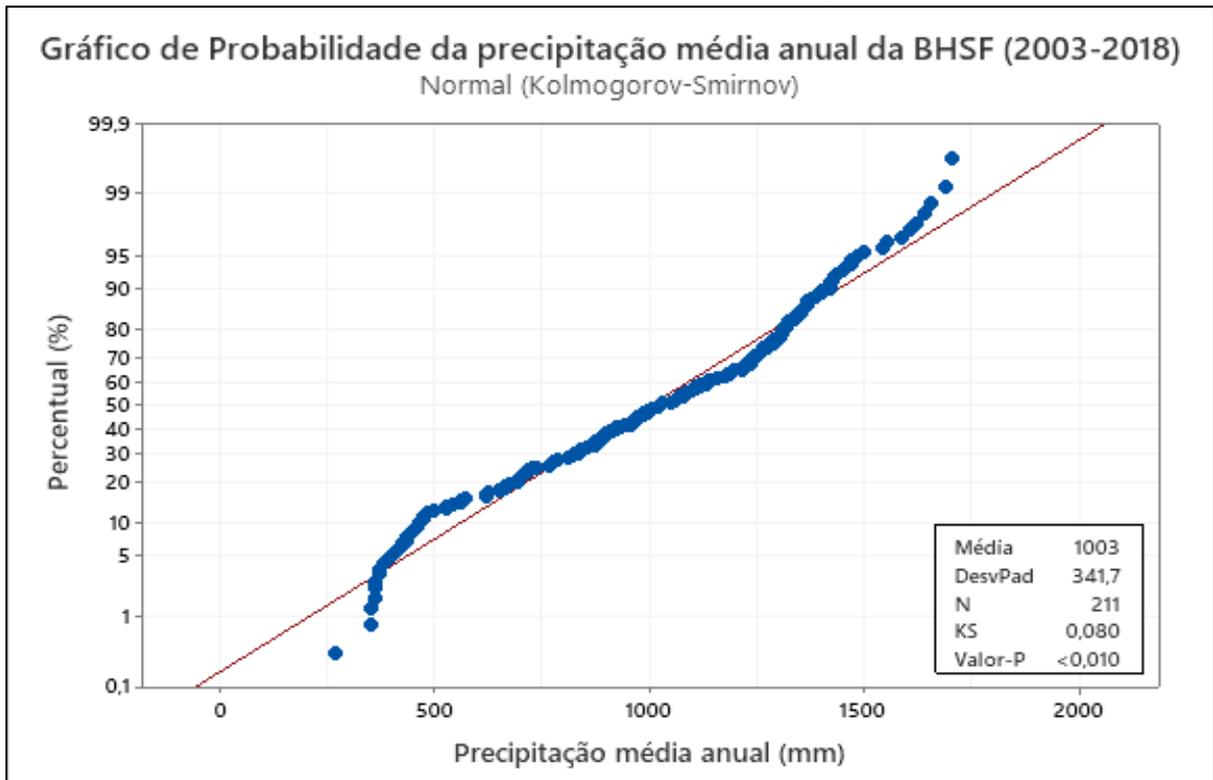
Essas características podem ser visualizadas no gráfico de distribuição de frequências e no gráfico de distribuição de probabilidades (teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov), figuras 44 e 45, respectivamente

Figura 44 - Gráfico de distribuição de frequências (histograma) com ajuste à Distribuição Normal da precipitação média anual da BHSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 45 - Gráfico de probabilidade da precipitação média anual da bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018), com normal (Kolmogorov-Smirnov)



Fonte: Petrucci (2021)

Como pode ser observado nas figuras 44 e 45, os dados de precipitação anual não obedecem à uma distribuição normal, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, o p-valor foi de 0,01, não superando os 5%. A não-normalidade dos dados não é um empecilho à aplicação da krigagem, como apontado por Guimarães (2004), o ideal é que os dados obedecam à uma distribuição normal, entretanto, não é uma situação restritiva.

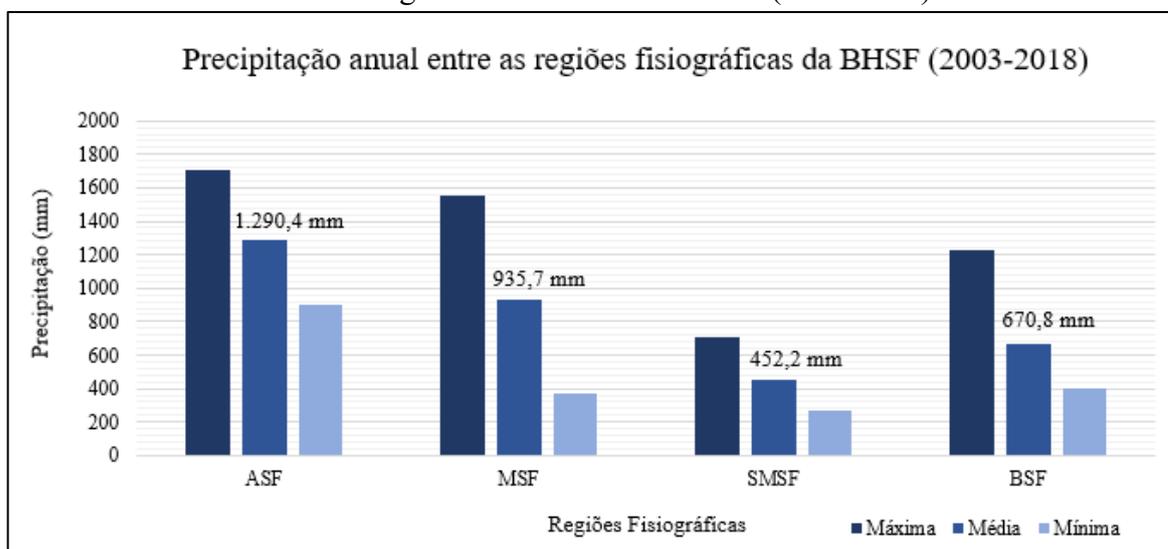
Como a pluviosidade na BHSF admite comportamento heterogêneo, com maior umidade na região da cabeceira (ASF), em decorrência de maior quantidade de precipitação, diminuindo em direção ao MSF até o SMSF (norte da Bahia, região semiárida) e, a partir daí, na região do BSF a precipitação novamente aumenta, sob influência de massas úmidas do oceano atlântico, tabela 10 e figura 46.

Tabela 10 - Precipitação anual entre as regiões fisiográficas da BHSF (2003-2018)

	Alto São Francisco	Médio São Francisco	Submédio São Francisco	Baixo São Francisco
Máximo	1703,5mm	1554,9 mm	711,9 mm	1226,7 mm
Estação máximo	Ibirité (MG)	Cabeceiras (GO)	Santana do Ipanema (AL)	Penedo (AL)
Mínimo	899,5 mm	374,9 mm	273,0	402,2 mm
Estação mínimo	Várzea da Palma (MG)	Baixa Grande (BA)	Curral de Pedra (BA)	Junco (BA)
Média	1290,4 mm	935,7 mm	452,2 mm	670,8 mm

Fonte: Hidroweb (2019); Org: Petrucci (2021)

Figura 46 - Precipitação anual máxima, mínima e média entre as regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)



Fonte: Hidroweb (2019); Org: Petrucci (2021)

No histórico analisado (2003 a 2018) a precipitação média anual é maior na região fisiográfica ASF, com 1.290,4 mm. O contrário é verificado no SMSF, que tem média pluviométrica anual de 452,2 mm. No MSF a média é de 935,7 mm e, no BSF a média pluviométrica é de 670,8 mm. Com relação ao período de 1985 a 2018, houve sensível redução nos valores de precipitação média anual para todas as regiões fisiográficas, sendo que, no ASF esse percentual foi de 2,3%, no MSF foi de 5,4%, no SMSF foi de 10,8% e, no BSF a redução foi de 9,8%, configurando a maior baixa entre as regiões fisiográficas.

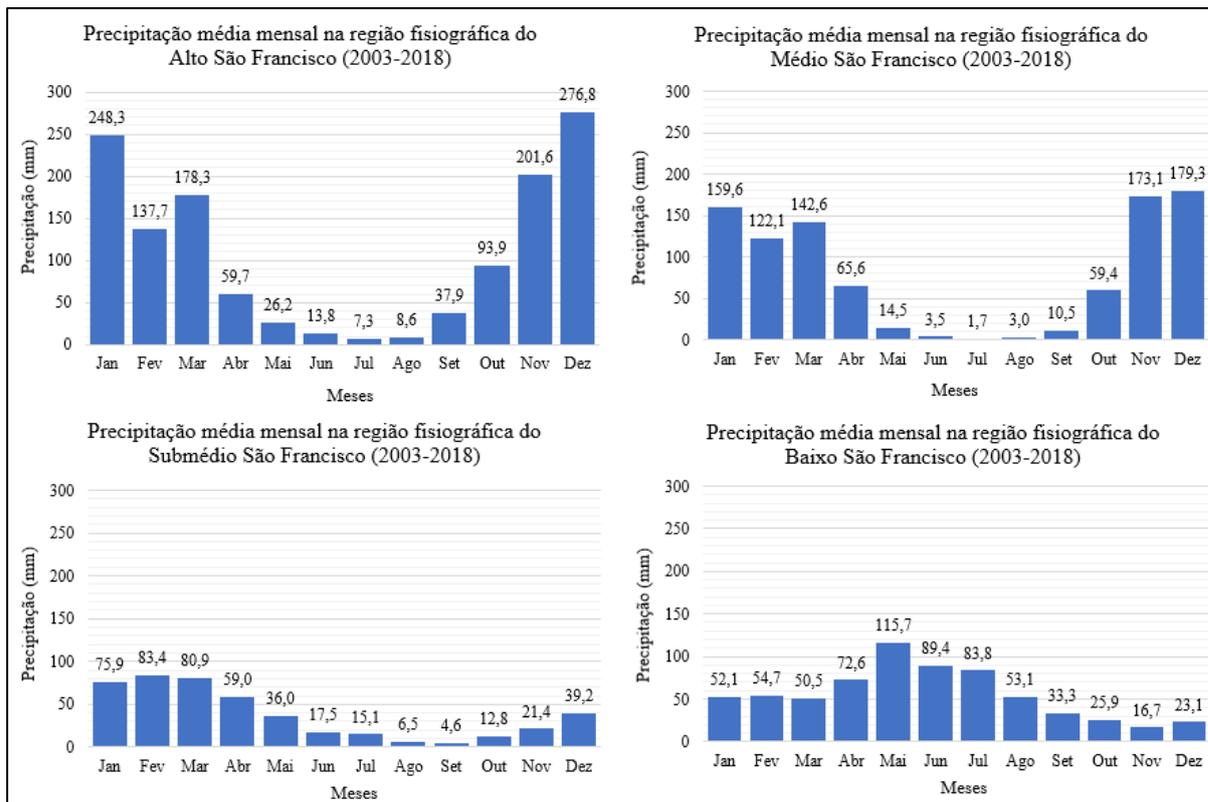
Com relação às médias mensais da precipitação entre as regiões fisiográficas, ver tabela 11 e figura 47.

Tabela 11 - Precipitação média mensal e respectivas porcentagens entre as regiões fisiográficas na bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)

	Alto São Francisco		Médio São Francisco		Submédio São Francisco		Baixo São Francisco	
	Média (mm)	%	Média (mm)	%	Média (mm)	%	Média (mm)	%
Jan	248,3	19,2	159,6	17,1	75,9	16,8	52,1	7,8
Fev	137,7	10,7	122,1	13,1	83,4	18,4	54,7	8,2
Mar	178,3	13,8	142,6	15,3	80,9	17,9	50,5	7,5
Abr	59,7	4,6	65,6	7,0	59,0	13,0	72,6	10,8
Mai	26,2	2,0	14,5	1,6	36,0	8,0	115,7	17,2
Jun	13,8	1,1	3,5	0,4	17,5	3,9	89,4	13,3
Jul	7,3	0,6	1,7	0,2	15,1	3,3	83,8	12,5
Ago	8,6	0,7	3,0	0,3	6,5	1,4	53,1	7,9
Set	37,9	2,9	10,5	1,1	4,6	1,0	33,3	5,0
Out	93,9	7,3	59,4	6,4	12,8	2,8	25,9	3,9
Nov	201,6	15,6	173,1	18,5	21,4	4,7	16,7	2,5
Dez	276,8	21,5	179,3	19,2	39,2	8,7	23,1	3,4
Total	1.290,0	100	935,7	100	452,2	100	670,8	100

Fonte: Petrucci (2021)

Figura 47 - Precipitação média mensal entre as regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2020)

Por meio da tabela 11 e figura 47, é possível perceber que o regime de precipitação não é igualmente distribuído ao longo dos meses do ano, havendo o maior volume de chuvas concentrado em poucos meses, para todas as regiões fisiográficas. No ASF e MSF, o período chuvoso ocorre entre os meses de novembro a março (correspondendo às estações de primavera/verão) sendo que, nesse período chove 80,8% do volume de chuvas anuais na região do ASF e, no MSF, esse volume de chuvas representa 83,1% do total anual. Essa característica da distribuição da precipitação é típica de climas tropicais, com verões chuvosos e invernos secos.

Para a região fisiográfica do SMSF, que é uma área transicional entre os climas semiáridos e áridos, a precipitação média anual é de 452,2 mm, com ocorrência do período chuvoso no quadrimestre de janeiro a abril, que concentra 66,2% da precipitação anual. No BSF, que possui clima regido por sistemas predominantemente oceânicos, a média

pluviométrica anual é de 670,8 mm, o período chuvoso ocorre nas estações de outono/inverno e, entre os meses de abril e julho precipita cerca de 53,9% do esperado para o ano. Nessa região fisiográfica, a precipitação é mais bem distribuída ao longo do ano comparado com as demais regiões fisiográficas.

Algumas considerações podem ser tecidas em comparação com o período entre 1985 e 2018. No ASF houve incremento na precipitação média mensal apenas nos meses de março, abril, junho e outubro, conseqüentemente, redução nos meses de verão (novembro a fevereiro), que compreende a estação chuvosa para essa região. No MSF, a relação é mais acentuada pois, verifica-se que os incrementos ocorrem entre os meses de março a junho, concentrados principalmente na estação de outono, podendo significar uma extensão do período chuvoso até meados de junho, em contrapartida é verificado diminuição da precipitação entre julho e fevereiro, nas estações de primavera e verão, principalmente.

No SMSF, as reduções são superiores aos incrementos, entretanto, não há um padrão de ocorrência entre as variações positivas e negativas. Cabe ressaltar que, durante o quadrimestre chuvoso, entre os meses de janeiro a abril, apenas há variação positiva no mês de fevereiro, na ordem de 7,5%, nos demais meses do quadrimestre, variação negativa. No BSF é verificado incremento apenas nos meses de janeiro e fevereiro, nos demais meses do ano há redução percentual. Com relação aos valores percentuais de aumento e diminuição da precipitação média mensal entre as regiões fisiográficas da BHSF, verificar tabela 12.

Tabela 12 - Variação percentual na precipitação média mensal de 2003 a 2018 em comparação a 1985-2018

	ASF	MSF	SMSF	BSF
Jan	-4,6 %	-5,7 %	-9,9 %	28,0 %
Fev	-11,2 %	-1,6 %	7,5 %	42,4 %
Mar	6,6 %	1,5 %	-23,8 %	-14,6 %
Abr	4,4 %	18,4 %	-12,2 %	-15,0 %
Mai	-11,2 %	5,8 %	7,8 %	-2,3 %
Jun	15,0 %	12,9 %	-9,3 %	-24,0 %
Jul	-8,8 %	-10,5 %	-1,3 %	-23,1 %

Ago	-27,1 %	-18,9 %	18,2 %	-18,9 %
Set	-14,8 %	-33,5 %	-2,1 %	-8,5 %
Out	3,9 %	-8,6 %	32,0 %	-3,0 %
Nov	-0,2 %	-2,9 %	-24,9 %	-17,3 %
Dez	-3,1 %	-18,2 %	-29,5 %	-11,8 %

Org.: Petrucci (2021)

Pela tabela 12, verifica-se que o maior incremento de precipitação mensal foi de 42,4 % no mês de fevereiro na região fisiográfica do Baixo São Francisco e, a maior diminuição foi de -33,5 % ocorrendo em setembro na região do Médio São Francisco.

6.5.1. *Espacialização da precipitação média anual (2003-2018)*

A aplicação do método da krigagem pressupõe que não haja enviesamento nos valores dos dados em função da sua localização espacial, condição esta que não foi satisfeita nos dados de precipitação média anual. Nesta situação, a krigagem é feita sobre os resíduos resultantes da diferença entre a tendência, expressa na regressão múltipla e os dados observados. Ao final do processo fez-se a restituição dos valores utilizando-se a equação de regressão.

Para os dados de precipitação média anual das 244 estações localizadas no interior e no entorno da BHSF, foi realizado um ajuste polinomial, por meio do processo de regressão múltipla entre a precipitação média anual sendo a variável dependente (Z_i) e as respectivas coordenadas geográficas em UTM, como as variáveis independentes (X e Y), de acordo com os preceitos das superfícies de tendência, como exemplificado na seção 5.3.

Foram testados polinômios de até 2 graus, com diferentes interações, como pode ser verificado na tabela 13, bem como os respectivos valores de coeficiente de determinação (r^2), erro padrão e valores dos coeficientes de tais polinômios.

Tabela 13 - Resultados dos ajustes de tendência das equações polinomiais para a precipitação média anual (mm) das 245 estações pluviométricas da BHSF, período de 2003 a 2018

Nº	Equação teórica	Nº graus	R ²	Erro padrão			
1	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y$	3	0,748459	177,8607			
2	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * X * Y$	4	0,774018	168,9332			
3	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * X^2$	4	0,809165	155,2413			
4	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * Y^2$	4	0,792776	161,7702			
5	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * X * Y + \beta_4 * X^2$	5	0,810786	154,9035			
6	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * X * Y + \beta_4 * Y^2$	5	0,79639	160,6885			
7	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * X * Y + \beta_4 * X^2 + \beta_5 * Y^2$	6	0,887498	119,6952			
Nº	Coeficientes						Significância (teste F)
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	
1	5647,815	-0,0002831	-0,00053				5,93451E-73
2	9100,999	-0,0058847	-0,00093	6,40102E-10			3,36559E-77
3	6399,187	-0,0018109	-0,00056	9,51E-10			5,33037E-86
4	43945,27	-0,0005506	-0,0097	5,5711E-10			1,03811E-81
5	5212,603	5,5603E-05	-0,00041	-2,46229E-10	1,131E-09		3,85952E-85
6	38896,333	-0,0029613	-0,00835	2,80709E-10	4,61634E-10		2,42405E-81
7	65155,404	0,0109870	-0,01570	-1,71476E-09	2,03448E-09	9,76849E-10	1,0179E-110

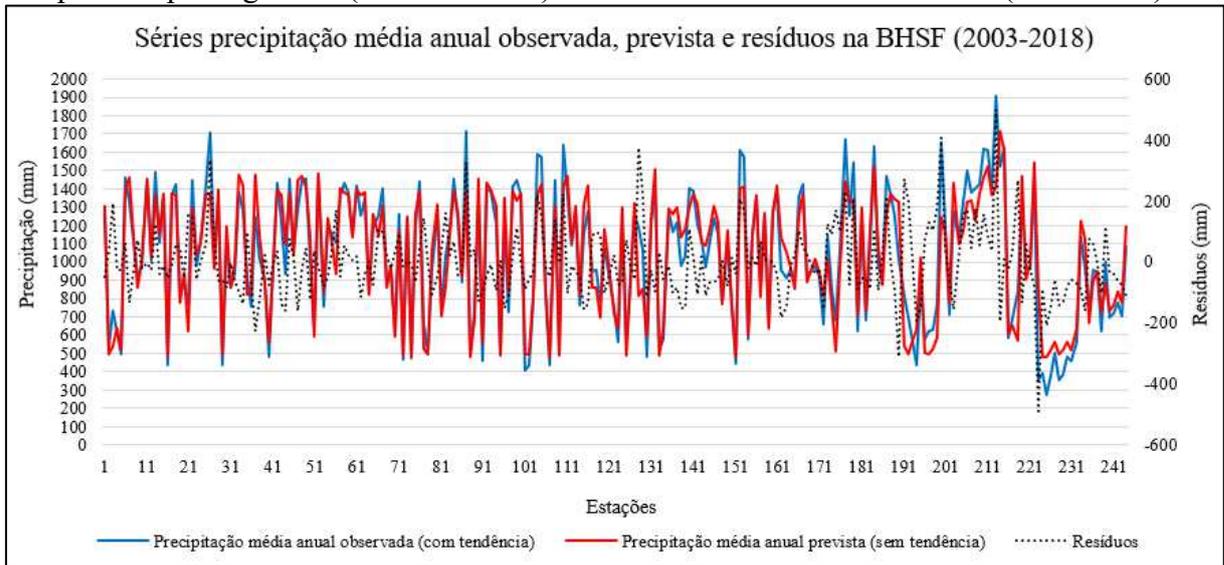
Fonte: Petrucci (2021)

De acordo com a tabela 13, em teoria, mesmo sendo a equação polinomial de número 7 a que apresentou maior coeficiente de determinação, não foi a equação utilizada. Como é sabido, fenômenos espaciais tendem a se ajustar melhor a modelos matemáticos mais simples, não devendo ser forçados ajustes a modelos complexos. Diante do exposto, utilizou-se o modelo com 4 interações, representado pela equação na posição 3 da tabela 13, que apresentou significativo R² de 0,81 ou 81%. Com a substituição dos termos por seus respectivos valores, a equação polinomial ficou assim configurada:

$$Z_i(X, Y) = 6399,187 + (-0,00181 * X) + (-0,0005619 * Y) + 9,51487309140257E - 10 * X^2$$

(Equação 57)

Figura 48 – Comparação entre as séries históricas de precipitação média anual observada, prevista por regressão (sem tendência) e resíduos de estimativa na BHSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Analisando a figura 48, verifica-se um bom ajuste dos dados de precipitação média anual. Os dados observados estão representados pela linha azul, os dados recompostos por meio da aplicação da equação polinomial pela regressão (MMQ) está representada pela linha vermelha e os resíduos de estimativas pela linha pontilhada em preto. Os resíduos apresentaram soma dos quadrados igual a 3.409.809,5 mm², enquanto o quadrado total foi de 29.198.6245,2 mm².

Para a retirada da tendência, foi utilizado o Microsoft Excel 2019 para a realização dos cálculos. A equação de regressão múltipla gerada (equação 57) foi utilizada para restituição dos valores de precipitação média anual. A partir disso, os resultados produzidos foram plotados no *software* GS+ para a espacialização dos resultados dos resíduos da precipitação média anual.

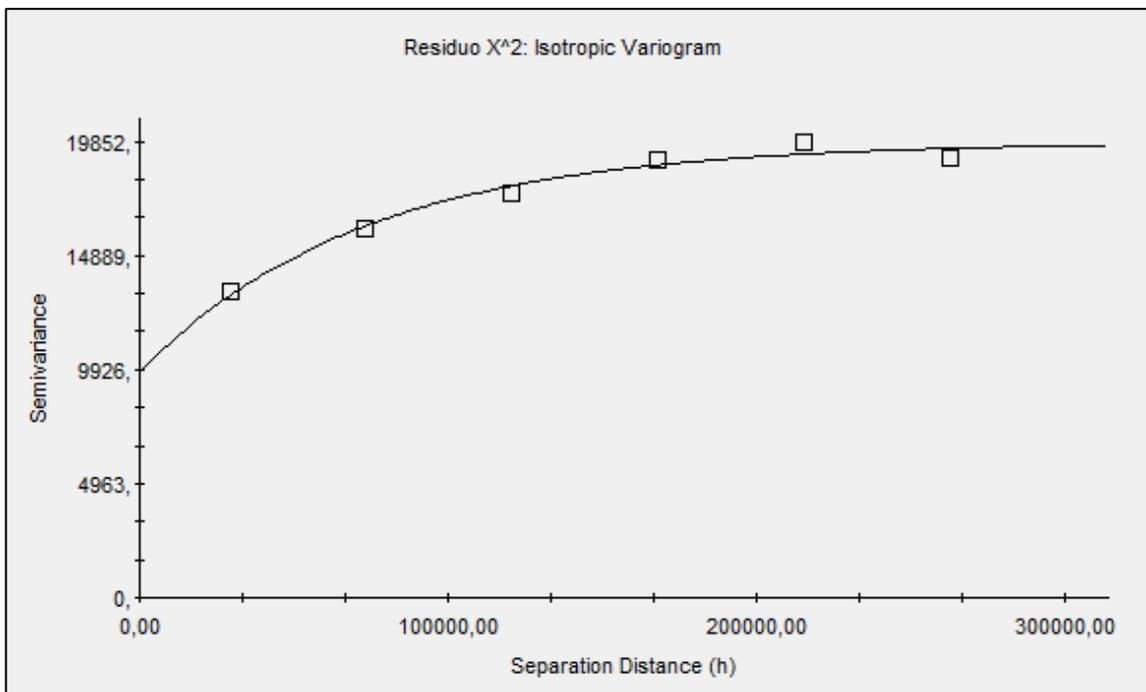
A modelagem dos dados, pela criação do semivariograma experimental ótimo, figura 49 e suas configurações estão sumarizadas na tabela 14:

Tabela 14 - Parâmetros de configuração do semivariograma experimental dos resíduos da precipitação média anual da BHSF de 2003 a 2018

Modelo	Exponencial
Efeito Pepita (C_0)	9.830
Contribuição (C)	9.990
Patamar ($C_0 + C$)	19.820
Range (a)	218.700
Relação ($C/C_0 + C$)	0,504
Nº Lags	6
Intervalo de Lag	48.000
Direção	Isotrópico
Tolerância Lag	22,5°

Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Figura 49 - Semivariograma experimental dos resíduos da precipitação média anual na BHSF, de 2003 a 2018



Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Os parâmetros do semivariograma experimental que melhor se ajustaram aos dados de resíduos da precipitação média anual podem ser substituídos na equação matemática para o modelo exponencial, considerando que neste caso, $h \leq a$:

$$\gamma(h) = 9.830 + 9.990 \left(1 - e^{-3 \left[\frac{h}{218.700} \right]} \right) \quad (\text{Equação 58})$$

Na tabela 15 pode ser analisado as características das classes de LAG utilizados para a modelagem dos resíduos da precipitação média anual para toda a extensão da BHSF:

Tabela 15 - Característica dos LAG utilizados para a construção do semivariograma teórico dos resíduos da precipitação média anual na BHSF, de 2003 a 2018

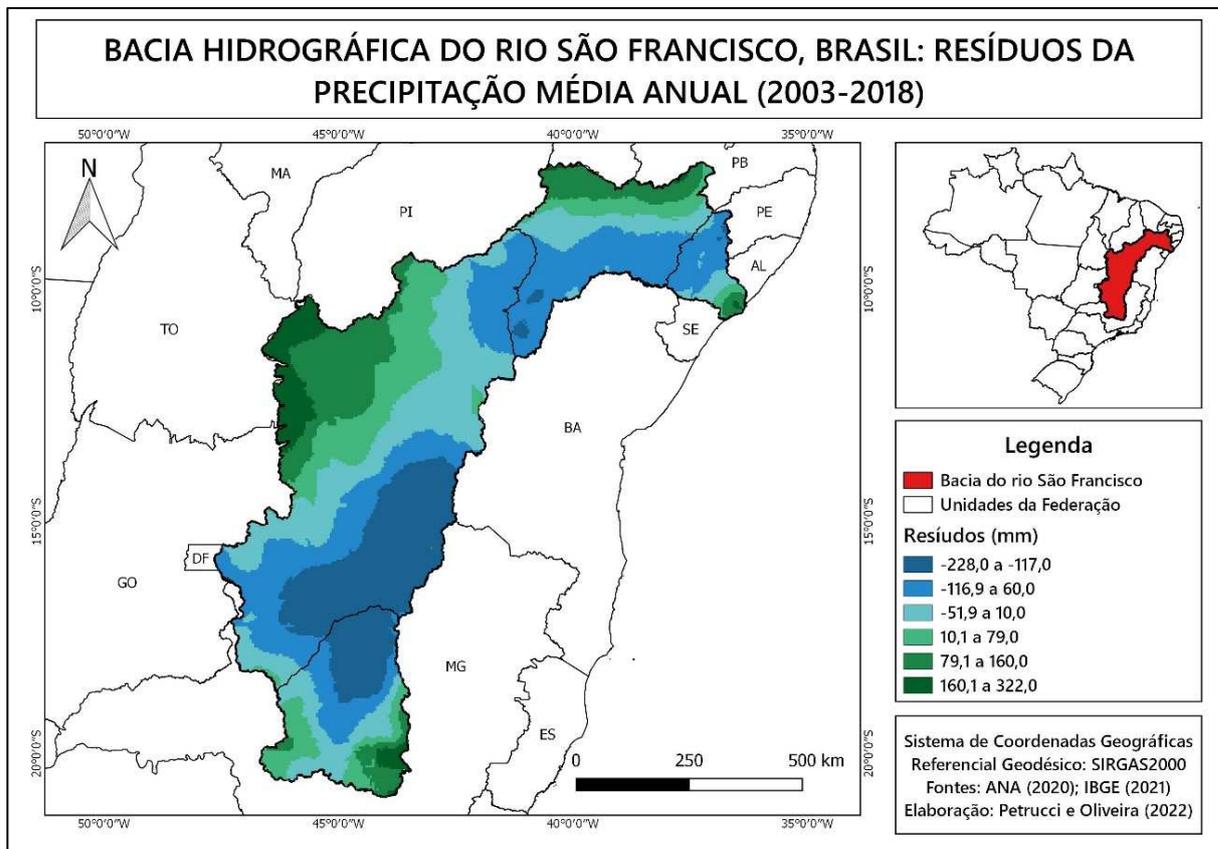
Semivariograma dos Resíduos da precipitação média anual			
Classe de Lag	Distância Média (metros)	Semivariância Média	Pares de dados
1	29.760	13.339	513
2	73.264	16.091	1.174
3	120.489	17.558	1.303
4	167.947	19.039	1.527
5	215.832	19.852	1.552
6	263.084	19.104	1.538

Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

De acordo com a tabela 15, verifica-se que, quanto maior a distância de busca dos pares de dados, maior é variância entre os dados de precipitação e maior é a quantidade de pares de dados. Por exemplo, no LAG 1, a distância média é de 29,8 km, com variância 13.339 e foram utilizados 513 pares de dados. Para o LAG 6, a distância média é de 263,1 km, com variância 19.104 e foram utilizados 1.532 pares de dados.

Referente à interpolação dos dados, foi realizado utilizando-se da técnica de Krigagem Ordinária. Para isso, houve a necessidade da criação de um grid, compreendidos entre as coordenadas 206.212 e 1.497.826 no eixo X e 7.618.313 e 9.217.061 no eixo Y, zona UTM 23, sendo 259 blocos no eixo X e 321 blocos no eixo Y, em um intervalo de 10.000 metros. A krigagem foi realizada pelo tipo *Point Kriging*, em um raio de 300 km, isotrópico, utilizando 11 vizinhos. O resultado do processo de krigagem e interpolação dos dados pode ser visualizado na figura 50. Ressalta-se que a legenda, no referido mapa foi de escolha arbitrária dos autores, de modo que pudesse ser realçadas as variações dos resíduos da precipitação na referida bacia.

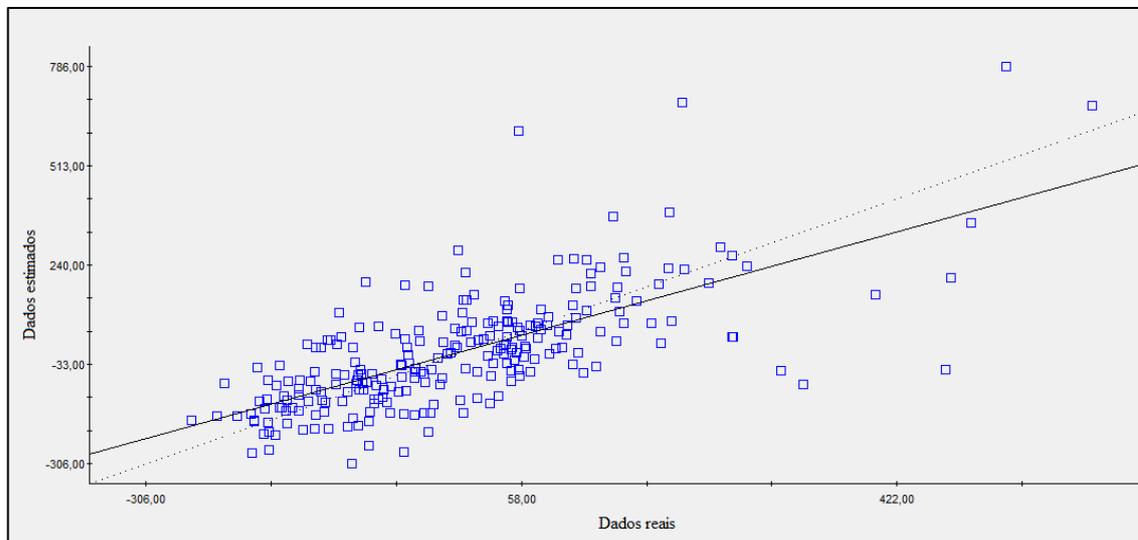
Figura 50 - Mapa dos resíduos da precipitação média anual da BHSF, período entre 2003 e 2018



Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Para a avaliação do modelo, foi analisado o coeficiente de determinação (r^2) da validação cruzada entre os dados reais e os dados estimados que foi de 0,491. Salienta-se que apesar do valor de R^2 não ser expressivo, esse modelo foi o de melhor desempenho. O gráfico de correlação entre os dados de resíduos reais e estimados pode ser analisado na figura 51 e os dados estão sumarizados na tabela 16.

Figura 51 - Gráfico de dispersão entre os dados reais e estimados dos resíduos da precipitação média anual na BHSF, período de 2003 a 2018



Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Tabela 16 – Sumário dos resíduos da precipitação média anual na BHSF, de 2003 a 2018

Nº	Resíduo Observado (mm)	Resíduo Estimado (mm)	Nº	Resíduo Observado (mm)	Resíduo Estimado (mm)	Nº	Resíduo Observado (mm)	Resíduo Estimado (mm)
1	-100,0	-157,0	82	129,0	45,0	163	-190,0	-89,0
2	-30,0	30,0	83	13,0	-105,0	164	-82,0	-91,0
3	189,0	191,0	84	108,0	0,0	165	-37,0	-58,0
4	149,0	148,0	85	-60,0	-86,0	166	50,0	-64,0
5	-43,0	-44,0	86	69,0	54,0	167	-1,0	112,0
6	82,0	49,0	87	374,0	147,0	168	-63,0	-99,0
7	-165,0	-36,0	88	-84,0	-229,0	169	-86,0	-102,0
8	-5,0	-14,0	89	-48,0	-98,0	170	-103,0	-99,0
9	44,0	43,0	90	-166,0	-30,0	171	62,0	77,0
10	25,0	193,0	91	-46,0	-29,0	172	-226,0	-179,0
11	-47,0	54,0	92	43,0	262,0	173	101,0	-18,0
12	-80,0	-146,0	93	-2,0	-10,0	174	38,0	-54,0
13	75,0	66,0	94	-52,0	-46,0	175	119,0	44,0
14	-105,0	-53,0	95	-128,0	-85,0	176	180,0	151,0
15	-2,0	52,0	96	-173,0	-140,0	177	184,0	-55,0
16	-133,0	-196,0	97	-193,0	-188,0	178	-17,0	70,0
17	21,0	42,0	98	39,0	73,0	179	160,0	11,0
18	21,0	-149,0	99	181,0	-32,0	180	191,0	239,0
19	34,0	16,0	100	12,0	37,0	181	38,0	21,0
20	-137,0	-72,0	101	-219,0	-187,0	182	-136,0	-132,0
21	42,0	-116,0	102	-186,0	-201,0	183	-108,0	-136,0
22	280,0	-3,0	103	-107,0	-60,0	184	69,0	-99,0
23	-122,0	-76,0	104	221,0	3,0	185	-163,0	-88,0
24	-58,0	-121,0	105	109,0	-119,0	186	-72,0	-77,0
25	131,0	107,0	106	-82,0	-35,0	187	255,0	92,0
26	386,0	201,0	107	-170,0	-203,0	188	15,0	97,0

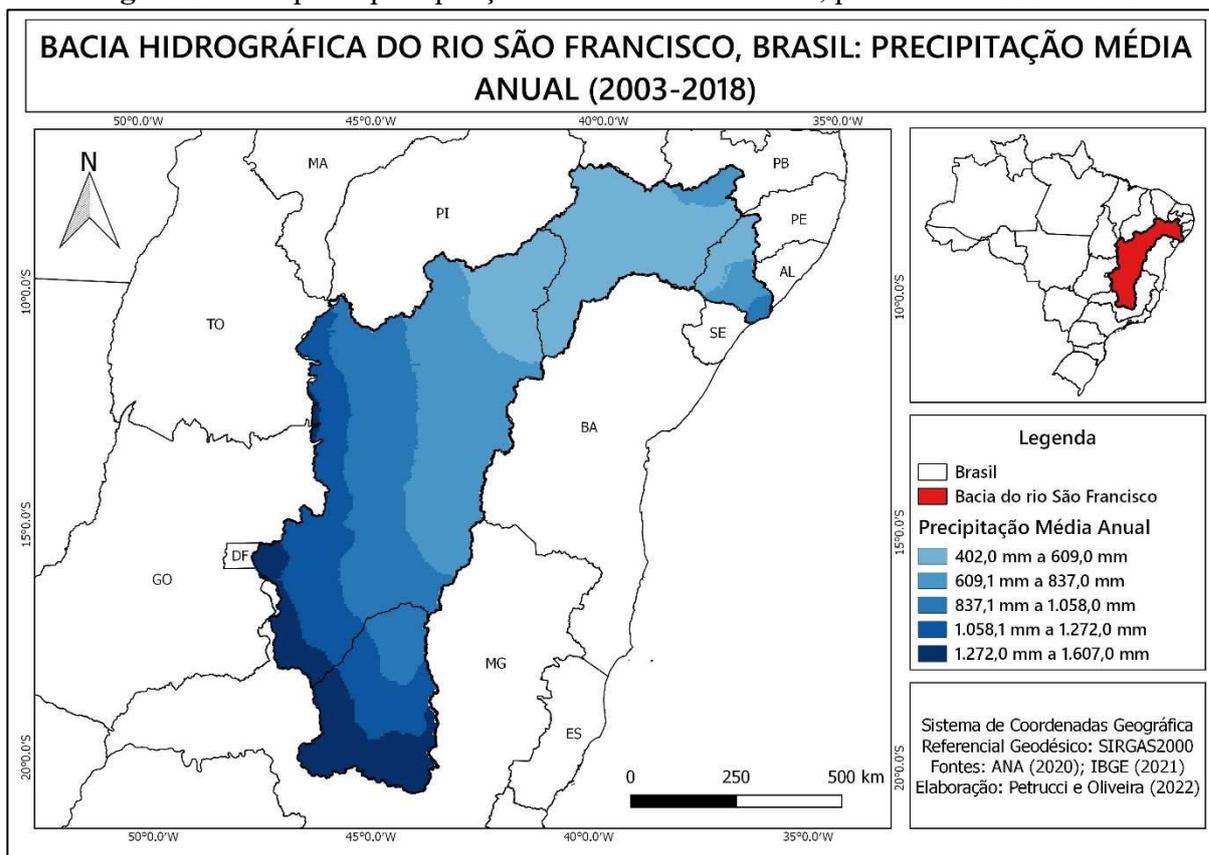
27	46,0	58,0	108	87,0	43,0	189	-119,0	-172,0
28	-51,0	47,0	109	-128,0	-188,0	190	-274,0	-55,0
29	-188,0	-201,0	110	288,0	251,0	191	259,0	157,0
30	-144,0	-26,0	111	-109,0	-110,0	192	71,0	-80,0
31	-67,0	-58,0	112	-76,0	-187,0	193	-126,0	14,0
32	74,0	83,0	113	-78,0	48,0	194	-56,0	118,0
33	-89,0	-121,0	114	-139,0	-85,0	195	61,0	-41,0
34	-139,0	27,0	115	-204,0	-110,0	196	-10,0	25,0
35	47,0	27,0	116	-87,0	330,0	197	34,0	-129,0
36	-160,0	-158,0	117	15,0	-53,0	198	15,0	-136,0
37	-131,0	-1,0	118	80,0	25,0	199	82,0	45,0
38	-175,0	-217,0	119	20,0	-6,0	200	686,0	213,0
39	10,0	62,0	120	-154,0	-191,0	201	143,0	2,0
40	-16,0	-22,0	121	73,0	71,0	202	-92,0	-179,0
41	86,0	202,0	122	-80,0	-167,0	203	79,0	156,0
42	60,0	56,0	123	98,0	84,0	204	10,0	91,0
43	-171,0	-45,0	124	-92,0	-82,0	205	177,0	111,0
44	-212,0	-153,0	125	-61,0	-113,0	206	141,0	41,0
45	86,0	31,0	126	-95,0	-67,0	207	6,0	34,0
46	-54,0	-142,0	127	-35,0	-176,0	208	218,0	125,0
47	-51,0	309,0	128	786,0	527,0	209	159,0	401,0
48	-65,0	56,0	129	677,0	611,0	210	116,0	121,0
49	58,0	0,0	130	-3,0	41,0	211	56,0	94,0
50	142,0	168,0	131	-31,0	-51,0	212	-4,0	84,0
51	-77,0	-100,0	132	-135,0	-115,0	213	608,0	54,0
52	29,0	-17,0	133	-103,0	-95,0	214	-219,0	-32,0
53	-167,0	-68,0	134	-165,0	1,0	215	193,0	-93,0
54	-33,0	108,0	135	-8,0	-51,0	216	48,0	101,0
55	14,0	-140,0	136	-120,0	35,0	217	-41,0	-197,0
56	234,0	134,0	137	-102,0	-75,0	218	175,0	56,0
57	-31,0	44,0	138	-211,0	-128,0	219	232,0	200,0
58	73,0	35,0	139	-180,0	-105,0	220	21,0	-120,0
59	29,0	9,0	140	84,0	10,0	221	-52,0	15,0
60	227,0	215,0	141	20,0	40,0	222	8,0	48,0
61	31,0	-40,0	142	-76,0	-157,0	223	-47,0	469,0
62	30,0	150,0	143	224,0	158,0	224	-211,0	-142,0
63	-11,0	60,0	144	-169,0	-56,0	225	-306,0	-105,0
64	13,0	49,0	145	-89,0	-20,0	226	-277,0	-203,0
65	-20,0	51,0	146	-118,0	-157,0	227	-175,0	-237,0
66	257,0	108,0	147	-52,0	-39,0	228	-268,0	-186,0
67	143,0	4,0	148	-65,0	28,0	229	-255,0	-89,0
68	-34,0	-58,0	149	-103,0	-141,0	230	-196,0	-168,0
69	81,0	73,0	150	356,0	493,0	231	-186,0	-261,0
70	-84,0	-95,0	151	-161,0	-169,0	232	-151,0	-164,0
71	34,0	-126,0	152	266,0	262,0	233	254,0	120,0
72	-152,0	-174,0	153	236,0	276,0	234	80,0	183,0
73	-54,0	66,0	154	-128,0	-80,0	235	-26,0	-103,0
74	-131,0	-169,0	155	204,0	474,0	236	75,0	102,0
75	-70,0	-45,0	156	44,0	262,0	237	58,0	134,0
76	65,0	-6,0	157	13,0	-4,0	238	-202,0	-100,0
77	113,0	153,0	158	16,0	61,0	239	118,0	77,0
78	-58,0	-36,0	159	182,0	125,0	240	-131,0	-134,0

79	95,0	110,0	160	61,0	4,0	241	-134,0	-148,0
80	-58,0	-97,0	161	-71,0	-19,0	242	-151,0	-176,0
81	-44,0	4,0	162	-224,0	-192,0	243	-164,0	-132,0

Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Após realizar o processo de retirada da tendência dos dados da variável precipitação média anual, analisar e espacializar os valores dos resíduos, foi feita a restituição dos valores de precipitação média anual para todas as estações pluviométricas consideradas, em ambiente Excel. Em posse dos valores restituídos de precipitação (precipitação observada – tendência), foi aplicada a espacialização dos valores de precipitação média anual para a bacia hidrográfica do rio São Francisco, para o período de 2003 a 2018, como pode ser observado na figura 52.

Figura 52 - Mapa da precipitação média anual da BHSF, período de 2003 a 2018



Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Na tabela 30, em anexo, estão dispostos os valores de precipitação média anual interpolados, para o período compreendido entre 2003 e 2018 para todos os 508 municípios da bacia hidrográfica do rio São Francisco. O município com a maior média anual de precipitação

é São Roque de Minas, no total de 1.574,3 mm, localizado no estado de Minas Gerais, que compreende a região fisiográfica do Alto São Francisco. Por outro lado, o município de Abaré, registrou a menor média anual de precipitação, no total de 427,1 mm, localizado no estado de Bahia, que compreende a região fisiográfica do Submédio São Francisco.

6.6. Coeficiente de Variação (CV) – período 2003 a 2018

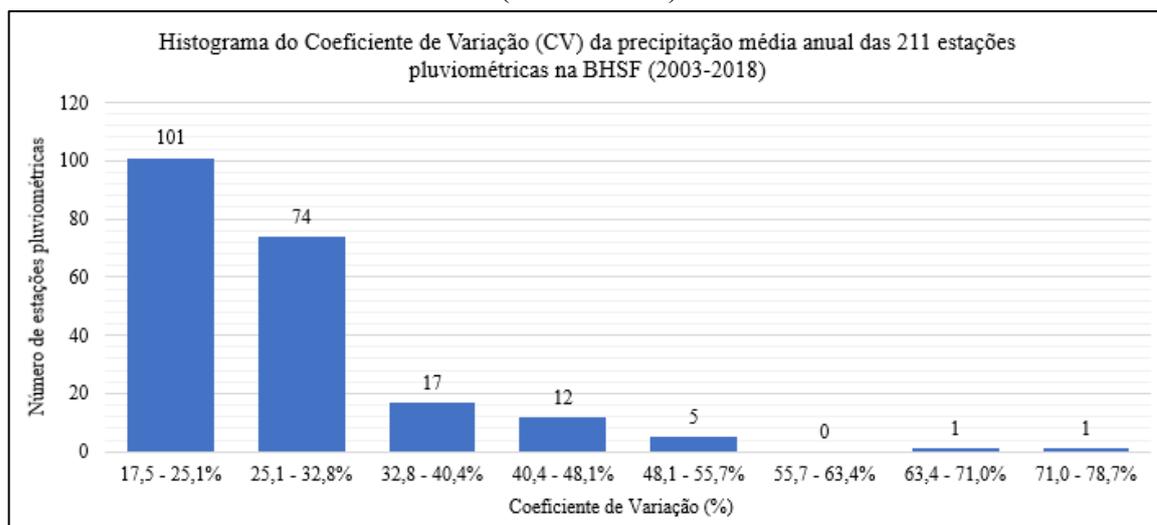
O cálculo do CV pode ser conferido pela equação 56, na seção 6.2. Os resultados para os coeficientes das 211 estações no interior da BHSF estão sumarizados na tabela 31, em anexo. A fim de proporcionar melhor visualização nos dados apresentados, foi realizada a distribuição de frequências dos valores de coeficiente de variação na BHSF, que pode ser verificado pela tabela 17 e figura 53.

Tabela 17 - Distribuição de Frequências dos Coeficientes de Variação da precipitação média anual na BHSF (2003 a 2018)

Classes	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
17,5 - 25,1%	101	101	47,9%	47,9%
25,1 - 32,8%	74	175	35,1%	82,9%
32,8 - 40,4%	17	192	8,1%	91,0%
40,4 - 48,1%	12	204	5,7%	96,7%
48,1 - 55,7%	5	209	2,4%	99,1%
55,7 - 63,4%	0	209	0,0%	99,1%
63,4 - 71,0%	1	210	0,5%	99,5%
71,0 - 78,7%	1	211	0,5%	100,0%

Fonte: Petrucci (2021)

Figura 53 - Histograma dos Coeficientes de Variação da precipitação média anual na BHSF (2003 a 2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Analisando a tabela 17 e a figura 53, percebe-se uma concentração de ocorrências no intervalo entre 17,5 e 25,1%, totalizando 101 estações, que corresponde a 47,9% do total. O valor máximo de CV foi de 78,7%, representando a estação Curral de Pedra, localizada no município de Abaré, norte da Bahia, clima semiárido. O valor mínimo foi de 17,5%, e representa a estação Carmo do Cajuru, localizadas no centro-oeste de MG, clima tropical.

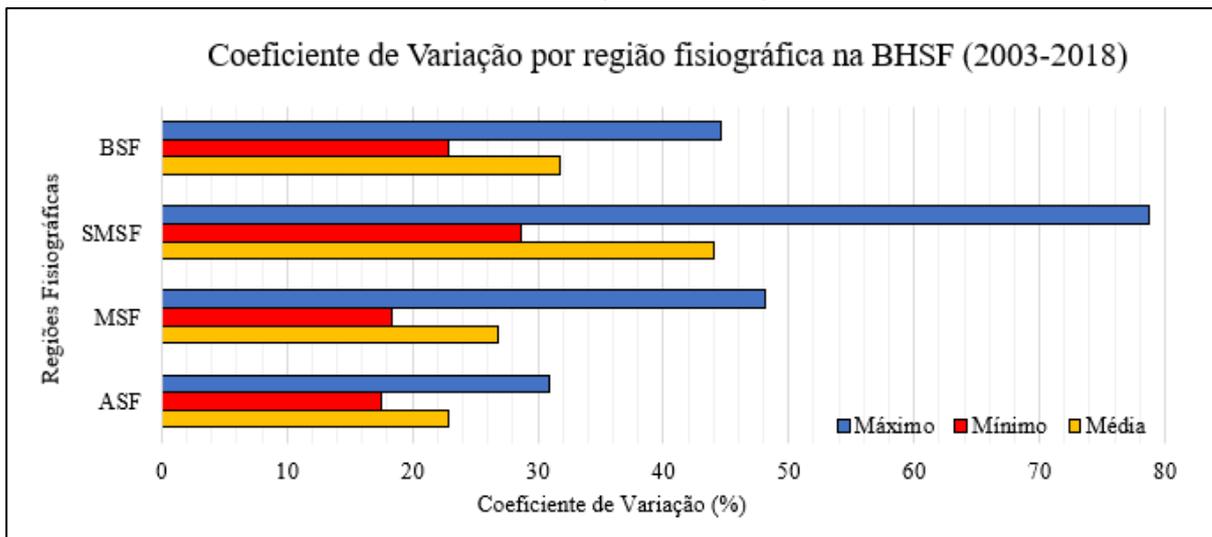
Devido à característica de os valores serem adimensionais e serem calculados a partir do desvio em sua própria série histórica, o CV é considerado uma estatística portátil. Com isso, a fim de verificar a variabilidade dos CV entre as regiões fisiográficas da BHSF, os dados foram agrupados de acordo com as regiões fisiográficas, como pode ser observado na tabela 18 e figura 54.

Tabela 18 - Coeficiente de Variação por Região Fisiográfica na BHSF (2003-2018)

Regiões Fisiográficas	ASF	MSF	SMSF	BSF
Máximo	30,9 %	48,1 %	78,7 %	44,6 %
Estação máximo	Ponte do Bicudo	Santa Maria da Vitória	Curral de Pedra	Junco
Mínimo	17,5 %	18,3 %	28,6 %	22,8 %
Estação mínimo	Carmo do Cajuru	Fazenda Triunfo	Serra Talhada	Piaçabuçu
Média	22,8 %	26,8 %	44,0 %	31,7 %

Fonte: Petrucci (2021)

Figura 54 - Coeficiente de Variação por região fisiográfica na bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003 - 2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Por meio de leitura da tabela 18 e figura 54, fica evidente que o CV é maior nas regiões predominantemente secas, como por exemplo no SMSF, que possui clima semiárido/árido. Nessa região é verificado o CV máximo de toda a referida bacia, com 78,7 %, e CV mínimo de 28,6 %.

A média dos valores de coeficiente de variação por região fisiográfica são: para o ASF, 22,8 %, para o MSF 26,8 %, para o SMSF 44,0 % e BSF com 31,7 %. Como o volume de precipitação é maior nas porções sul da bacia, representado pela ASF, diminuindo em direção a porção norte, representado pelo SMSF, justifica-se o aumento dos valores de CV entre as regiões fisiográficas. Na região da foz do rio São Francisco, no BSF, os valores médios de CV diminuem, por ser região litorânea, o ritmo climático nessa região é regulado e condicionado por sistemas oriundos diretamente do Oceano Atlântico, portanto um clima mais regular, com maior volume pluviométrico anual e melhor distribuição da precipitação ao longo do ano.

A partir do exposto, ficou evidente que o coeficiente de variação é menor nas porções a sul da bacia, aumentando no sentido sul para norte. Com isso, pode-se dizer que a variabilidade da precipitação anual é menos evidente na porção sul da bacia do que na porção norte, que é

marcado por profundas irregularidades nas distribuições de precipitação anual, distanciando da precipitação média para a referida região fisiográfica.

6.7. Déficits Extremos de Precipitação (DEp) – período 2003 a 2018

As secas pluviométricas são fenômenos climáticos de ordem natural, caracterizados por um período com ausência ou redução das chuvas em torno de um valor de referência, em determinado lugar, em um certo tempo (WILHITE E GLANTZ, 1985). As propriedades das secas envolvem não somente o fato da ocorrência, mas também a frequência com que esse fenômeno é recorrente, a intensidade (magnitude) dos eventos, sendo que quanto maior for a anomalia negativa de precipitação, maior podem ser os efeitos adversos decorrentes dela, e a duração, que indica o período de atuação desses eventos.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco é muito heterogênea do ponto de vista climático, sendo evidenciados diferentes regimes pluviométricos ao qual a bacia está sujeita, logo, é suposto que as ocorrências das secas possuam características distintas de acordo com a localização. A partir disso, foi aplicado o Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas nos dados mensais de precipitação das 211 estações pluviométricas localizadas no interior da BHSF, no período de 2003 a 2018.

Os resultados da ocorrências de déficit Extremo de Precipitação (DEp) estão dispostas no quadro 12, em anexo. Para facilitar a visualização dos resultados, foi aplicado a distribuição de frequências e histograma, que estão representados na tabela 19 e figura 55.

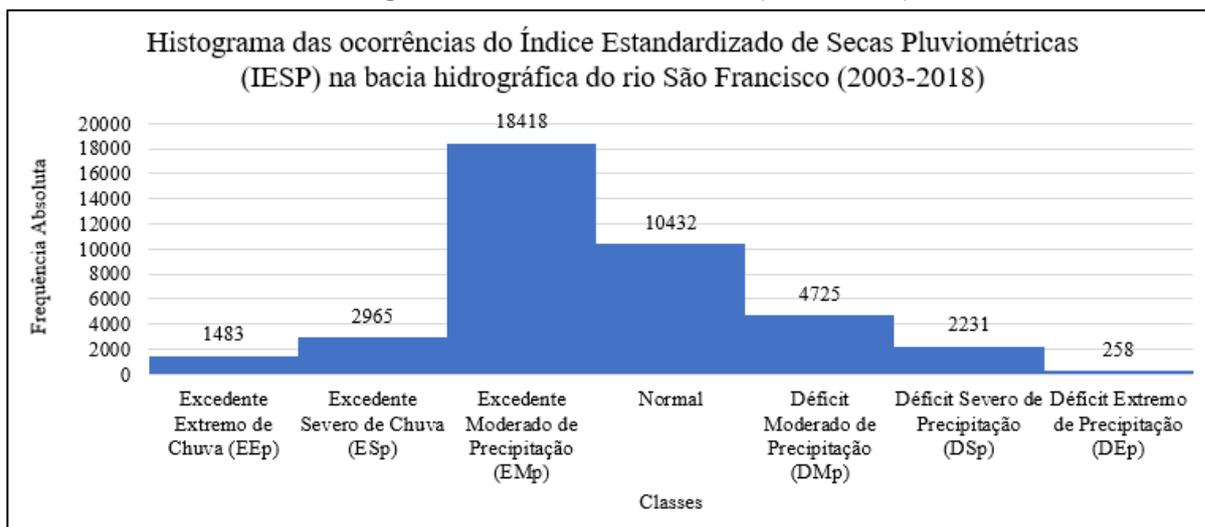
Tabela 19 - Distribuição de Frequências dos valores de IESP em dados de precipitação mensal na bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)

Classes IESP	Frequência absoluta (meses)	Frequência absoluta acumulada (meses)	Frequência relativa (%)	Frequência relativa acumulada (%)
≥ 2,3	1483	2059	3,7	5,1
1,7	2965	4448	7,3	11,0
1	18418	22866	45,5	56,4

0	10432	33298	25,8	82,2
-1	4725	38023	11,7	93,9
-1,7	2231	40254	5,5	99,4
≤ -2,3	258	40512	0,6	100,0

Fonte: Petrucci (2021)

Figura 55 – Histograma dos valores de IESP em dados de precipitação mensal na bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

A tabela 19 e a figura 55 mostram a distribuição de frequências e o histograma dos resultados da aplicação do IESP, respectivamente, revelando o comportamento das ocorrências entre os meses secos, úmidos e normais na bacia hidrográfica do rio São Francisco. De modo geral, a referida bacia é acometida com maior frequência a eventos de excedente de umidade do que com déficit de precipitação.

A maior concentração de ocorrências se deu no intervalo de Excedente Moderado de Precipitação (EMp), total de 18.418 meses, representando 45,5% do total das ocorrências (40.512 meses). Condições de normalidade foi a segunda mais frequente, que englobam as classes Normal Seco e Normal Úmido, no intervalo entre -1 a +1, ocorrendo em 10.432 meses, que representa 25,8%.

Analisando os extremos, verifica-se maior ocorrência de excedente do que déficits de precipitação. O primeiro, representa 3,7% do total de ocorrências, que significa que 1.483 meses foram classificados com Excedente Extremo de Precipitação (EEp), já os Déficits Extremos de

Precipitação (DEp) ocorreram em 258 meses, que representa 0,6% do total das análises. Há alguns fatores que podem ser associados à essa característica, primeiro que, a maioria das estações pluviométricas estão localizadas na região fisiográfica do Alto São Francisco, que possui predominantemente climas tropical úmido e temperado de altitude, portanto, percebe um grande volume de chuvas anuais, além de boa distribuição dela ao longo do ano.

Além disso, nas regiões onde são verificados climas semiáridos, como no SMSF, que há uma menor quantidade de estações pluviométricas, o volume anual de chuvas é baixo e concentrada em poucos meses. Assim, na maior parte do ano, a mediana de precipitação (valor de referência utilizado para o cálculo do IESP) é igual a 0, por isso a dificuldade em caracterizar eventos de DEp no período das secas, ficando mais evidente durante o período de chuvas. Isso não exime o fato da ocorrência de demais classes de déficit de precipitação, tais como, DMp e DSp.

De acordo com o quadro 12, em anexo, as estações com maiores ocorrências mensais de DEp são: Lagoa do Gouvéia (13), Fazenda Porto Alegre e Tapiraí – Jusante (12), Cariparé e Cajueiro (11). As estações Lagoa do Gouvéia e Tapiraí – Jusante estão localizadas na região da cabeceira do rio São Francisco, em Minas Gerais, compreendendo a região fisiográfica do ASF, e as estações Fazenda Porto Alegre, Cariparé e Cajueiro estão localizadas na região fisiográfica do MSF, no estado da Bahia.

Concernente às durações, que são as sequências de meses consecutivos em que perduraram eventos de DEp, a estação Lagoa do Gouvéia, no ASF, apresentou a maior durabilidade, registrando 13 meses consecutivos, no período entre dez/17 e dez/18. Em sequência, as estações Porto Alegre e Tapiraí - Jusante tiveram registro de 12 meses consecutivos, que ocorreram entre jan/18 e dez/18. A estação Cariparé apresentou 11 meses consecutivos classificados como DEp (entre mar/16 - jan/17) e a estação Cajueiro, 10 meses

consecutivos, entre abr/17 e jan/18. Todas as estações listadas apresentaram permanência de mais de 10 meses consecutivos com registro de precipitação menor que 1 mm.

Algumas estações obtiveram a mesma duração por mais de uma vez ao longo da série histórica, por exemplo as estações Manga e Barreiro do Jaíba tiveram apenas duas ocorrências de DEp ao longo da série histórica, entretanto, não foram em meses consecutivos, ocorrendo novembro de 2017 e janeiro de 2018, em ambas. Na estação Arrojolândia, a mesma situação foi verificada, entretanto nos meses de dezembro de 2007 e dezembro de 2015. Já a estação Vazante teve duração de apenas 1 mês, mas ocorreu três vezes ao longo da série abril de 2017, setembro de 2017 e março de 2018.

Com relação aos mínimos, que são os valores negativos mais acentuados de DEp, sete estações registraram índice menor que -3, entre elas a estação Cachoeira da Manteiga, no MSF, com índice de -3,430 em dezembro de 2015; Tapiraí, no ASF, com desvio negativo de -3,364, em outubro de 2018; e Fazenda Porto Alegre, no MSF, com desvio de -3,327 em dezembro de 2015. Destaque para a estação Brasília de Minas, localizada no norte de Minas Gerais, compreendendo a região do MSF, houve ocorrência do valor mínimo em três meses consecutivos, entre maio e julho de 2018.

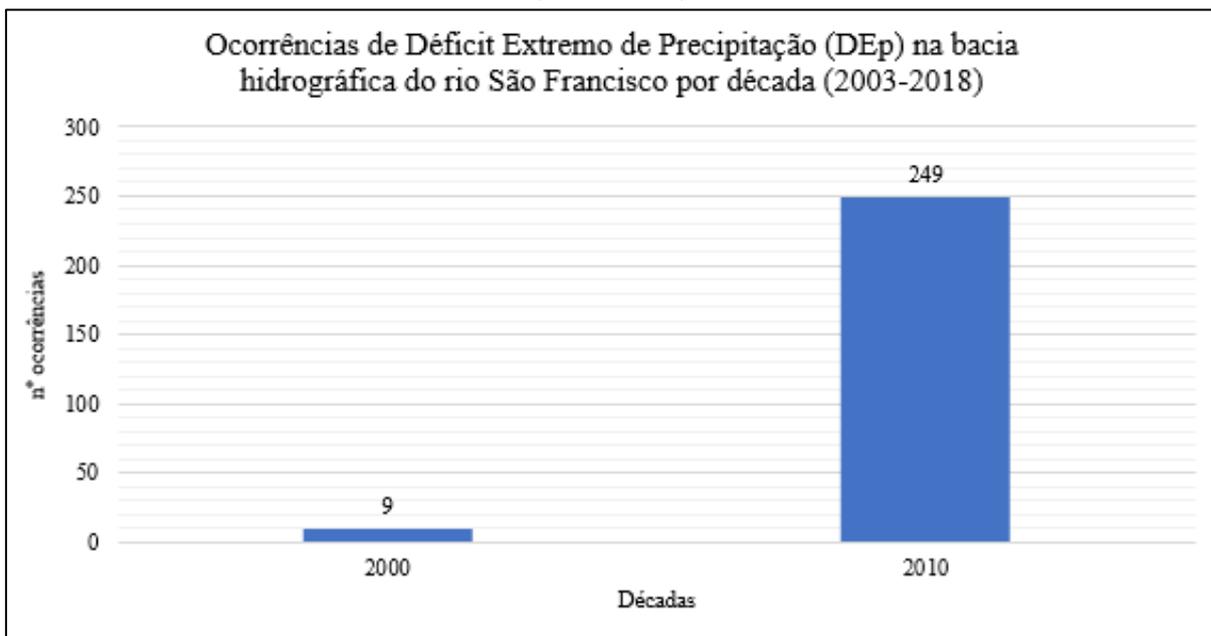
Do total das 211 estações, em 128 delas não houve nenhum registro de ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp), e em 83 delas houve pelo menos uma ocorrência de DEp. Isso por ser justificado pelo fato de que, com a alteração do período de dados de 1985 a 2018 (34 anos) para 2003 a 2018 (16 anos), implica também em variação nos valores das medianas das precipitações mensais (base para o cálculo do IESP), bem como a média e desvio padrão (para a normalização dos resultados).

A década de 2000 foi chuvosa, em comparação com as demais décadas do período de 1985-2018, e isso acarretou menos ocorrências de déficits de precipitação nessa, como pode ser verificado nas figuras 31 e 32, sobre as ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp)

por década e por ano na BHSF. Todos esses fatores contribuíram para uma redução nas ocorrências de DEp nas estações pluviométricas no interior da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

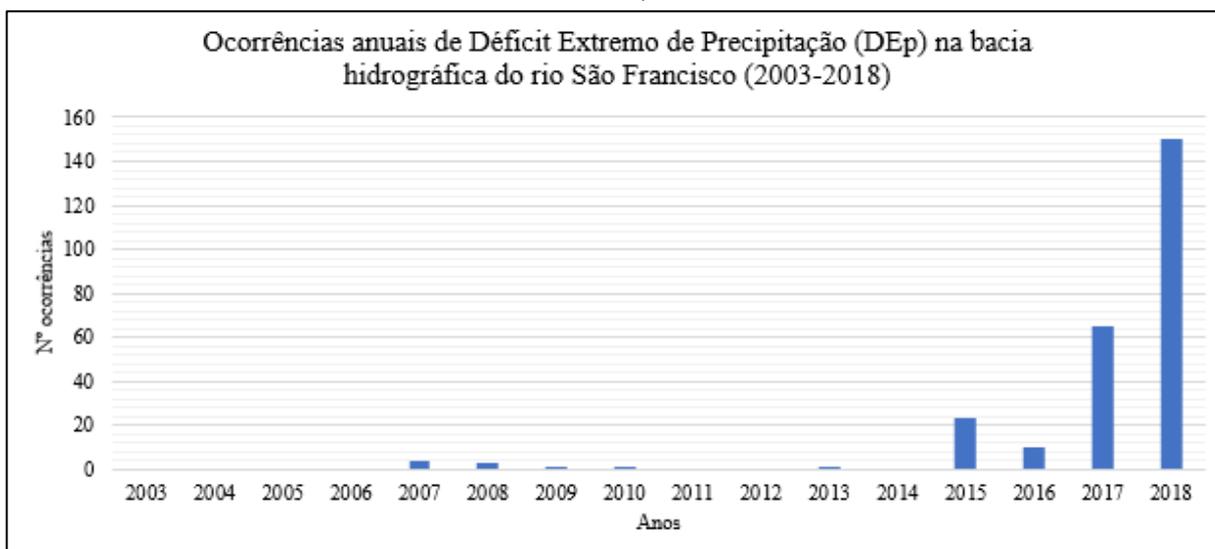
Nas figuras 56 e 57 podem ser verificadas as ocorrências de DEp por década e por ano, respectivamente.

Figura 56 – Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por década na BHSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 57 - Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por ano na BHSF (2003-2018)



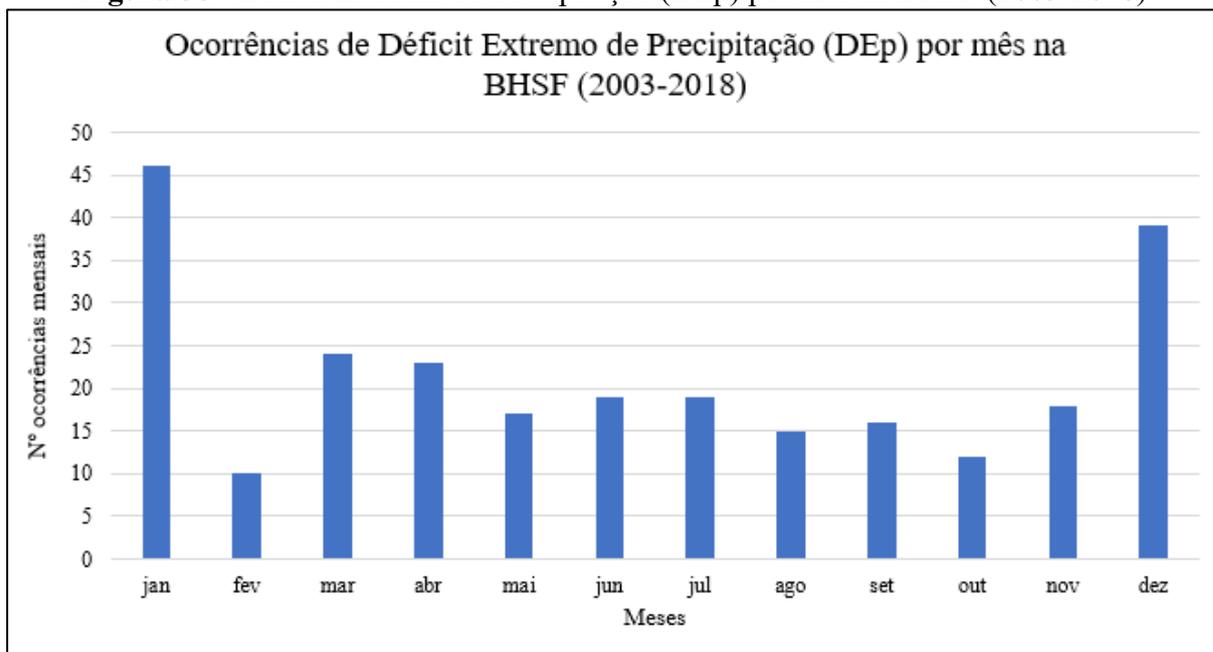
Fonte: Petrucci (2021)

Na figura 56 é possível verificar que as ocorrências de DEp estão concentradas na década de 2010, no total de 249 vezes, que representa 96,5% do total. Na década de 2000 foram registradas as menores quantidades de ocorrências, 9 vezes. Na figura 57, a ocorrência por anos, verifica-se que, do total de 258 vezes em que houve registro de DEp, 150 delas foram no ano de 2018 e 65 no ano de 2017. Com isso, é possível afirmar que, ao longo de 16 anos, 83,3% das ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação ocorreram nos dois últimos anos (2017 e 2018).

Os resultados apresentados no quadro 12, em anexo, referente aos períodos das ocorrências mensais de DEp, das maiores durações e dos mínimos (recordes) estão de acordo com os resultados das figuras 56 e 57, em que são verificadas maior frequência de ocorrência nos últimos anos de análise das séries históricas. Essa característica de ocorrência de Déficit Extremos de Precipitação em múltiplas estações ao mesmo tempo pode ser em função das modificações climáticas e aumento dos eventos extremos promulgados pelo IPCC (2014).

A ocorrência de défits de precipitação em períodos chuvosos torna-se um problema pois, muitas vezes é nesse período que são abastecidas as águas subterrâneas e os açudes, que são a principal fonte de água no período seco. O problema agrava-se em áreas semiáridas pois, muitos dos rios que abastecem a população nessas localidades, são intermitentes e possuem água apenas no período das chuvas. Durante o período das secas, não são esperados défits de precipitação pois é as condições normais é que não haja registro de precipitação. A figura 58 está representado um gráfico que quantifica as ocorrências de DEp por mês.

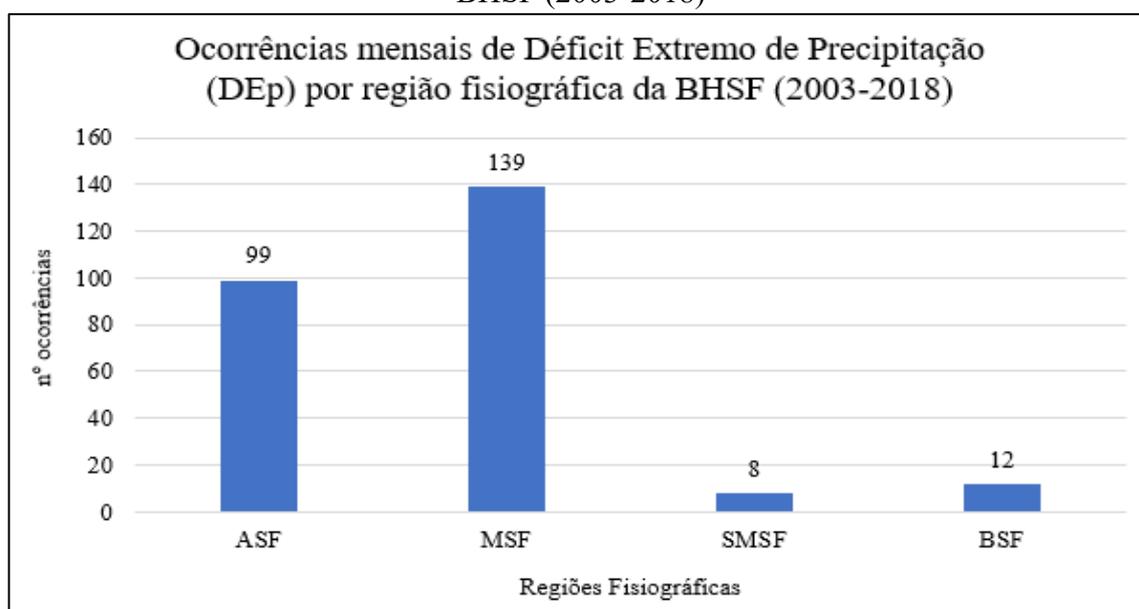
Figura 58 - Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por mês na BHSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Como pode ser observado na figura 58, o mês mais recorrente é janeiro, com total de 46 ocorrências, seguido de dezembro, com 39 ocorrências. Nas regiões tropicais, durante os meses de verão (dezembro a fevereiro), registra-se os maiores volumes pluviométricos anuais então, a ocorrência de DEp durante esses meses é um risco à segurança hídrica.

Figura 59 - Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por Região Fisiográfica da BHSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Subdividindo as ocorrências de DEp por região fisiográfica, figura 59, verifica-se que na região do Médio São Francisco (MSF) é onde se concentra as maiores ocorrências de toda a bacia, e é onde se localiza a nascente do rio São Francisco. Associando os resultados das figuras 57 (nº ocorrências anuais), 58 (nº ocorrências mensais) e 59 (nº ocorrências por região fisiográfica), depreende-se que, nos últimos quatro anos, de 2015 a 2018, foram registrados aproximadamente 96% (248 meses) de todos os eventos de Déficit Extremo de Precipitação de toda a série histórica (1985 a 2018), principalmente nos meses de dezembro e janeiro, sobretudo na região do Médio São Francisco.

Desde 2015 tem-se registrado maior frequência de recorrência de eventos de secas na região da cabeceira durante o período chuvoso, o que contribui para menor disponibilidade de água no curso do rio do rio principal. Tornando tendência esse comportamento da acentuação dos eventos extremos de déficit de precipitação irá impactar diretamente nas atividades produtivas, na vida das pessoas e das cidades.

6.8. Meses Secos – período de 2003 a 2018

Por mês seco, é considerado apenas os meses com ausência de precipitação. Foi adotado o valor de referência de 1,0 mm, assim, para meses em que o acumulado mensal é igual ou maior a 1,0 mm, é considerado mês úmido (WMO, 1989; ASSAD ET AL., 1993). No quadro 13, em anexo, estão sumarizados os resultados das ocorrências de meses secos na BHSF no período de 2003 a 2018, referente ao número de ocorrências no período histórico, a maior sequência de meses secos, a quantidade de vezes em que a maior sequência foi registrada ao longo da série histórica e, o período de ocorrência da maior extensão.

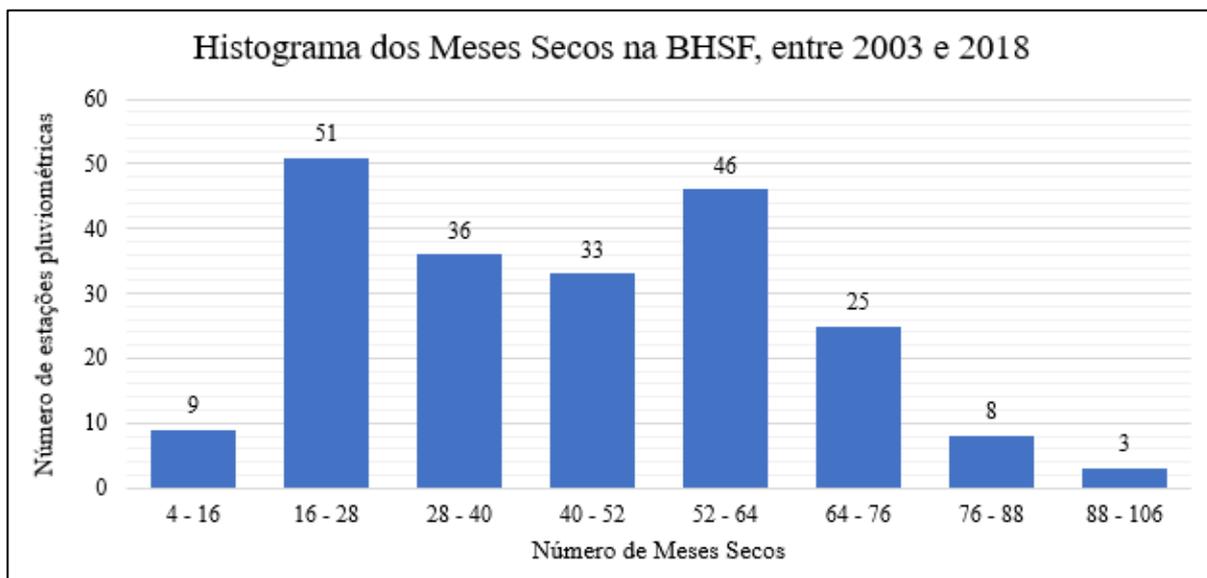
A fim de proporcionar melhor visualização nos resultados obtidos, foi realizada a distribuição de frequências e construção do histograma para as ocorrências de Meses Secos na BHSF, no período compreendido entre 2003 e 2018, tabela 20 e figura 60, respectivamente.

Tabela 20 – Distribuição de frequência para as quantidades de Meses Secos na BHSF, entre 2003 e 2018

Intervalo	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
4 – 16	9	9	4,3%	4,3%
16 – 28	51	60	24,2%	28,4%
28 – 40	36	96	17,1%	45,5%
40 – 52	33	129	15,6%	61,1%
52 – 64	46	175	21,8%	82,9%
64 – 76	25	200	11,8%	94,8%
76 – 88	8	208	3,8%	98,6%
88 – 106	3	211	1,4%	100,0%

Fonte: Petrucci (2021)

Figura 60 – Histograma da quantidade de Meses Secos na BHSF, período compreendido entre 2003 e 2018



Fonte: Petrucci (2021)

Analisando os resultados obtidos pela distribuição de frequências na tabela 20 e figura 60, é possível verificar que a maior concentração de ocorrências foi no intervalo entre 16 e 28 meses, em 51 estações analisadas, que representa 24,2% do total das estações. A segunda classe com maior frequência foi no intervalo entre 52 e 64 meses, registrados em 46 estações

pluviométricas, representando 21,8% do total. De outro lado, em apenas 3 estações foram registrados meses secos na classe entre 88 e 106 meses, ou seja, em 1,4% das estações. De maneira geral, é mais frequente a ocorrência de menores quantidades de meses secos do que grandes quantidades de meses secos nas estações pluviométricas analisadas.

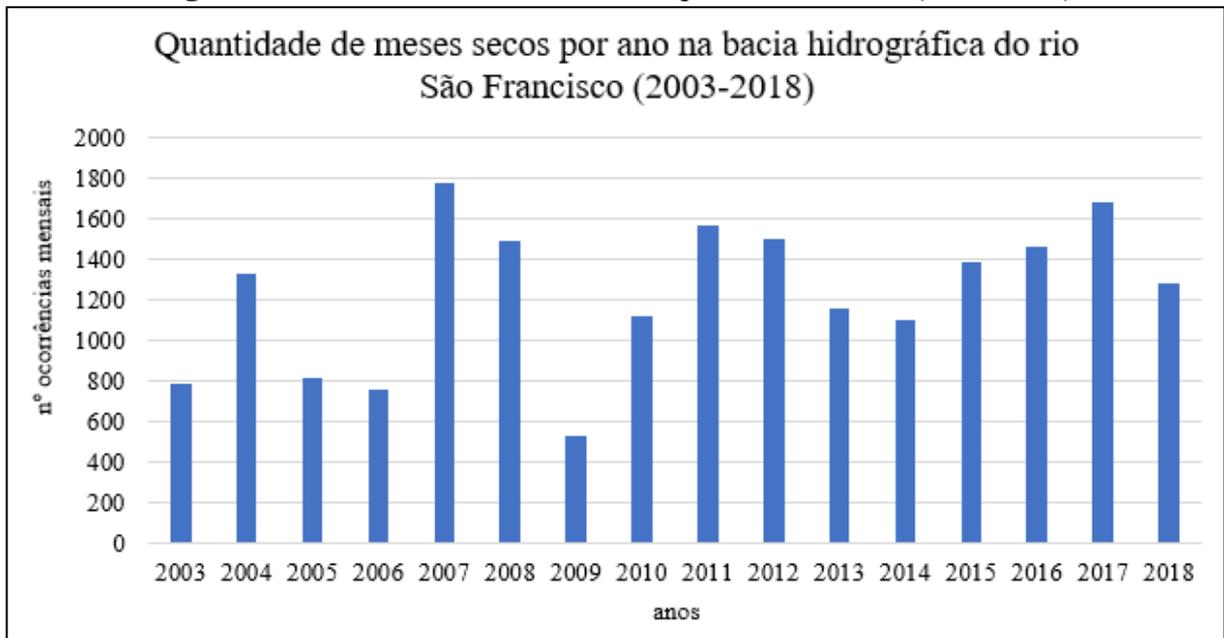
De acordo com o quadro 13, em anexo, em todas as 211 estações no interior da BHSF houve ocorrências de meses secos. A estação com o maior número de meses secos, no total de 106 meses foi a estação Curral de Pedra, no norte da Bahia. Em seguida, com 92 meses secos, a estação Lagoa Grande, localizada no sudoeste do estado de Pernambuco e a estação Pilão Arcado, na porção noroeste do estado da Bahia, na divisa com Piauí, no total de 89 meses secos. As duas primeiras localizadas no SMSF e a última na região do MSF.

De outro lado, as estações que registraram menores ocorrências de meses secos foram as estações Piaçabuçu (AL), com 4 ocorrências e Penedo (AL) com 6 ocorrências e a estação Propriá (SE) com 9 meses sem registro de precipitação. Todas essas três estações são localizadas na região fisiográfica do BSF. A justificativa para essas estações registrarem baixa ocorrência de meses secos é a proximidade com o Oceano Atlântico, portanto, o regime climático nessas estações possui regularidade e boa distribuição de chuvas ao longo do ano.

Com relação às permanências de meses secos consecutivos, a maior sequência de meses secos foi de 9 meses, sendo registrada na estação Abreus (SMSF), no município Campo Formoso, no norte da Bahia. Em seguida, com 8 meses secos, as estações Curral de Pedra (SMSF), Iboritama (MSF), Campo dos Cavalos (SMSF), Lajedo (MSF), Lagoa do Boi (SMSF), Urtiga (MSF) e Pilão Arcado (MSF). Para a estação Abreus (SMSF) essa sequência de 9 meses se repetiu apenas uma vez ao longo da série histórica, mas na estação Curral de Pedra (SMSF) a permanência de 8 meses aconteceu em três momentos, nos anos de 2013, 2015 e 2016.

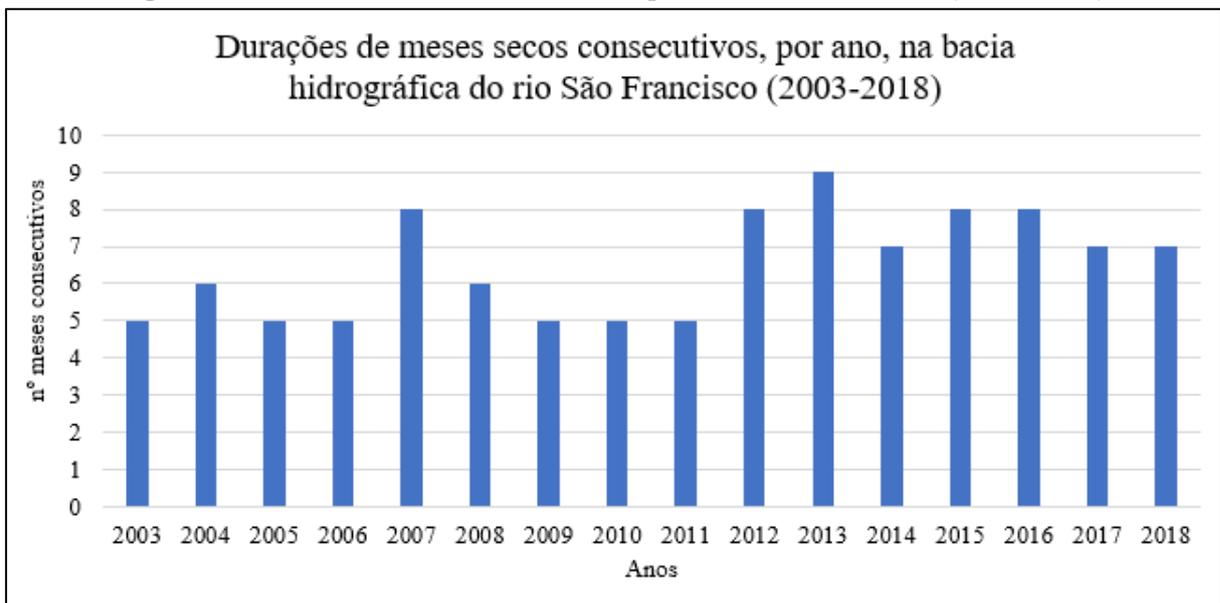
Nas figuras 61 e 62 estão representados a quantidade de meses secos por ano e as maiores extensões de períodos secos por ano, respectivamente.

Figura 61 - Ocorrências de meses secos por ano na BHSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 62 - Maiores extensões anuais de período seco na BHSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

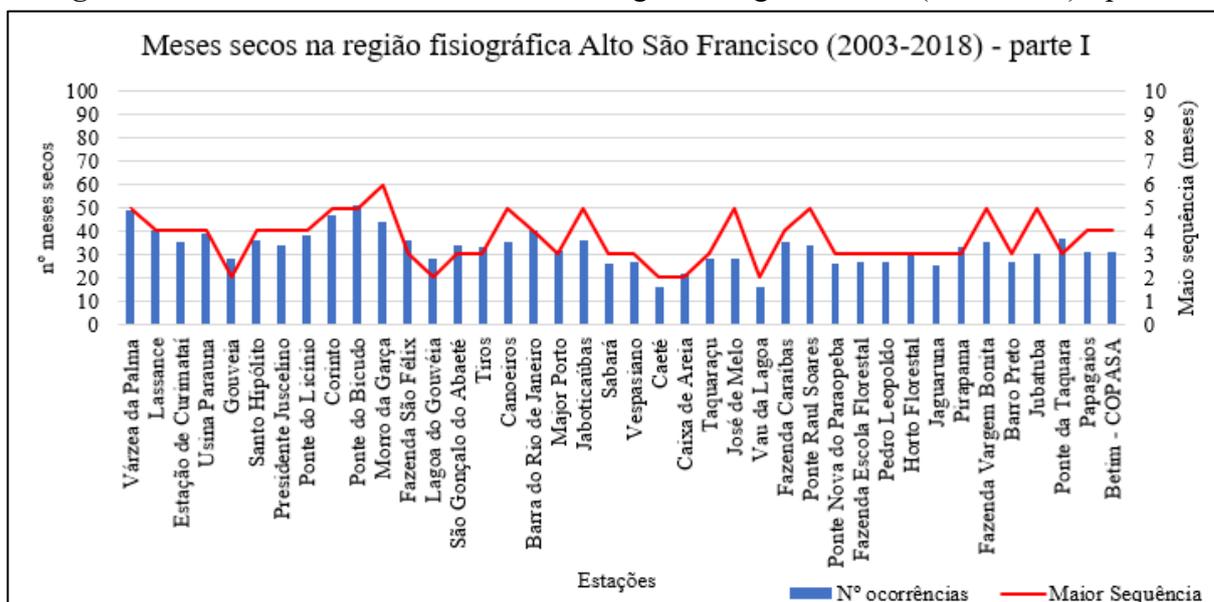
Na figura 61 é possível verificar que não há um padrão de ocorrência interanual do quantitativo de meses secos, entretanto, pode-se auferir que as maiores quantidades, superior a 1500 meses, ocorreram: no ano de 2007, com 1779 meses secos, em 2017 com 1679 meses secos, e em 2011 no total de 1564 meses secos. Por outro lado, os anos de menor ocorrência foram: 2009 com 533 meses secos e 2006, no total de 755 meses secos, 2003, com 788 meses

secos, e 2005 no total de 812 meses sem registro de precipitação. É importante ressaltar que os valores apresentados nas figuras 61 e 62 são resultantes da soma dos meses secos de todas as 211 estações de dados no interior da BHSF.

Com relação às maiores extensões, figura 62, não é percebido um padrão de ocorrência de períodos secos por ano. O máximo foi registrado no ano de 2013, com 9 meses secos consecutivos. Em segundo lugar, com o total de 8 meses, nos anos de 2007, 2012, 2015 e 2016. Mesmo não havendo um padrão identificado das ocorrências interanuais do número total de meses secos e maiores extensões de períodos secos, é possível verificar que os recordes máximos ocorreram, majoritariamente, na segunda metade da série histórica, após 2012. Isso revela que, nos últimos anos, está ocorrendo maior frequência de ocorrência de meses sem registro de precipitação e com tendência positiva de frequência.

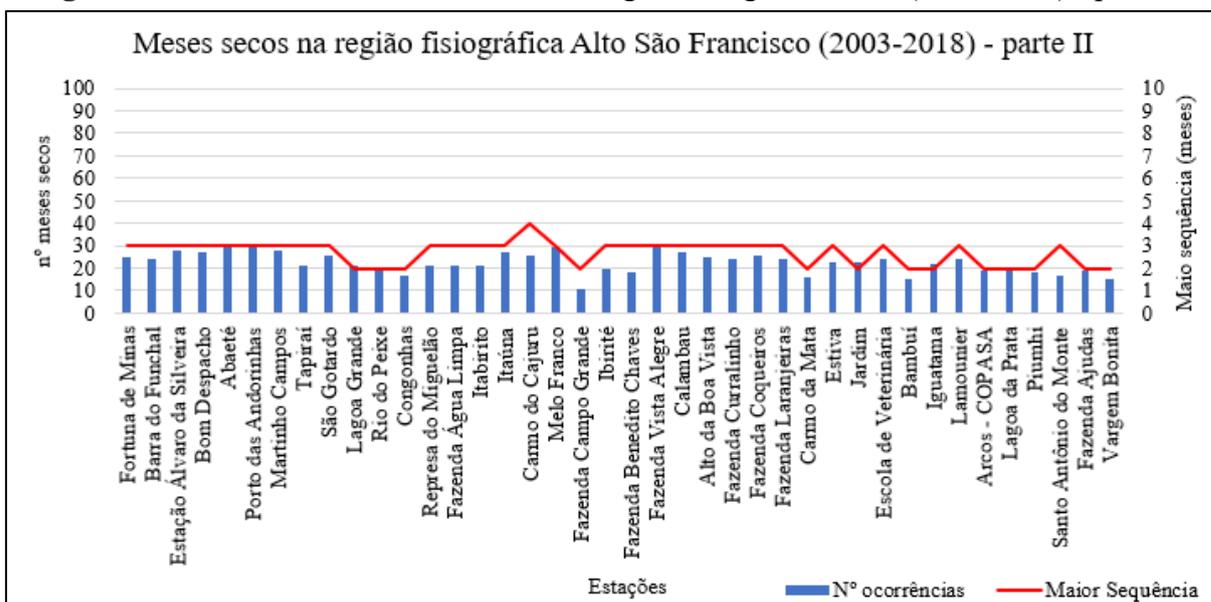
A seguir serão apresentadas as ocorrências do número de meses secos e as maiores extensões de períodos secos por região fisiográfica, figuras 63 a 68.

Figura 63 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica ASF (2003-2018) - parte I



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 64 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica ASF (2003-2018) - parte II



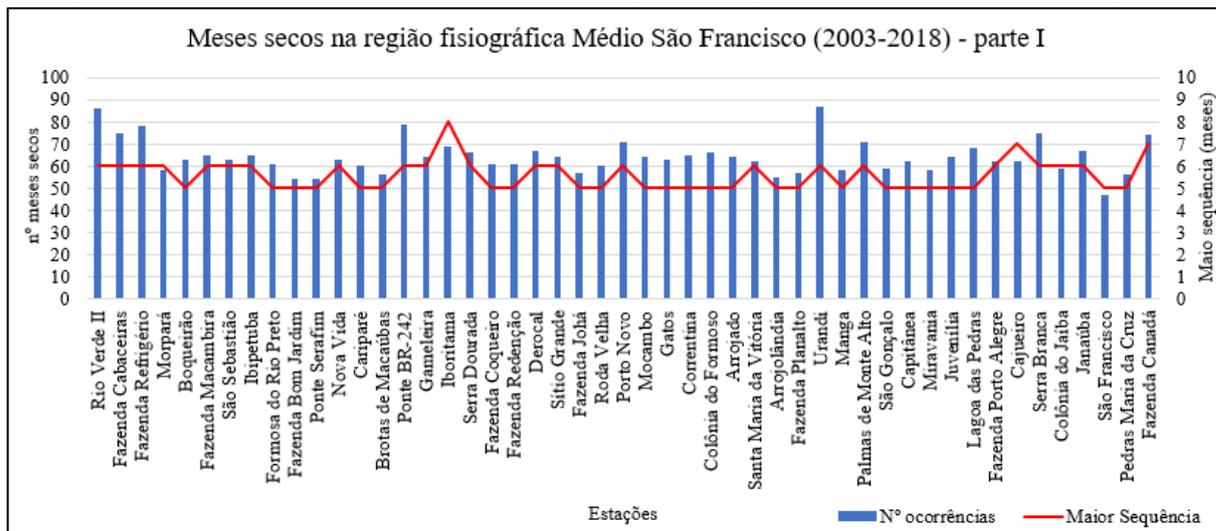
Fonte: Petrucci (2021)

As figuras 63 e 64 representam as estações pluviométricas inseridas na região fisiográfica do Alto São Francisco. Devido ao elevado número de estações (80), houve a necessidade de dividir em duas partes, sendo cada gráfico com 40 estações cada, mas elas serão analisadas em conjunto. As estações com maiores número de ocorrência de meses secos foram Ponte do Bicudo (51) e Várzea da Palma (49).

Nessa região, onde se localiza a nascente do rio São Francisco e possui majoritariamente clima tropical, as durações dos períodos secos são preocupantes, pois afeta diretamente o volume de água no curso do rio ao longo de sua extensão. Para o clima tropical da bacia, o período das secas ocorre durante a estação de inverno (Jun a Ago), e nas transições entre as estações de outono para inverno e de inverno para a primavera, que corresponde cerca de 3 a 4 meses. Entretanto, as maiores sequências de meses secos registradas foram nas estações Morro da Garça, no total de 6 meses consecutivos e, com 5 meses, as seguintes estações: Ponte do Bicudo, Várzea da Palma, Corinto, Jaboticaúbas, Canoeiros, Fazenda Vargem Bonita, Ponte Raul Soares, Jubatuba e José de Melo.

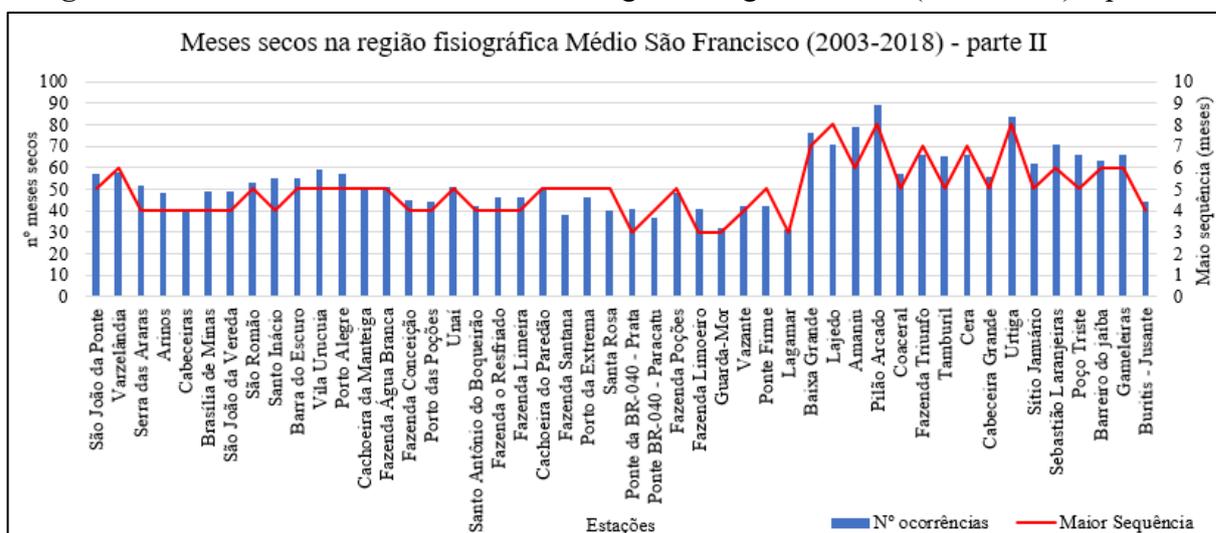
As figuras 65 e 66 representam as estações pluviométricas inseridas na região fisiográfica do Médio São Francisco. Devido ao elevado número de estações (97), houve a necessidade de dividir em duas partes, sendo, a primeira com 49 estações e a segunda com 48 estações, mas elas serão analisadas em conjunto.

Figura 65 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica MSF (2003-2018) – parte I



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 66 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica MSF (2003-2018) – parte II

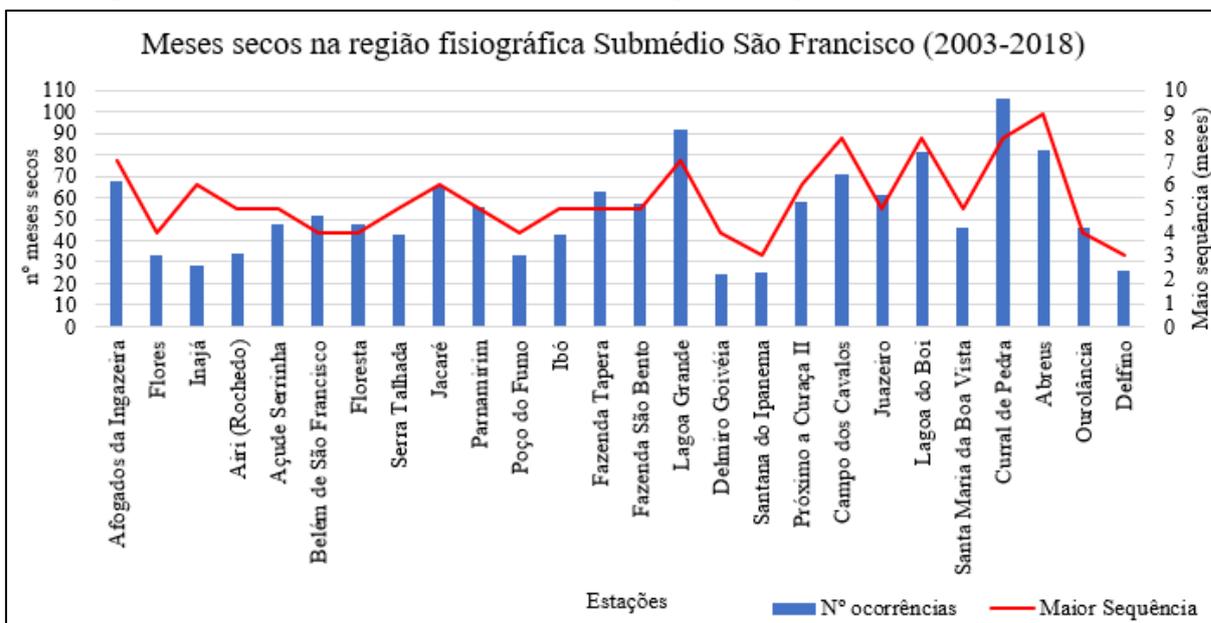


Fonte: Petrucci (2021)

De acordo com as figuras 65 e 66, é possível verificar que as estações com maior número de ocorrências de meses secos foram Pilão Arcado (89), Urandi (87), Rio Verde II (86) e Urtiga (84), todas elas com ocorrências superiores a 80 meses. Com relação à maior sequência de

meses secos consecutivos, ocorreram simultaneamente nas estações Pilão Arcado, Urtiga, Lajedo e Iboritama, por período de 8 meses.

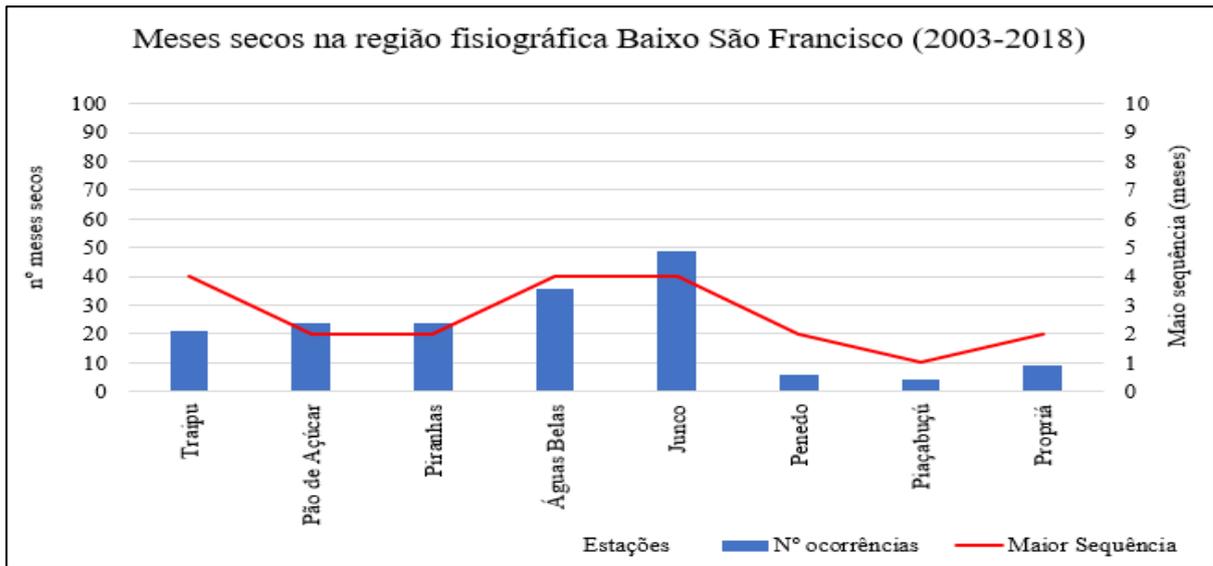
Figura 67 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica SMSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Na região do Submédio São Francisco, figura 67, os maiores números de ocorrências de meses secos foram registrados nas estações Curral de Pedra (106), Lagoa Grande (92), Abreus (82) e Lagoa do Boi (81), nos estados de Pernambuco e Bahia. Referente às permanências dos períodos de meses secos, a estação Abreus registrou 9 meses consecutivos com precipitação menor que 1 mm e, com 8 meses consecutivos, as estações Curral de Pedra, Lagoa do Boi e Campo dos Cavalos, todas elas localizadas no norte do estado da Bahia.

Figura 68 - Ocorrências de meses secos na região fisiográfica BSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Na região do BSF, que corresponde à região da foz do rio São Francisco, figura 68, localizada entre os estados de Sergipe e Alagoas, possui clima controlado pelo Oceano Atlântico, portanto é uma das regiões da referida bacia com maior pluviosidade. Devido a isso, é a região com menor ocorrência de meses secos, com máximo de 49 meses na estação Junco e 36 meses secos na estação Águas Belas. O período de maior extensão de meses secos foi no total de 4, nas estações Junco, Águas Belas e Traipu.

6.8.1. Espacialização dos Meses Secos (2003-2018)

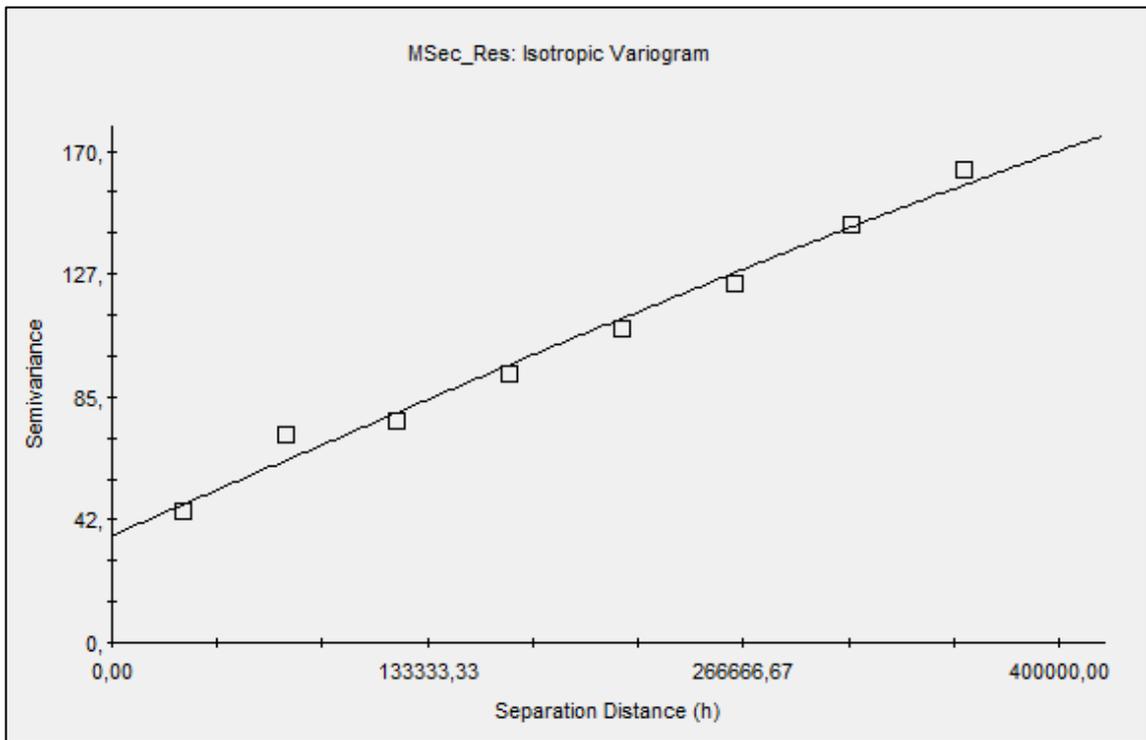
A aplicação do método da krigagem pressupõe que não haja enviesamento nos valores dos dados em função da sua localização espacial, condição esta que foi satisfeita nos dados. Para a classificação dos meses secos, a modelagem dos dados no *software* GS+ produziu o semivariograma experimental ótimo, figura 69 e suas configurações estão sumarizadas na tabela 21:

Tabela 21 - Parâmetros de configuração do semivariograma experimental dos meses secos na BHSF de 2003 a 2018

Modelo	Esférico
Efeito Pepita (C_0)	36,8
Contribuição (C)	214,6
Patamar ($C_0 + C$)	251,4
Range (a)	906.300
Relação ($C/C_0 + C$)	0,854
Nº Lags	8
Intervalo de Lag	48.000
Direção	Isotrópico
Tolerância Lag	22,5°

Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Figura 69 - Semivariograma experimental dos meses secos na BHSF, de 2003 a 2018



Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Os parâmetros do semivariograma experimental que melhor se ajustaram aos dados dos meses secos podem ser substituídos na equação matemática para o modelo esférico, considerando que neste caso, $0 \leq h \leq a$:

$$\gamma(h) = 36,8 + 214,6 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{906.300} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{906.300} \right)^3 \right] \quad (\text{Equação 59})$$

Na tabela 22 pode ser analisado as características das classes de LAG utilizados para a modelagem dos meses secos para toda a extensão da BHSF:

Tabela 22 - Característica dos LAG utilizados para a construção do semivariograma teórico dos meses secos na BHSF, de 2003 a 2018

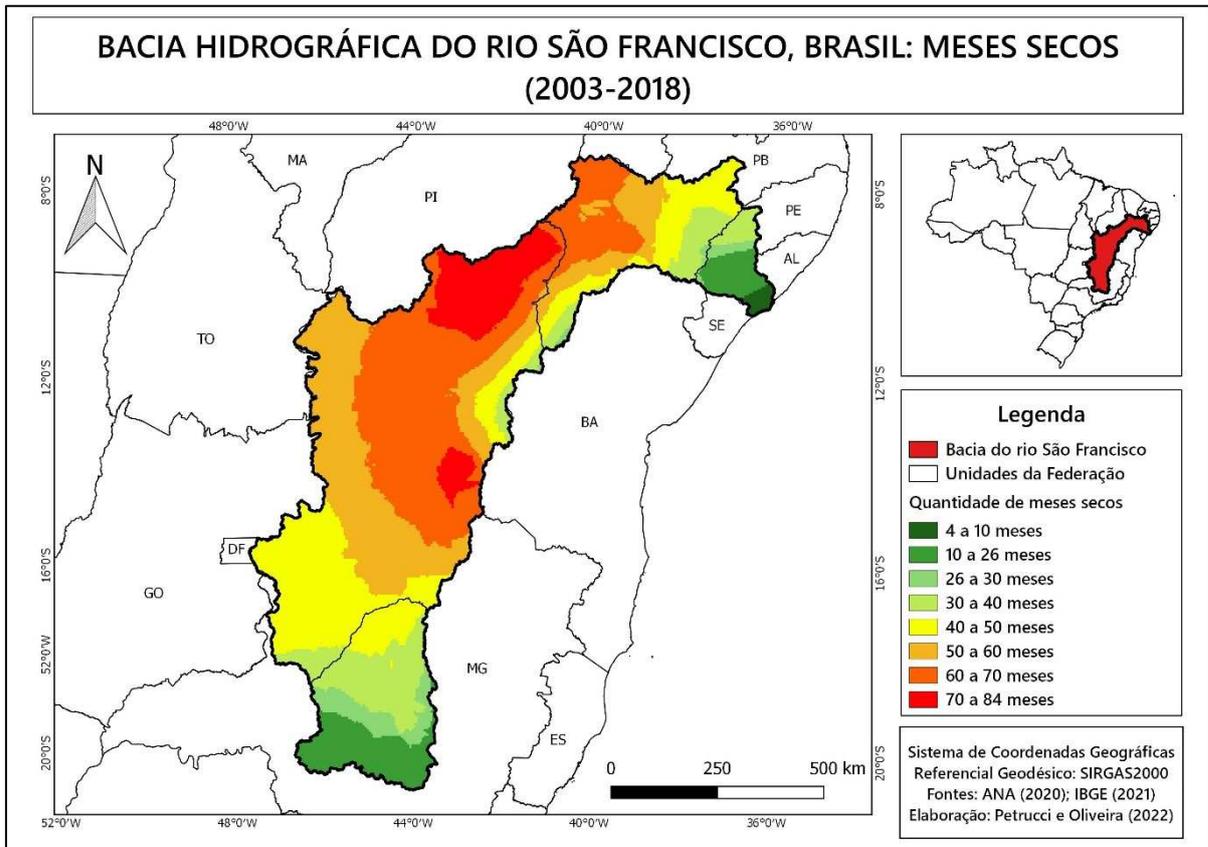
Semivariograma dos Meses Secos			
Classe de Lag	Distância média	Semivariância média	Pares de dados
1	29.760	45	513
2	73.264	72	1.174
3	120.489	76	1.303
4	167.947	93	1.527
5	215.832	108	1.552
6	263.084	123	1.538
7	312.191	144	1.362
8	360.046	163	1.415

Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

De acordo com a tabela 22, verifica-se que, quanto maior a distância de busca dos pares de dados, maior é variância entre os dados de precipitação e maior é a quantidade de pares de dados. Por exemplo, no LAG 1, a distância média é de 29,8 km, com variância média de 45 e foram utilizados 513 pares de dados. Para o LAG 8, a distância média é de 360,0 km, com variância 163 e foram utilizados 1.415 pares de dados.

Referente à interpolação dos dados, foi realizado utilizando-se da técnica de Krigagem Ordinária. Para isso, houve a necessidade da criação de um grid, compreendidos entre as coordenadas 206.212 e 1.497.826 no eixo X e 7.618.313 e 9.217.061 no eixo Y, zona UTM 23, sendo 259 blocos no eixo X e 321 blocos no eixo Y, em um intervalo de 5.000 metros. A krigagem foi realizada pelo tipo Point Kriging, em um raio de 400 km, utilizando 9 vizinhos próximos. O resultado do processo de krigagem e interpolação dos dados pode ser visualizado na figura 70:

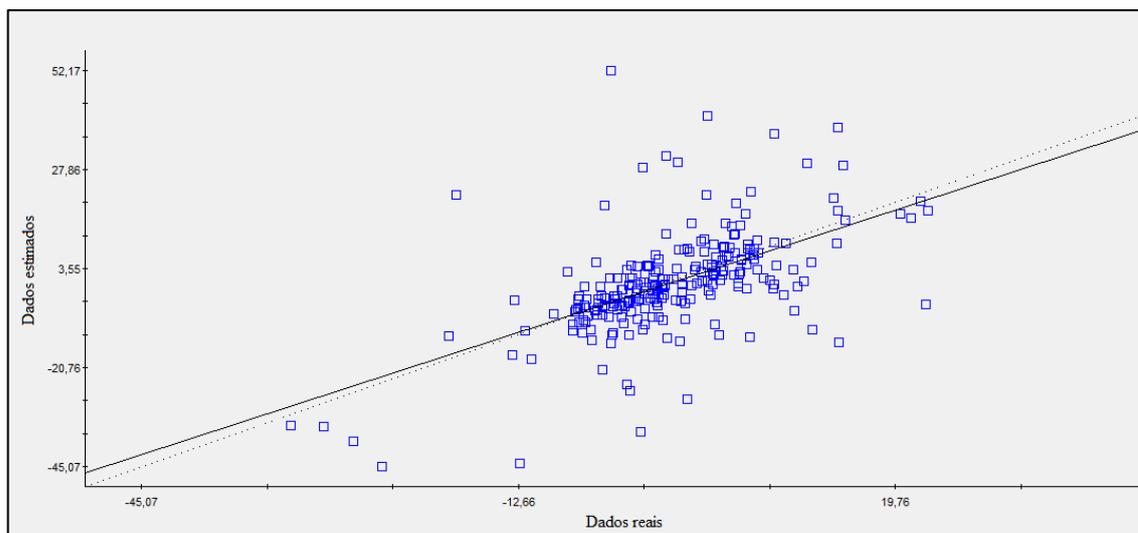
Figura 70 – Mapa da quantidade dos meses secos na BHSF, período de 2003 a 2018



Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Para a avaliação do modelo, foi analisado o RSS, que é a soma do quadrado dos resíduos, o coeficiente de regressão e a validação cruzada. O RSS foi de 165, o coeficiente de regressão foi de 0,926 e o coeficiente de determinação (r^2) da validação cruzada entre os dados reais e os dados estimados foi de 0,326, e o coeficiente de correlação (r) foi de 0,5709. O gráfico de correlação entre os dados reais e estimados pode ser analisado na figura 71 e na tabela 23 os resíduos da interpolação.

Figura 71 - Gráfico de dispersão entre os dados reais e estimados dos meses secos na BHSF, período de 2003 a 2018



Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Tabela 23 - Resíduos dos Meses secos na BHSF, de 2003 a 2018

Estação	Resíduos reais	Resíduos estimados	Estação	Resíduos reais	Resíduos estimado	Estação	Resíduos reais	Resíduos estimados
1	17	14	82	10	3	163	-4	0
2	-14	14	83	28	15	164	-1	0
3	28	-2	84	2	3	165	1	-2
4	-10	4	85	4	4	166	-2	1
5	19	-5	86	4	2	167	2	4
6	1	-3	87	6	5	168	-1	-1
7	-14	1	88	3	3	169	-8	1
8	36	9	89	1	5	170	7	3
9	-8	-3	90	0	1	171	6	4
10	-8	-2	91	-3	2	172	4	-2
11	0	-4	92	0	-5	173	-2	3
12	1	8	93	38	14	174	14	2
13	0	0	94	20	21	175	-12	-7
14	-3	0	95	5	12	176	7	2
15	2	-8	96	17	22	177	0	-4
16	-4	-2	97	16	21	178	-1	-1
17	-28	1	98	3	7	179	-10	-1
18	-11	12	99	6	7	180	-4	1
19	4	-2	100	4	9	181	0	3
20	-13	7	101	8	7	182	0	0
21	52	-4	102	12	5	183	-6	-4
22	-4	1	103	5	6	184	-13	0
23	29	1	104	8	1	185	4	-1
24	-26	-3	105	-11	-1	186	5	6
25	0	9	106	-12	-4	187	-1	0

26	1	-4	107	-5	22	188	0	0
27	-12	-4	108	29	12	189	-1	6
28	-3	-4	109	9	14	190	0	2
29	-7	-5	110	20	14	191	-3	0
30	10	3	111	15	15	192	1	1
31	-1	0	112	17	20	193	4	3
32	0	11	113	0	6	194	0	-1
33	8	1	114	6	7	195	2	0
34	-1	9	115	22	7	196	6	0
35	21	3	116	10	9	197	0	0
36	-12	4	117	9	10	198	4	-1
37	8	4	118	2	4	199	-4	0
38	0	8	119	1	0	200	-5	-3
39	-5	-3	120	-3	-2	201	0	-3
40	-4	-4	121	-5	0	202	-1	-3
41	-6	-2	122	-4	-3	203	-2	-2
42	-38	-26	123	-6	11	204	-1	-2
43	-44	-12	124	2	6	205	-2	-1
44	21	-17	125	5	4	206	-6	-7
45	-12	-18	126	7	6	207	-3	-4
46	11	5	127	9	5	208	-6	-6
47	-36	-2	128	8	5	209	-8	-6
48	19	6	129	31	5	210	-4	-2
49	17	6	130	14	6	211	-4	-2
50	-17	-13	131	5	7	212	-5	-3
51	-35	-29	132	7	7	213	-6	-5
52	10	7	133	0	6	214	-4	-3
53	13	5	134	2	4	215	-3	-7
54	-9	0	135	8	1	216	-14	-4
55	-6	-6	136	0	4	217	-3	-5
56	-4	-5	137	3	2	218	0	-2
57	-4	-5	138	3	0	219	0	-2
58	-7	-9	139	-3	-4	220	3	-3
59	-11	-12	140	9	4	221	-12	-3
60	-18	-11	141	2	6	222	-6	-1
61	-14	-6	142	-1	3	223	-8	-1
62	-5	-6	143	8	7	224	2	-1
63	-10	-7	144	0	2	225	0	-1
64	-4	-12	145	4	6	226	-1	-2
65	-34	-32	146	0	11	227	-2	0
66	-45	-24	147	3	10	228	0	-2
67	-6	-7	148	41	3	229	-2	-1
68	-24	-3	149	8	7	230	-8	-4
69	4	-1	150	6	5	231	-4	0

70	3	4	151	-2	10	232	-3	-1
71	5	-5	152	5	0	233	-2	-1
72	3	4	153	-5	-4	234	-11	-6
73	-4	-3	154	-3	-6	235	-4	-7
74	3	0	155	-21	-5	236	0	-6
75	-6	-5	156	0	4	237	-6	-5
76	1	-4	157	0	3	238	-7	-5
77	-1	-3	158	4	3	239	-6	-7
78	-9	-6	159	11	5	240	-9	-3
79	-3	-5	160	14	5	241	-6	-7
80	-8	0	161	9	7	242	-9	-7
81	-5	-5	162	1	-1	243	-11	-7
						244	-9	-7

Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

6.9. Desvios Negativos de Precipitação (DNs)

Condições de seca ou de escassez hídrica são caracterizadas quando há ocorrência de precipitações com valores inferiores a um valor de referência, geralmente as normais climatológicas (NC), em um determinado lugar por um certo período, como exemplificado por AMS (2003) e Brasil (2014), não necessariamente a ausência de precipitação. A partir de uma série de dados pluviométricos, aplicam-se métodos estatísticos para averiguar as variações das ocorrências de precipitação e, os desvios negativos caracterizam os períodos secos, sendo, quanto mais acentuado tais desvios, maior a magnitude desse fenômeno.

Ao longo desse trabalho as secas pluviométricas foram caracterizadas por meio de duas diferentes metodologias, a primeira, pela aplicação do Índice Standardizado de Secas Pluviométricas (IESP), onde foram analisados apenas os desvios negativos classificados como Déficit Extremo de Precipitação (DEp) e, os Meses Secos, que verificam quais meses houve ausência de precipitação ou eventos menores que 1,0 mm. Essas duas metodologias foram satisfatórias e conseguiram identificar os períodos de ocorrências de secas pluviométricas na BHSF, nos períodos entre 1985 e 2018 e entre 2003 e 2018.

A fim de complementar as análises sobre as seca na referida bacia, é proposto a verificação das secas pluviométricas por meio de desvios negativos mensais com relação à mediana histórica de cada mês. Os Desvios Negativos (DN) contempla uma das etapas do processo do IESP, em que é calculado a anomalia pluviométrica mensal a partir da diferença entre o valor de precipitação mensal em relação à mediana histórica de cada mês do período analisado (equação 53).

A justificativa para a não espacialização dos índice IESP é que é impossível espacializar tais índices por meio de estações pluviométricas, caso fossem calculados índices para cada município, seria possível a aplicação da geoestatística. Como o Desvio Negativo é baseado apenas nos desvios de precipitação em relação à mediana, dá a noção apenas da ocorrência de precipitação abaixo da mediana, fazendo possível a sua espacialização.

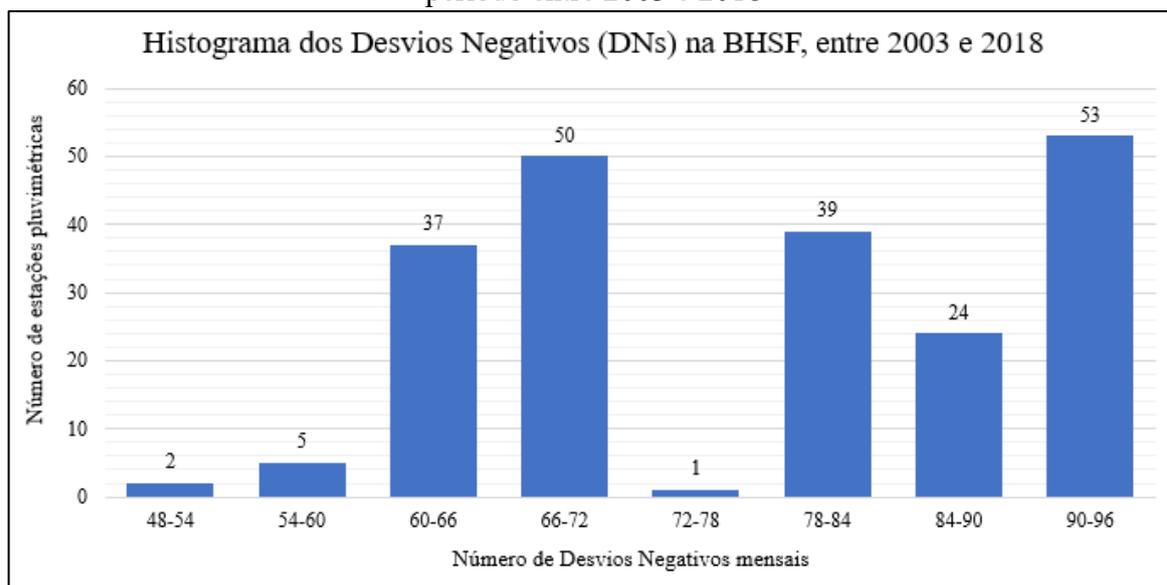
Os resultados dos DN, quanto ao número de ocorrências e as maiores sequências de meses com desvios negativos estão sumarizados no quadro 14, em anexo. A fim de proporcionar melhor visualização dos dados, foram realizadas a distribuição de frequências para o número de ocorrências de DN por estação na BHSF, no período de 2003 a 2018, que podem ser conferidos na tabela 24 e figura 72.

Tabela 24 - Distribuição de frequências para as ocorrências de Desvios Negativos (DNs) na BHSF, de 2003 a 2018

Classes	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
48 - 54	2	2	0,9%	0,9%
54 - 60	5	7	2,4%	3,3%
60 - 66	37	44	17,5%	20,9%
66 - 72	50	94	23,7%	44,5%
72 - 78	1	95	0,5%	45,0%
78 - 84	39	134	18,5%	63,5%
84 - 90	24	158	11,4%	74,9%
90 - 96	53	211	25,1%	100,0%

Fonte: Petrucci (2021)

Figura 72 - Histograma da quantidade de ocorrências de Desvios Negativos na BHSF, no período entre 2003 e 2018



Fonte: Petrucci (2021)

Analisando a tabela 24 e figura 72, as maiores concentrações de ocorrências de Desvios Negativos foram nos intervalos entre 90 e 96 meses e 66 e 72 meses, registrados em 53 estações no primeiro, e 50 estações no segundo, que representam 25,1% e 23,7%, respectivamente. No outro extremo, o número de DN entre 72 e 78 meses ocorreu em apenas uma estação, representando 0,5% dos dados totais e, no intervalo entre 48 e 54 meses, foi registrado em apenas duas estações.

De acordo com o quadro 14, em anexo, é possível verificar que em todas as 211 estações no interior da BHSF houve ocorrências de desvios negativos de precipitação mensal em relação à mediana. Com relação ao quantitativo de desvios negativos por estação, o máximo foi de 96 vezes em múltiplas estações (40), a maior parte delas estão localizadas na região fisiográfica do ASF. Em contrapartida, nas estações Curral de Pedra e Pilão Arcado, 48 ocorrências de meses com registro de desvios negativos, a primeira no SMSF e a segunda no MSF. Na sequência, a estação Urandi, no MSF, registrou 55 ocorrências de DN.

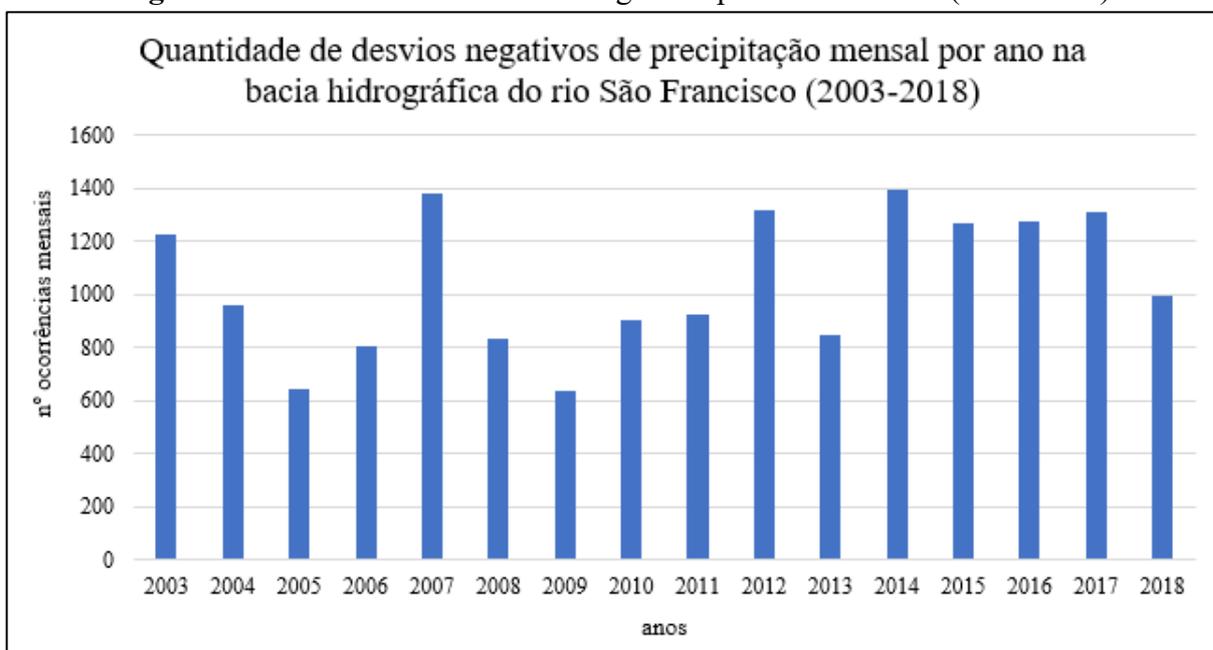
Relativo às permanências de ocorrência de DN em meses consecutivos, a maior sequência foi de 16 meses, sendo registrada na estação Airi (Rochedo), no município de

Floresta, no sertão pernambucano, ocorrendo apenas uma vez, no período compreendido entre fevereiro de 2016 e maio de 2017. Em seguida, as estações Delmiro Gouveia (SMSF) e Piranhas (BSF) registraram 14 meses consecutivos com ocorrências de DN e, as estações Traipu e Piaçabuçu registraram uma sequência de 12 meses cada, na região fisiográfica do BSF.

Com relação aos menores sequências de DN, no total de 4 meses consecutivos, foi registrado em 28 estações distintas, a maioria delas localizada na região fisiográfica do SMSF, com destaque para as estações Sabará (MG) em que essa sequência aconteceu seis vezes ao longo da série histórica e, nas estações Afogados da Ingazeira (PE) e Pedro Leopoldo (MG), aconteceu cinco vezes em cada.

Nas figuras 73 e 74 estão representados a quantidade de desvios negativos mensais por ano e as maiores durações de desvios negativos por ano, respectivamente, para todas as 211 estações pluviométricas no interior da BHSF, de 2003 a 2018.

Figura 73 - Ocorrências de desvios negativos por ano na BHSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 74 - Maiores extensões anuais de desvios negativos na BHSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

Analisando a figura 73, não é possível verificar um padrão definido de ocorrência das quantidades de desvios negativos de precipitação entre as estações pluviométricas no interior da BHSF ao longo do período analisado, de 2003 a 2018, identifica-se um padrão caótico. De maneira geral, é possível observar que há uma concentração de ocorrências nos últimos anos do período analisado, entre 2014 e 2017, em detrimento dos primeiros anos da década de 2000, em que se verifica uma alternância entre anos com muitas e poucas ocorrências de DNs.

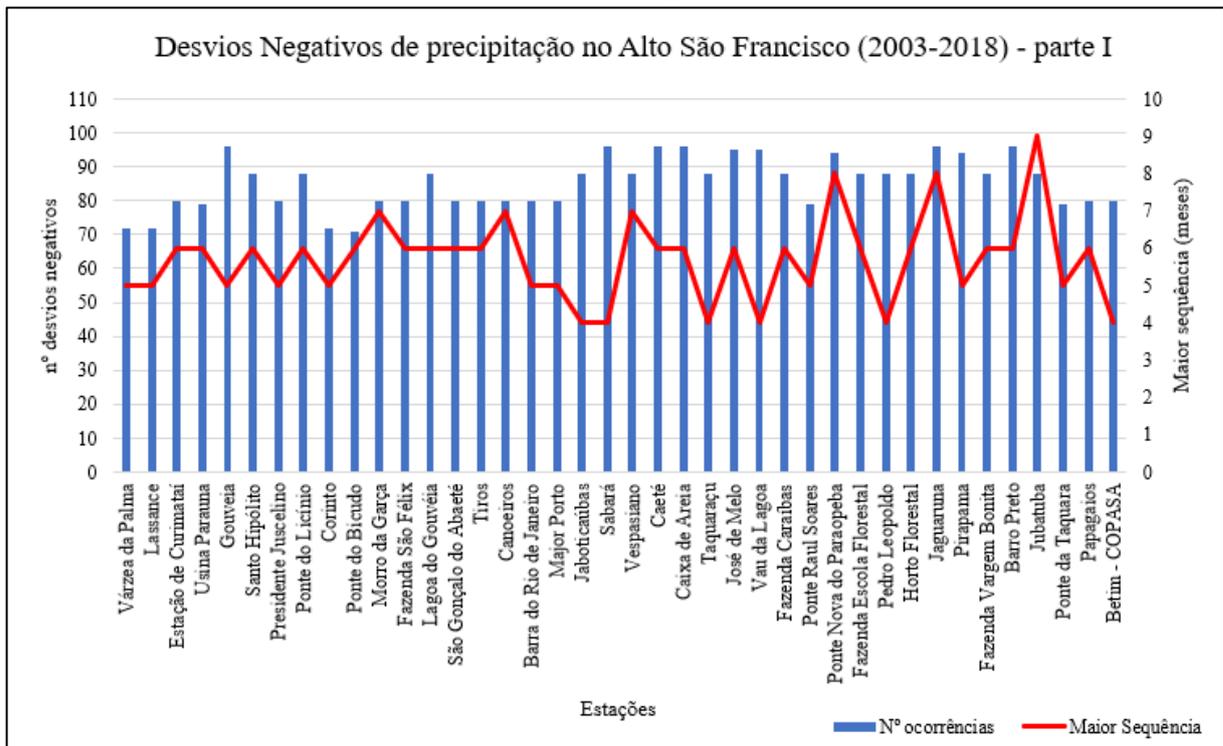
O ano mais recorrente foi 2014, com 1.392 ocorrência de DN entre as estações pluviométricas. Em sequência, 2007, 2012 e 2017, respectivamente com 1.377, 1.320 e 1.312 ocorrência cada ano. Por outro lado, os anos com menor frequência de ocorrência, foram os anos de 2009 e 2005, com um total de 639 e 644 ocorrências de DN entre as estações.

A figura 74 revela que, de maneira geral, no decorrer dos anos, a permanência de meses em que são verificados desvios negativos de precipitação em relação à mediana tem se intensificado, culminando no máximo de 16 meses consecutivos de DN no ano de 2017, registrado na estação Airi (Rochedo). Em 2016 ocorreu a segunda maior permanência de eventos sucessivos de desvios negativos, na estação Delmiro Gouveia.

Em 2010 foi registrada a menor sequência de DNs, no total de 6 meses consecutivos, na estação Ponte do Licínio, no estado de MG, seguido pelos anos de 2003, 2007 e 2008, em que a maior sequência foi de 7 meses. É interessante destacar que, no ano de 2007, foi registrado a maior ocorrência de DNs mensais entre as estações, porém uma das menores permanências dessa anomalia negativa de precipitação. Nos anos de 2005 e 2009, foram registraram tanto baixas ocorrências de DN entre as estações quanto uma das menores permanências desses eventos.

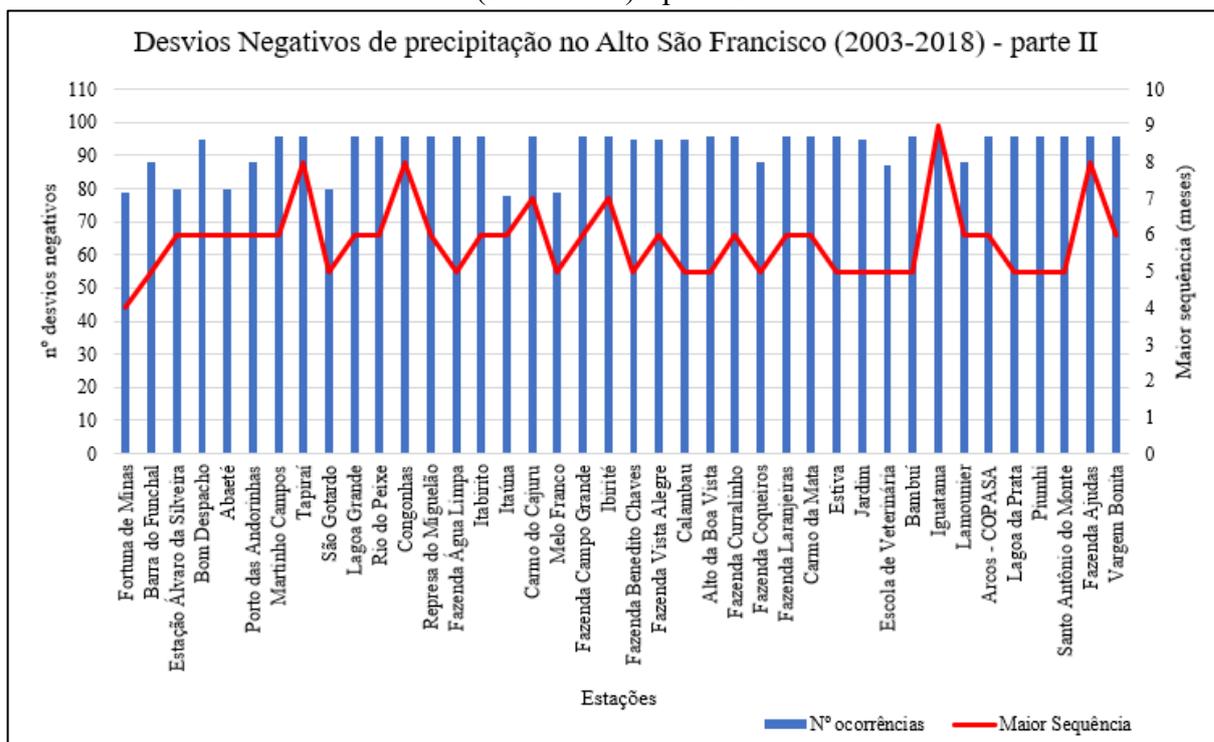
A fim de discretizar as ocorrências de desvios negativos de precipitação pluviométrica, serão apresentadas tais quantidades e as maiores extensões por região fisiográfica, figuras 75 a 80.

Figura 75 - Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica ASF (2003-2018) - parte I



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 76 - Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica ASF (2003-2018) - parte II

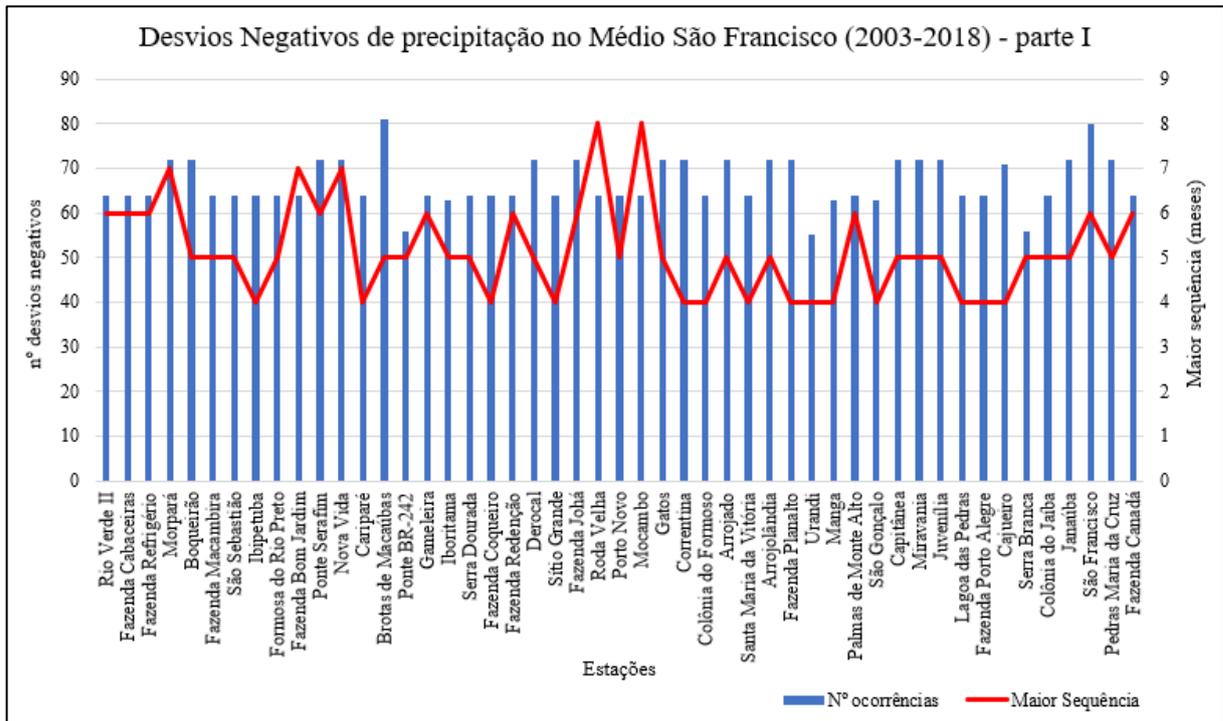


Fonte: Petrucci (2021)

De acordo com as figuras 75 e 76, todas as estações da região fisiográfica Alto São Francisco registraram pelo menos 70 ocorrências de desvios negativos de precipitação mensal na série histórica de 2003 a 2018, com baixa variabilidade entre as estações. Como as estações pluviométricas estão adensadas nessa região fisiográfica, é provável que os condicionantes para a redução das precipitações, para que elas sejam negativas com relação à mediana, afetem muitas das estações ao mesmo tempo.

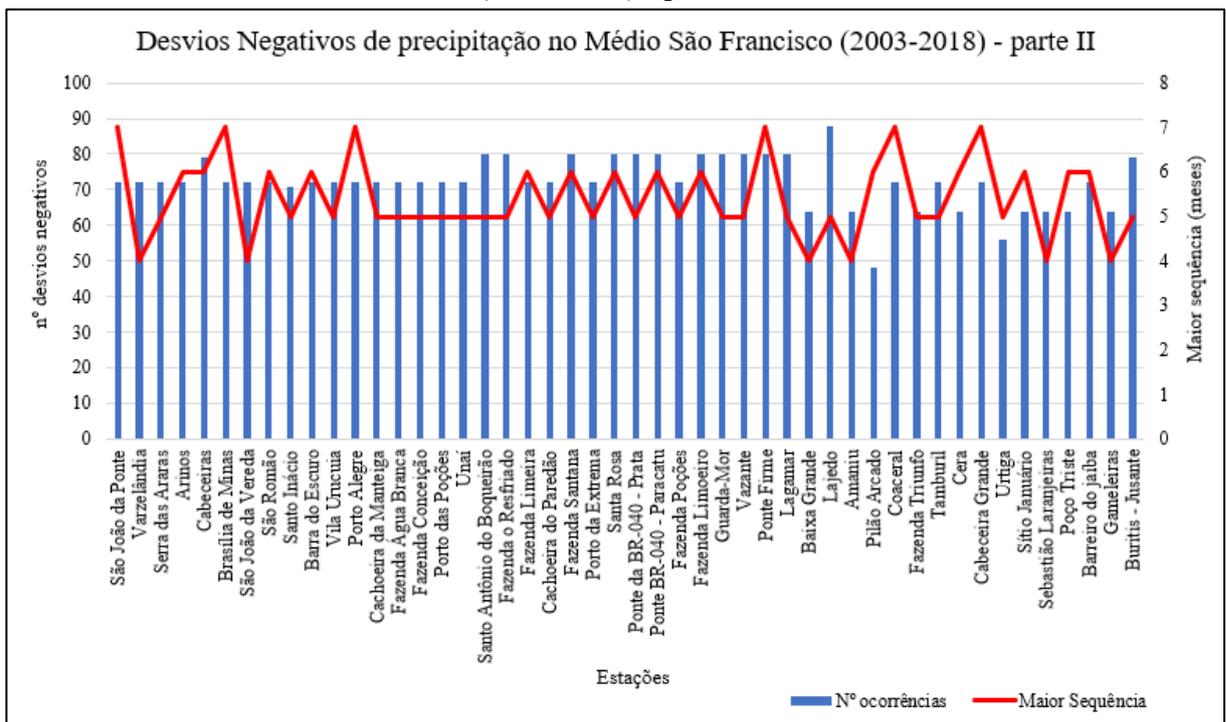
A partir disso, o máximo foi de 96 meses em que foram registradas DNs em múltiplas estações e o mínimo foi de 71 ocorrências, na estação Ponte do Bicudo, município de Corinto, Minas Gerais. Com relação as durações dos desvios negativos em meses consecutivos, as ocorrências variaram entre 4 a 9 meses, com máximo na estação Iguatama, município homônimo, no extremo sul da BHSF, região das nascentes do rio São Francisco.

Figura 77 - Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica MSF (2003-2018) - parte I



Fonte: Petrucci (2021)

Figura 78 - Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica MSF (2003-2018) - parte II

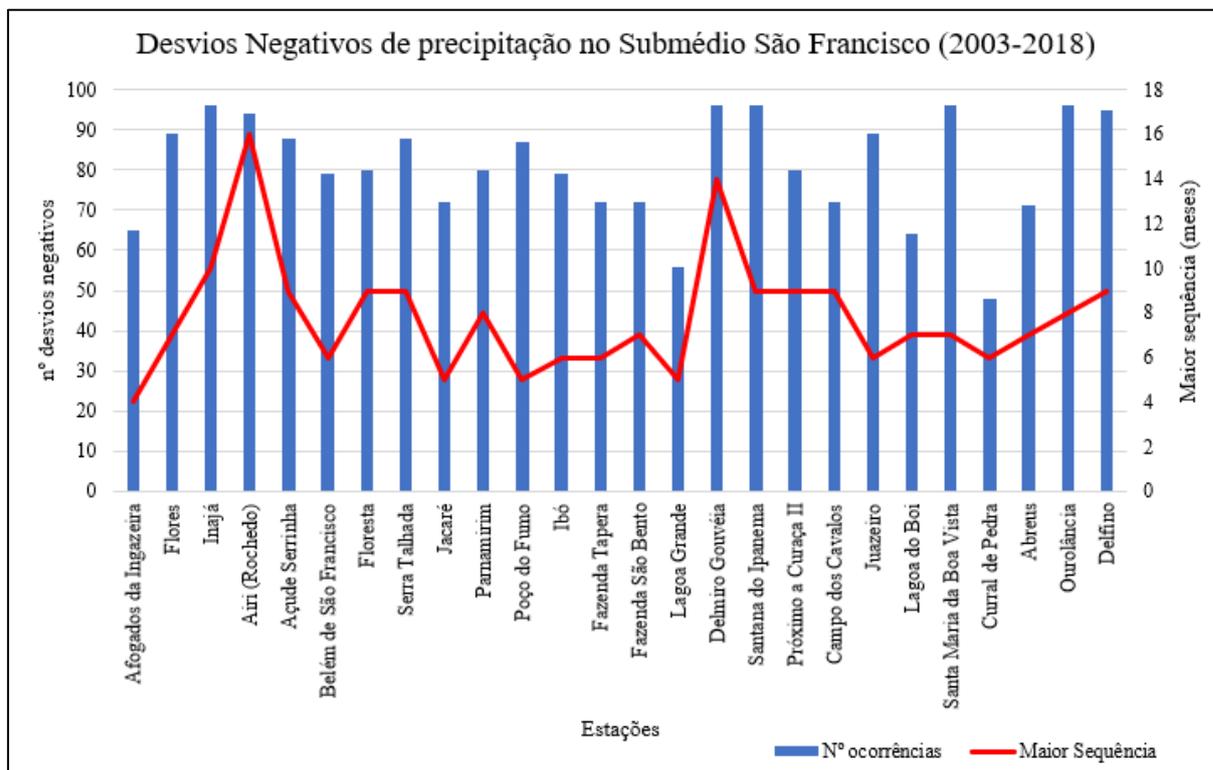


Fonte: Petrucci (2021)

Na região do MSF, figuras 77 e 78, as ocorrências de DN variaram entre 48 e 88 meses, sendo o mínimo na estação Pilão Arcado, município homônimo, localizado a noroeste do estado da Bahia. Demais estações com menos ocorrências de DN foram: Urandi com 55 ocorrências mensais, Urtiga, Serra Branca e Ponte BR-242 com 56 ocorrências cada uma, todas elas localizadas no estado da Bahia. O máximo (88) foi registrado na estação Lajedo, município de Casa Nova, noroeste da Bahia seguido da estação Brotas de Macaúbas, totalizando 81 ocorrências mensais, e é localizada na região central do estado da Bahia.

Referente às durações de tais eventos, houve variação de 4 a 8 meses consecutivos, sendo que, vinte estações registraram o mínimo de 4 meses, com destaque para as estações Fazenda Planalto, Cajueiro, Sítio Grande, Colônia do Formoso, Fazenda Porto Alegre e Baixa Grande, que registraram esse valor quatro vezes ao longo da série histórica. O máximo de 8 meses consecutivos ocorreu apenas uma vez nas estações Roda Velha e Mocambo, que estão localizadas em municípios limítrofes, a sudoeste do estado baiano, de outubro de 2004 a maio de 2005 na primeira e, de outubro de 2015 a maio de 2016 na segunda.

Figura 79 - Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica SMSF (2003-2018)



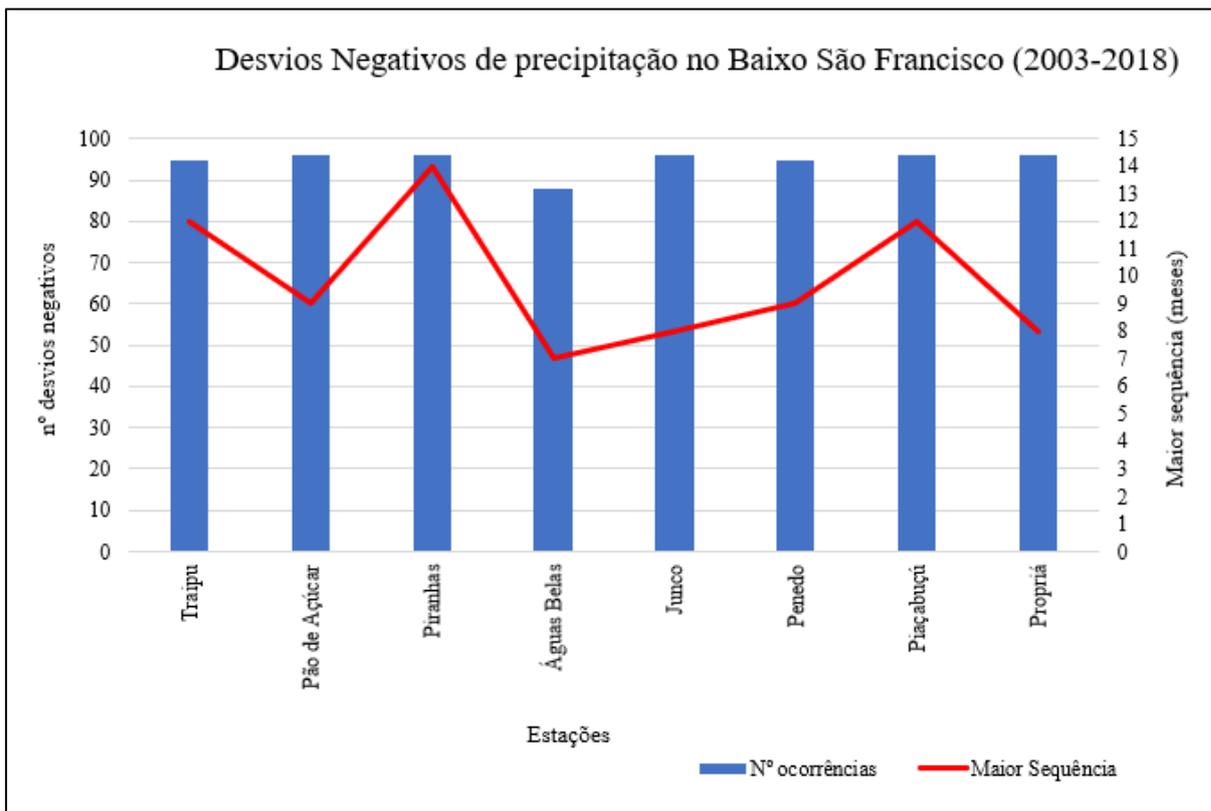
Fonte: Petrucci (2021)

A figura 79, sobre a região fisiográfica do SMSF, que é a porção da referida bacia que apresenta tipo climático semiárido, o número de ocorrências de desvio negativo de precipitação variou entre 48 e 96 meses. Apesar de apresentar um clima seco, há estações que registraram elevado número de ocorrências, como por exemplo as estações Delmiro Gouvêia (AL), Inajá (PE), Santana do Ipanema (AL), Ourolândia (BA) e Santa Maria da Boa Vista (PE) que registraram o máximo de 96 meses. De outra forma, as estações Curral de Pedra (BA) e Lagoa Grande (PE) registraram os menores números de ocorrências mensais, no total de 48 e 56, respectivamente.

A respeito das durações dos desvios negativos no SMSF, a estação Airi (Rochedo) registrou o recorde para toda a bacia, totalizando 16 meses consecutivos, ocorridos entre fevereiro de 2016 e maio de 2017. Na sequência, a estação Delmiro Gouvêia (AL) registrou 14 meses consecutivos, entre fevereiro de 2016 e março de 2017 e, Inajá (PE) com 10 meses consecutivos, entre julho de 2016 e abril de 2017. Nessa região fisiográfica, a permanência de

períodos com déficits de precipitação ou desvios negativos de precipitação são maiores que qualquer outra região fisiográfica da bacia do rio São Francisco.

Figura 80 – Ocorrências de desvios negativos de precipitação na região fisiográfica BSF (2003-2018)



Fonte: Petrucci (2021)

A figura 80 apresenta as características de ocorrências de DN na região fisiográfica do BSF. A variação entre o máximo e o mínimo de número de ocorrências mensais foi baixa, entre 88 e 96 meses, sendo o mínimo ocorrendo na estação Águas Belas, localizado no centro-sul do estado de Pernambuco. As demais estações apresentaram ou 95 ou 96 ocorrências mensais. Sobre as durações dos eventos de DN, houve variação entre 7 e 14 meses consecutivos, o primeiro na estação Águas Belas (PE) no período de março a setembro de 2016, e o segundo na estação Piranhas (AL), na divisa com o estado de SE, no período março de 2016 e abril de 2017.

6.9.1. Espacialização dos Desvios Negativos de Precipitação (DNs)

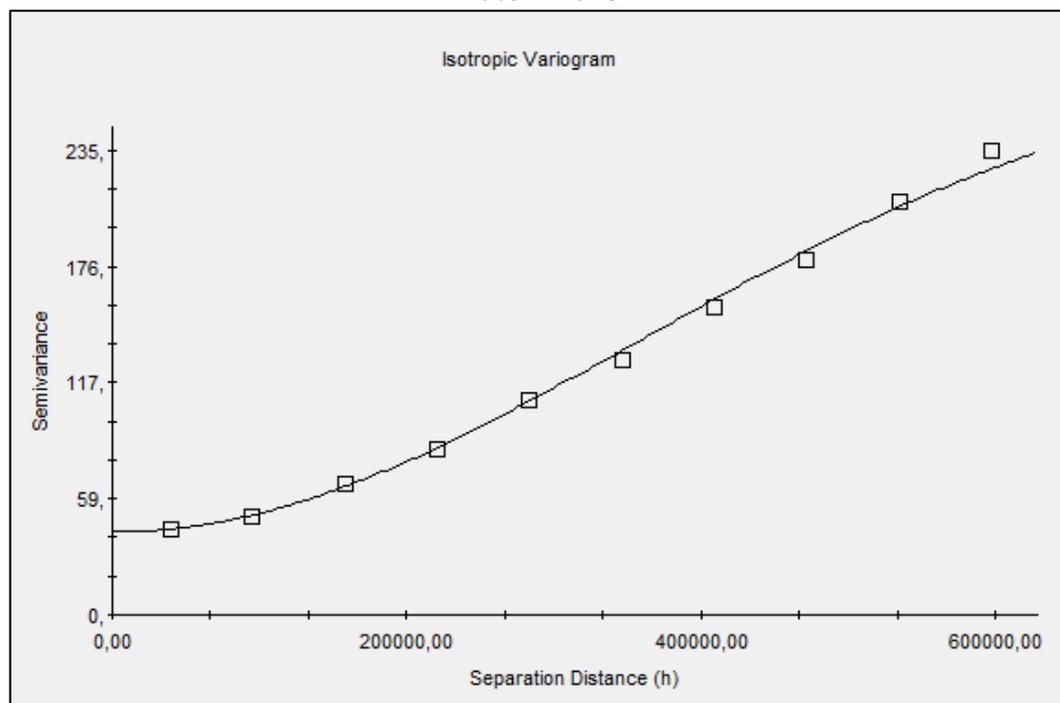
O Desvio Negativo de Precipitação (DN) é a anomalia negativa de precipitação mensal em relação à sua mediana histórica. Para os dados de DN, a modelagem no *software* GS+ produziu o semivariograma experimental ótimo, figura 81 e suas configurações estão sumarizadas na tabela 25:

Tabela 25 - Parâmetros de configuração do semivariograma experimental dos meses secos na BHSF de 2003 a 2018

Modelo	Gaussiano
Efeito Pepita (C_0)	41,9
Contribuição (C)	242,8
Patamar ($C_0 + C$)	284,7
Range (a)	871.221,6
Relação ($C/C_0 + C$)	0,853
Nº Lags	10
Intervalo de Lag	63.000
Direção	Isotrópico
Tolerância Lag	22,5°

Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Figura 81 - Semivariograma experimental dos desvios negativos de precipitação na BHSF, de 2003 a 2018



Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Os parâmetros do semivariograma experimental que melhor se ajustaram aos dados dos meses secos podem ser substituídos na equação matemática para o modelo esférico, considerando que neste caso, $0 \leq h \leq a$:

$$\gamma(h) = 41,9 + 242,8 \left(1 - e^{\left[-3 \left(\frac{h}{871,221,6} \right)^2 \right]} \right) \quad (\text{Equação 60})$$

Na tabela 26 pode ser analisado as características das classes de LAG utilizados para a modelagem dos meses secos para toda a extensão da BHSF:

Tabela 26 - Característica dos LAG utilizados para a construção do semivariograma teórico dos desvios negativos de precipitação na BHSF, de 2003 a 2018

Semivariograma dos Desvios Negativos			
Classes de Lag	Distância Média	Semivariância Média	Pares de dados
1	39.780	43	831
2	94.912	49	1.652
3	158.162	65	1.936
4	220.814	84	2.074
5	282.702	108	1.880
6	347.069	128	1.847
7	409.702	155	1.811
8	472.054	179	1.629
9	535.243	208	1.455
10	597.477	234	1.394

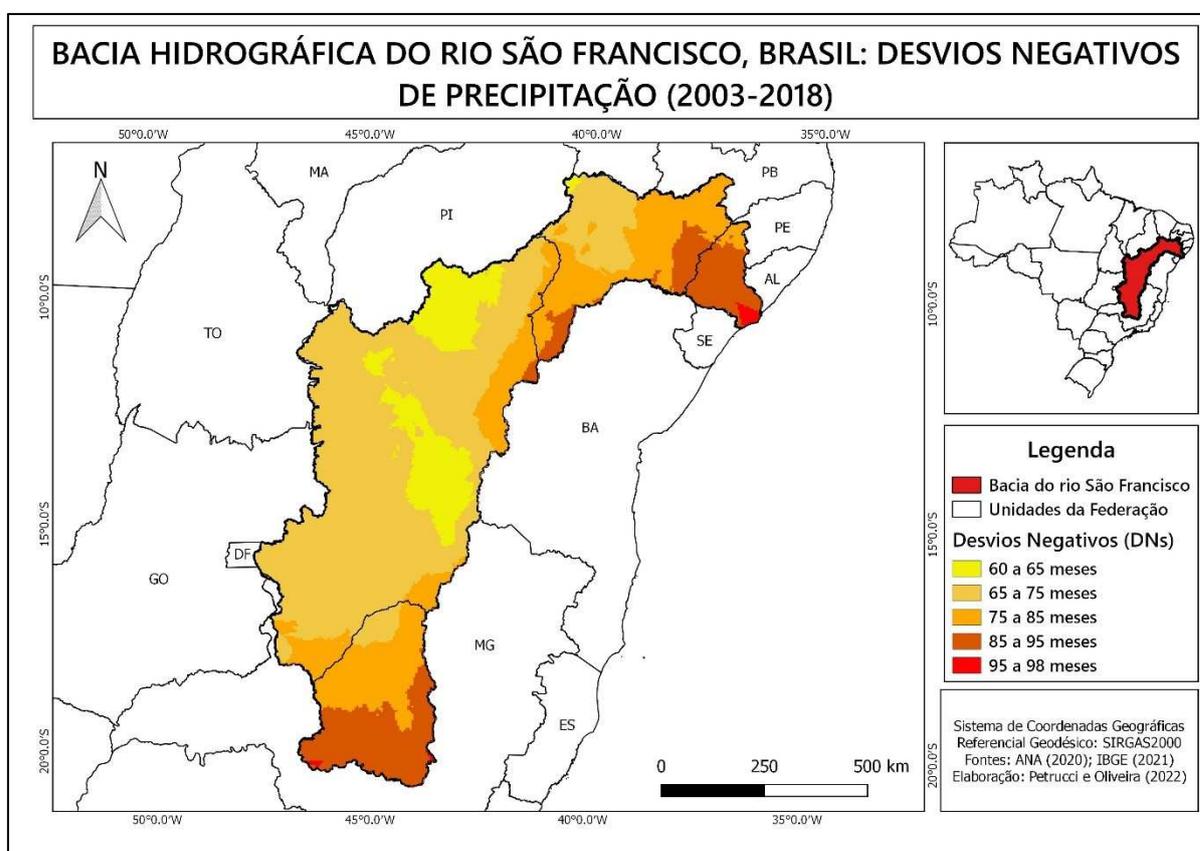
Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

De acordo com a tabela 26, verifica-se que, quanto maior a distância de busca dos pares de dados, maior é variância entre os dados de precipitação e maior é a quantidade de pares de dados. Por exemplo, no LAG 1, a distância média é de 39,8 km, com variância média de 43 e foram utilizados 813 pares de dados. Para o LAG 10, a distância média é de 597,5 km, com variância 234 e foram utilizados 1.394 pares de dados.

Referente à interpolação dos dados, foi realizado utilizando-se da técnica de Krigagem Ordinária. Para isso, houve a necessidade da criação de um grid, compreendidos entre as

coordenadas 206.212 e 1.497.826 no eixo X e 7.618.313 e 9.217.061 no eixo Y, zona UTM 23, sendo 259 blocos no eixo X e 321 blocos no eixo Y, em um intervalo de 5.000 metros. A krigagem foi realizada pelo tipo *Point Kriging*, em um raio de 600 km, utilizando 12 vizinhos próximos. O resultado do processo de krigagem e interpolação dos dados pode ser visualizado na figura 82.

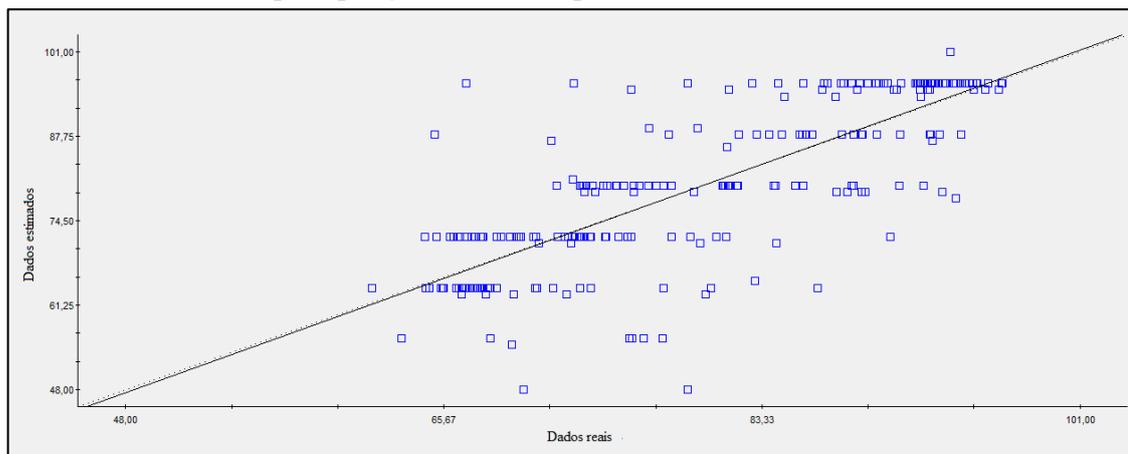
Figura 82 - Mapa da ocorrência dos desvios negativos de precipitação na BHSF, período de 2003 a 2018



Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Para a avaliação do modelo, foi analisado o RSS, que é a soma do quadrado dos resíduos, o coeficiente de regressão e a validação cruzada. O RSS foi de 154, o coeficiente de regressão foi de 1,013 e o coeficiente de determinação (r^2) da validação cruzada entre os dados reais e os dados estimados foi de 0,637, e o coeficiente de correlação (r) foi de 0,7981. O gráfico de correlação entre os dados reais e estimados pode ser analisado na figura 83 e os resíduos da interpolação na tabela 27:

Figura 83 - Gráfico de dispersão entre os dados reais e estimados dos desvios negativos de precipitação na BHSF, período de 2003 a 2018



Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

Tabela 27 - Resíduos dos desvios negativos de precipitação na BHSF, de 2003 a 2018

Nº	Dados reais	Dados estimados	Nº	Dados reais	Dados estimados	Nº	Dados reais	Dados estimados
1	80	77	82	64	64	163	88	83
2	95	76	83	56	63	164	80	81
3	65	82	84	64	67	165	80	84
4	89	79	85	72	66	166	80	78
5	56	75	86	72	66	167	80	76
6	56	68	87	64	66	168	80	82
7	64	64	88	72	66	169	80	81
8	64	86	89	64	66	170	80	75
9	96	89	90	64	67	171	80	77
10	94	84	91	72	67	172	80	81
11	88	78	92	72	68	173	80	76
12	79	79	93	55	69	174	63	80
13	80	83	94	64	65	175	96	90
14	86	81	95	63	66	176	88	89
15	72	72	96	64	61	177	96	90
16	80	73	97	64	65	178	88	88
17	87	71	98	63	67	179	96	92
18	79	76	99	72	67	180	96	89
19	72	73	100	72	67	181	88	90
20	96	72	101	72	65	182	95	90
21	48	79	102	64	67	183	96	92
22	72	76	103	64	68	184	95	88
23	56	76	104	71	70	185	88	87
24	64	66	105	72	71	186	79	88
25	96	85	106	63	72	187	94	92
26	95	95	107	96	66	188	88	92
27	96	87	108	56	76	189	88	86

28	96	94	109	64	67	190	88	85
29	96	92	110	72	70	191	96	86
30	88	88	111	72	69	192	94	87
31	96	91	112	64	67	193	88	85
32	80	74	113	80	71	194	96	91
33	72	80	114	72	70	195	88	92
34	89	77	115	64	68	196	79	88
35	64	77	116	72	69	197	80	88
36	96	79	117	72	69	198	80	92
37	64	80	118	72	73	199	79	89
38	88	65	119	72	74	200	88	88
39	95	96	120	79	73	201	80	90
40	96	96	121	79	74	202	95	90
41	96	96	122	72	72	203	80	85
42	96	92	123	96	82	204	88	85
43	95	86	124	72	71	205	96	86
44	71	84	125	72	79	206	96	93
45	96	84	126	72	72	207	80	88
46	64	71	127	71	72	208	96	91
47	95	81	128	72	72	209	96	93
48	64	70	129	72	90	210	88	84
49	48	70	130	72	73	211	96	92
50	72	64	131	72	72	212	96	93
51	101	93	132	72	72	213	96	94
52	64	73	133	72	73	214	96	92
53	64	73	134	72	73	215	96	94
54	72	67	135	72	75	216	96	95
55	72	68	136	80	73	217	96	93
56	64	66	137	80	73	218	78	94
57	64	66	138	72	74	219	96	92
58	64	67	139	96	87	220	79	93
59	64	66	140	72	75	221	96	92
60	64	67	141	72	78	222	96	91
61	72	66	142	80	81	223	95	92
62	72	66	143	72	73	224	95	92
63	64	65	144	80	76	225	95	92
64	64	68	145	72	73	226	96	92
65	96	91	146	80	75	227	96	91
66	96	88	147	80	75	228	88	93
67	81	72	148	56	77	229	96	92
68	80	73	149	72	75	230	96	92
69	72	70	150	80	74	231	96	91
70	64	68	151	80	73	232	95	92
71	63	69	152	79	87	233	87	92

72	64	65	153	96	88	234	96	94
73	64	66	154	96	89	235	96	94
74	64	67	155	96	91	236	88	94
75	64	67	156	88	82	237	96	94
76	72	66	157	80	85	238	96	93
77	64	67	158	88	83	239	96	95
78	72	67	159	72	81	240	96	92
79	64	70	160	71	79	241	96	94
80	72	66	161	80	81	242	96	95
81	72	69	162	80	81	243	96	95
						244	95	95

Fonte: Petrucci e Oliveira (2022)

7. CONCLUSÃO

Para a realização do cumprimento dos objetivos dessa tese, concernente à determinação dos períodos secos e caracterização da precipitação média anual, bem como, a modelagem e espacialização das variáveis supracitadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco, foram utilizadas, inicialmente, 190 estações meteorológicas de superfície automática no interior da bacia e 55 no entorno. Entretanto, no momento de avaliação dos processos de espacialização, foi observado que, embora houve boa aderência dos dados ao modelo gerado, a produção de elevados erros de estimativas não permitiram a espacialização para toda a referida bacia hidrográfica, visto que, um dos preceitos básicos dessa tese é a atenuação dos erros de estimativas, garantindo assim confiabilidade na previsão de dados climatológicos.

A partir disso, foram realizados ajustes na séries temporais de precipitação, reduzindo o período de 34 anos (entre 1985 e 2018) para 16 anos (entre 2003 e 2018), possibilitando a inclusão de novas estações meteorológicas em regiões onde a densidade de estações era muito baixa, passando de 190 para 211. Após análise e discussão dos resultados estatísticos, para o período de 1985 a 2018, verificou-se que a situação era agravante na última década de análise (2010), sobretudo a partir de 2015, corroborando as inserções das novas estações.

Após a alteração no período de dados e inclusão de novas estações pluviométricas, foi possível diminuir o espaçamento entre elas, fazendo com que não houvesse a necessidade de estimar dados de precipitação média anual para regiões de “vazios”, em que as distâncias entre as estações próximas chegavam a ser de centenas de quilômetros. Isso fez com que diminuísse o valor de variância nos conjuntos de dados estimados, aumentando assim, a confiabilidade, possibilitando estimar dados de precipitação média anual para todos os 508 municípios no interior da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

As metodologias empregadas para a classificação das secas e dos períodos secos foram satisfatórias e conseguiram identificar as ocorrências desses eventos climáticos extremos bacia hidrográfica do rio São Francisco. Os resultados apontaram que todas as regiões da BHSF, sem exceção, são afetadas por tais fenômenos climáticos, divergindo apenas na intercorrência, na magnitude e na permanência. Foram utilizadas o Déficit Extremo de Precipitação (DEp), oriundos da aplicação do IESP (Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas), os Meses Secos (MS) e Desvios Negativos (DNs).

Por meio do IESP, foi possível verificar que houve mais registros de eventos úmidos do que secos, sendo a classe Normal Úmido, índice entre 0,0 e +1,0 a mais recorrente, concentrando 45,5% de todas as ocorrências, ou seja, quase metade dos registros mensais para todas as 211 estações pluviométricas analisadas, ao passo que a classe de DEp concentrou apenas os eventos extremos, com 258 ocorrências, que representa 0,6% do total. Os meses com maior recorrência de DEp foram janeiro, dezembro, mais frequentes em 46 e 39 estações, respectivamente e, a região mais afetada foi o MSF, com 139 registros, seguido do ASF, com 99 registros, ou seja, as regiões com maiores volumes pluviométricos na BHSF.

Com relação ao Meses Secos, todas as estações verificaram registro de secas pluviométricas de acordo com essa metodologia, sendo a classe mais frequente, entre 16 e 28 meses, representando 24,2% das ocorrências, sendo registrado em 51 estações, seguido da classe entre 52 e 64 meses, que representa 24,4% do total de ocorrências, sendo mais frequente em 51 estações. Também foi possível comprovar que os anos que mais registraram secas mensais foi 2007 e 2017.

Não há como declarar que esse espaço temporal de 10 anos se trata de um período cíclico de ocorrências de secas, haveria a necessidade de aplicar testes estatísticos para comprovar esse fato e dispor de uma série de dados maior. Também não houve identificação de padrão de ocorrência de Meses Secos entre os anos da séries temporais, nem para as maiores durações de

meses secos consecutivos para os dois períodos analisados. Entretanto, para o primeiro período (série de 34 anos) a região de maior ocorrência foi o MSF e, para o segundo período (série de 16 anos) a região de maior ocorrência foi o SMSF. Há duas questões a pontuar referente a isso, a primeira, é de que quando houve a inclusão de novas estações no SMSF aumentou-se consequentemente a quantidade de meses secos nessa região fisiográfica, o que é coerente, visto o período seco ocorre na maior parte do ano, entre maio e dezembro, isso significa que há muitos meses em que não há ocorrência de precipitação, sendo classificados como meses secos.

A segunda premissa é de que com a redução do período de análise dos dados, as séries de dados de precipitação média anual no MSF se tornaram mais homogêneas que no período anterior. Esse fato é comprovado pelos resultados do CV, sendo que houve redução desse coeficiente na região do MSF, passando de 28,4 % entre 1985/2018 para 26,8 % entre 2003/2018. Uma terceira premissa é que possa ter ocorrido as duas possibilidades anteriores.

Pode-se concluir, a partir dos resultados sobre os Desvios Negativos (DNs), que as regiões mais pereceram com os eventos extremos de secas pluviométricas foram o BSF e o ASF. É curioso destacar que nesses duas regiões fisiográficas estão localizadas o exultório e as nascentes, respectivamente, ou seja, estão ocorrendo precipitações abaixo da mediana para essas duas localidades extremamente importantes para a manutenção dos volumes das vazões ao longo do curso principal do rio São Francisco. Em 2014 foi quando ocorreu o meio número de meses secos simultaneamente entre as estações analisadas, totalizando 1.392 ocorrências. A classe entre 90 e 96 meses secos foi a mais frequente entre as estações (em 53 delas), que totalizam 25,1% de todas as ocorrências para o período de 16 anos analisado.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do rio São Francisco é uma das maiores bacias brasileiras, ocupando uma área superior a 650 mil km², que corresponde a 8% do território nacional. Engloba 8 unidades da federação, a saber: AL, BA, CE, MG, PE, SE e DF e, o rio principal percorre mais de 2.700 km, desde sua nascente simbólica, no município de São Roque de Minas (MG), até a sua foz no Oceano Atlântico, entre os estados de Alagoas e Sergipe. Na BHSF, vivem aproximadamente 21 milhões de pessoas, estimativas ao final de 2021 (IBGE, 2021) em 508 municípios brasileiros.

De maneira geral, o comportamento espacial da precipitação na referida bacia é assim configurado: maior pluviosidade na porção sul, região das nascentes, onde são verificados climas úmidos, diminuindo até a porção norte, onde são verificados os climas semiáridos, e aumentando novamente na região da foz, por influência da maritimidade. Essas características de precipitação é fruto das relações estabelecidas entre sistemas atmosféricos (locais até circulação geral) e os fatores geográficos e, devido às dimensões da BHSF, possui muitas especificidades e interações.

O fenômeno das secas caracteriza-se por ocorrências de anomalias negativas em relação a um valor de referência, e elas podem atingir as regiões sob quaisquer condições climáticas, assim, tanto em regiões de climas úmidos ou semiáridos. Elas ocorrem devido a fatores de ordem natural ou social, e se agravam quando associadas a sistemas de grande escala e baixa variabilidade, tais como o ENOS ou anomalias de convecção, que inibe a formação de nuvens e conseqüentemente de precipitação.

De maneira geral, durante a década de 2010, houve grande variação da precipitação anual, com alternância de anos chuvosos com anos extremamente secos, o que foi revelado quando da aplicação dos métodos de verificação das secas. Essa característica teve um impacto

significativo nos resultados obtidos ao longo dessa tese, sobretudo na última década, que foi a que apresentou maior frequência de ocorrência de secas pluviométricas, considerando o período entre 1985 e 2018. Essas ocorrências de secas nos períodos hodiernos, compactua com os resultados apontados pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), nos relatórios sínteses de 2014 e 2021, de aumento da frequência de ocorrência de eventos extremos, por exemplo as secas.

A classificação dos desvios negativos evidenciou que a região fisiográfica mais afetada pelas secas é o ASF e o mês mais frequente é dezembro. A situação é grave e necessita de maior visibilidade, visto que, no ASF é onde se localizam as nascentes do rio São Francisco, e dezembro é um dos meses da estação mais chuvosa na região. A partir disso, pode-se esperar que a sejam alterados os ciclos hidrológicos e naturais na BHSF, interferindo negativamente nas vazões tanto do rio principal quanto dos seus tributários, alterando as disponibilidades hídricas para toda a população residente na bacia.

Pelo método dos Meses Secos, o ASF é a que menos percebeu esses eventos extremos, pois é a região com maior pluviosidade na bacia, dificilmente há uma ocorrências de meses com precipitação inferior a 1,0 mm. Para o BSF, a baixa ocorrência de meses secos é justificada pela constante atuação de sistemas atmosféricos úmidos, como por exemplo os ventos alísios.

Por outro lado, a partir da região Sul, em direção ao norte da bacia, a quantidade de meses secos vai aumentando substancialmente, e pode ser explicada pela concentração do período chuvoso em poucos meses (entre janeiro e abril) e nos demais meses é comum a ausência de precipitação. Para contornar os fatos das intempéries climáticas, diversos planos de ações foram criados ao longo da história do nordeste, que remonta desde o período imperial, como a criação de açudes e perfuração de poços artesianos, desde medidas contemporâneas como a transposição do rio São Francisco, para que haja fornecimento de água do referido rio para localidades onde a escassez de água na maior parte do ano afeta o desenvolvimento

socioeconômico dessas regiões semiáridas. Sem muito sucesso, as políticas públicas têm se mostrado ineficientes nesse quesito e, um dos fatores proeminentes continua sendo a concentração fundiária e, conseqüentemente, a territorialização da água, sobretudo na região semiárida.

Com isso, o plano de gerenciamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco deve ser levado a sério, além de serem feitas revisões em períodos de tempos mais curtos, exigindo a participação de todos os setores envolvidos, ressaltando as necessidades e potencialidades pois, se em um período de 16 anos foram identificados tantas mudanças na pluviosidade incidente e, com certeza, alterações nos padrões hidrológicos quanto à disponibilidade de água, num futuro próximo podem ser registrados eventos extremos de seca que sequer temos registros passados.

Devem ser considerados também a inclusão de novas estações pluviométricas para se fazer registros acerca das variáveis climáticas, contribuindo assim para construir uma densa rede de monitoramento climatológico. Dispor também de séries históricas oriundas de outras fontes, tais como satélites, radares e sondas, e disponibilizadas pelos mesmos órgãos oficiais brasileiros, além de promover um trabalho interdisciplinar com a meteorologia, e demais ciências que utilizam da ciência do clima para robustecer as análises.

Considerando a emergência da situação climática global, esses padrões de alteração no regime de precipitações pode ocorrer em um período muito mais reduzido. Em outras localidades do planeta também tem verificado eventos extremos climáticos, ulteriores ao período analisado nessa tese, tais como: Queimadas excepcionais no Pantanal brasileiro, na Califórnia (EUA) e no território australiano entre os anos de 2019 e 2020; Enchentes sucessivas no sudeste asiático desde o ano de 2020, afetando países como Indonésia, Vietnã, Laos, Filipinas, Camboja e Tailândia; Maior quantidade de furacões durante a temporada, no Atlântico Norte, no ano de 2021; Ondas de frio, geadas e neve atingindo o Brasil em 2021;

Ondas de calor extremo na Europa e Canadá, atingindo temperaturas máximas de aproximadamente 50°C no ano de 2021; Secas excepcionais em todo o continente europeu, a mais severa dos últimos 500 anos, que tem provocado completa desestabilização hídrica e no sistema produtivo do setor primário, no ano de 2022;

Por fim, espero que esse trabalho, desde a sua idealização, no início de 2018 até sua completa realização, em meados de 2022, sirva como uma contribuição para a administração e gerenciamento dos recursos na bacia hidrográfica do rio São Francisco, prestando atenção nos padrões de ocorrências espaciais e temporais de eventos extremos que já ocorreram e planejando os eventos extremos que ainda estão para acontecer, de uma das mais importantes bacias brasileiras, que é o lar de milhões de brasileiros que, mesmo sofrendo com adversidades climáticas, sobrevive, resiste e se reinventa frente ao descaso de muitos responsáveis.

Como sugestões para futuras pesquisas, recomenda-se analisar com maior afinco os padrões atmosféricos que têm provocado os eventos extremos relacionados às secas, sobretudo no período chuvoso das respectivas regiões, bem como desenvolvimento e implementação de tecnologias que possibilitem a predição desses eventos e, também, metodologias de redução de danos e custos de dos desastres relacionados às secas.

9. REFERÊNCIAS

10.

ABREU, M. L. Climatologia da Estação Chuvosa de Minas Gerais: de Nímer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Geonomos**, v. IV, n. 2, Dez de 1998.

<https://doi.org/10.18285/geonomos.v6i2.166>

ACOSTA ZUÑIGA, Lorena Stefania. **Efeito da não estacionariedade de séries hidrológicas no planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos de médio prazo**. 2018. 30p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Energia) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila), Foz do Iguaçu, 2018.

ALMEIDA, M. F. F. **Uso da krigagem indicativa na seleção de áreas propícias ao cultivo de café em consorciação ou rotação com outras culturas**. 2013. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no estado de Goiás. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011. <https://doi.org/10.4025/actascihumansoc.v33i2.13815>

AMBRIZZI, T. FERRAZ, S. E. T. An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone. **Frontiers in Environmental Science**, v. 3, n. 23, 2015, p. 1-9.

<https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00023>

AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, Meteorological Drought. **Bull. Amer. Met. Soc.**, 85, 2003. Disponível em: <<https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/about-ams/ams-statements/archive-statements-of-the-ams/meteorological-drought/>>. Acesso em abril/2020.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-14056-TDI/1067), São José dos Campos, 2005.

ANDRIOTTI, J. L. S. Introdução à Geoestatística. **Acta Geológica Leopoldense**, 1989, a. 11, vol. 27, p. 5-81.

ANDRIOTTI, J. L. S. Notas de Geoestatística. **Acta Geologica Leopoldensia**. N. XXV, Vol. 55, p. 3 - 14, 2002. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/519>>. Acesso em setembro/2020.

ARAÚJO, S. M. S. de. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidade de uso sustentável dos recursos. **Revista Rios Eletrônica**, a. 5, n. 5, p. 89-98, dez/2011.

ASSAD, E. D. et. al., Veranicos na região dos cerrados brasileiros: frequência e probabilidades de ocorrência. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 9, p. 993-1003, set/1993.

ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. Análise climática da precipitação no Submédio da bacia do rio São Francisco com base no Índice de Anomalia de Chuva. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 36, jun/2015, p. 115-127. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820151012>

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 11 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006, 332 p.

BERNDT, C.; HABERLANDT, U. Spatial interpolation of climate variables in Northern Germany - Influence of temporal resolution and network density. **Journal of Hydrology: regional studies**, v. 15, p. 184-202, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.02.002>

BLAIN, G. C. **Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do estado de São Paulo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo, Campinas, SP. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000400020>

BLAIN, G. C.; BRUNINI, R. Análise comparativa dos Índices de Seca de Palmer, Palmer adaptado e Índice Padronizado de Precipitação no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 105-111, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000100011>

BLANQUERO, R.; et al. **Modelo estadístico para la predicción del Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) en Andalucía**. In: PUEBLA, C. R. et al. (EDS.). Cambio climático. Extremos e impactos, Serie A, nº 8. Salamanca: Asociación Española de Climatología, 2012, p. 261-270. Disponível em: <<http://aeclim.org/documentacion/viii-congreso-internacional-aec-2/>>. Acesso em setembro/2020.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Centro Nacional de gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais 2013**. Brasília: CENAD, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica de São Francisco**. Brasília: MMA, 2006, 148 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Ministério da Integração Nacional, WWF-Brasil. **Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima**. Brasília, DF: MMA, 2017.

CÂMARA, G. et al. Análise espacial e geoprocessamento. In: FUCKS, S. D. et al. (ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília, DF: Embrapa, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap1-intro.pdf>>. Acesso em: jul/2020.

CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. *In: CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. (eds.). Geoprocessamento para projetos ambientais*. São José dos Campos: INPE, 1998. cap.5, p.1-36.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. *In: FUCKS, S. D. et al. (ed.). Análise espacial de dados geográficos*. Brasília, DF: Embrapa, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap3-superficies.pdf>>. Acesso em: jul/2020.

CAMPOS, J. N. B. Vulnerabilidade do Semi-Árido às secas sob o ponto de vista dos recursos hídricos. *In: PROJETO ARIDAS _RH SEPLAN/PR*, Brasília-DF, 1997, p. 262-298.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C. Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções. *In: INTER-AMERICAN DIALOGUE ON WATER MANAGEMENT*, 4., 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001, p. 1-10.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. *In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (orgs). Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 95-110.

CAVALCANTI, I. F. A. et al. (orgs). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 468 p.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes Frias sobre o Brasil. *In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (orgs). Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 135-148.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (CPTEC-INPE). *Arquivos de análises sinóticas*. Disponível em: <<http://tempo.cptec.inpe.br/>>, acesso em mai/2020.

CLARK, I. *Practical Geostatistics*. London: Applied Science Publishers Ltd., 1979.

COMITÊ DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO (CBHSF). Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/#regioes-hidrograficas>>. Acesso em mai/2020.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. **Institui a Divisão Hidrográfica Nacional, em regiões hidrográficas, com a finalidade de orientar, fundamentar e implementar o Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: <<https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>>, acesso em abril/2020.

COSTA, J. A. O fenômeno El Niño e as secas no nordeste do Brasil. EDUCETE: **Revista Científica do Instituto Federal de Alagoas**, v. 3, n. 1, p. 71-82, Jan/Jun 2012.

DEGOLA, T. S. D. **Impactos e variabilidade do anticiclone subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros**. 2013. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em:

<https://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/d_thiago_s_d_degola_corrigeida.pdf>. Acesso em dezembro 2021.

DIAS, J. M. A. **"Todo o mundo é composto de mudança"** - Considerações sobre o clima e a sua história. I - O Sistema Climático Terrestre. Faro: CIMA, 2016 (e-book). Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/301553846_Todo_o_mundo_e_composto_de_mudanca_Consideracoes_sobre_o_clima_e_a_sua_historia_I_-_O_Sistema_Climatico_Terrestre/download>. Acesso em agosto/2020.

DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. Para entender Tempo e Clima. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (orgs). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 15-22.

DINIZ, M. T. M.; MEDEIROS, S. C. de.; CUNHA, C. J. Sistemas atmosféricos atuantes e diversidade pluviométrica em Sergipe. **Boletim Goiano de Geografia (Online)**. Goiânia, v. 34, n. 1, jan./abr. 2014, p. 17-34. <https://doi.org/10.5216/bgg.v34i1.29313>

DINIZ, M. T. M.; PEREIRA, V. H. C. Climatologia do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Boletim Goiano de Geografia (online)**. Goiânia, v. 35, n. 3, set/dez 2015, p. 488-506. <https://doi.org/10.5216/bgg.v35i3.38839>

DRUCK, S. A geoestatística e os sistemas de informações geográficas. **Revista Espaço & Geografia**, v. 5, n. 1, p-1-15, 2002.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. 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, N. J.; CHAN, C. S.; SATYAMURTY, P. Análise dos distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6., Salvador, BA. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1990. v. 02, p. 462-466. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.27.08.18>>. Acesso em jul/2020

FONSECA, P. P. da. **Métodos geoestatísticos de co-estimativas: aplicações aos dados do Campo Escola de Namorado**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FOREST GIS - **Base Hidrográfica Nacional**. Disponível em: <<https://forest-gis.com/download-gis-base-de-dados/>>, acesso em fevereiro de 2020.

GALVÍNIO, J. D.; SOUSA, F. A. S. Relação entre o fenômeno El Niño e os totais mensais precipitados na bacia hidrográfica do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 113-119, out-dez/2002. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v7n4.p113-119>

GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+: **Geostatistics for the Environmental Sciences**. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA, 2020. Disponível em: <<http://www.gammadesign.com/>>. Acesso em: jan/2020.

GIACOMIN, G. et al. Análise comparativa entre métodos interpoladores de modelos de superfícies. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 6, n° 66, p. 1315-1329, nov/dez 2014.

GOMES, O. M. et al. Análise de superfície de tendência aplicada a dados de precipitação pluvial do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 32, n. 3, p. 412-429, 2014.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. Conceitos básicos da Geoestatística. In: OLIVEIRA, R. P.; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. (org.). **Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 41-62.

GROOVE, A. T. et al. The geography of semi-arid lands [and discussion]. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 278, n. 962, p. 457-475, Maio/1977 (Serie B, Biological Sciences). Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/pdf/2417801.pdf?refreqid=excelsior%3Abcf2359c1c65179d07d283233c2af447&ab_segments=&origin=>. Acesso em dezembro 2021. <https://doi.org/10.1098/rstb.1977.0055>

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Universidade Federal de Uberlândia, v. 1, 78 p., 2004 (Apostila).

HEIM JR, R. R. A review os twentieth-century drought indices used in the United States. **Bull. Amer. Met. Soc.**, v. 83, n. 8, agosto/2002, p. 1149-1165. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2002\)083<1149:AROTDI>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2002)083<1149:AROTDI>2.3.CO;2)

HIDROWEB, Agência Nacional De Águas (ANA). Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: mar/2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vetores estruturantes da dimensão socioeconômica da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <<http://www.ospba.org/wp-content/uploads/2012/04/OK-vetores-estruturantes-da-dimensao-socioeconomica.pdf>>, acesso em julho/2021. (Estudos e Pesquisas - Informação Geográfica, n. 6).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **Malhas municipais**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>>. Acesso em fevereiro/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE Cidades, **População estimada**. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em janeiro/2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA - **Zona de Convergencia Intertropical #ZCIT #inamehoficial #INAMEHInforma**. Youtube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=WyyiR2ZH-0U>>. Acesso em: agosto/2020.

IPCC, 2001: **Climate Change 2001**: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp.

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. *In*: **Climate Change 2007**: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. *In*: **Climate Change 2021**: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 560 p.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 15., 2006, Caxambu. **Anais...** Belo Horizonte: Abep, 2006. v. 1, p. 1-22. Disponível em: <<http://www.nepo.unicamp.br/vulnerabilidade/admin/uploads/producoes/M%C3%A9todos%20de%20interpola%C3%A7%C3%A3o.PDF>>. Acesso em: jul/2020.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (orgs). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 213-234.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. **Gebr, Borntraeger**, 1936, p. 1-44.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 02, 20 pp. 2000. Disponível em <<https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbiental/robertowlourenco/dicas-surfer-01.pdf>>. Acesso em outubro/2020

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2ª ed. São Paulo: Unesp, 2003. 154p.

LANDIM, P. M. B.; CORSI, A. C. **Cálculo de superfície de tendência, por regressão polinomial, pelo SURFER 6**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Laboratório de Geomatemática, Texto Didático 05. Rio Claro: UNESP, 11p. 2001.

LIBERTO, T. D. **The Walker Circulation: ENSO'S atmospheric buddy**. 1 de Janeiro de 2014. Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/walker-circulation-ensos-atmospheric-buddy>>. Acesso em: julho/2020.

LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A. da.; FERREIRA, R. L. C. A precisão da estimativa do erro da krigagem pela validação cruzada. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-12, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.124114>

MACHADO, L. A. T. et al. Distúrbios Ondulatórios de Leste. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (orgs). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 61-74.

MACIEL, S. A. **Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, Brasil**. 2017. 213 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geografia - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2017.

MARENGO, J. A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. (Orgs.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: INSA, 2011. p. 383-422.

MARQUES, V. S.; RAO, V. B.; MOLION, L. C. Inter-annual and seasonal variations in the structure and energetics of the atmosphere over northeast Brazil. **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 35, n. 2, 1983, p. 136-148. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v35i2.11427>

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anaheim. **Anais...** Anaheim: Preprints, 1993. p. 17 - 22

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Droughtmonitoring with multiple time scales. *In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY*, 9., 1995, Dalas (TX). **Anais...** Boston: AMS, 1995. p. 233 – 236.

MENDES, D.; GÓES, S. Importância do Clima no Relevo Continental. *In: CONGRESSO DE AGROMETEOROLOGIA*, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...** Anais do Congresso de Agrometeorologia, 1999, p. 1-5. Disponível em: <<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/450.pdf>>. Acesso em dezembro/2021.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **ClimAtologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, p. 1-10, 2002.

MOREIRA, A. et al. Dados meteorológicos estimados em condições de clima subtropical e a relação com índices de vegetação. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 69, v. 6, p. 1075-1091, junho/2017. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44311/2339>>, acesso em julho/2020.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 5 ed. São Paulo: Saraiva, 2004, 526 p.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Modelos para previsão de séries temporais**, Rio de Janeiro: IMPA, 1981. Disponível em: <https://impa.br/wp-content/uploads/2017/04/13_CBM_81_01.pdf>. Acesso em outubro/2020.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NARDI, L. A. A. **Metodologia geoestatística para dados com tendência regionalizada**. 2015. Dissertação (Mestrado em Biometria) - Instituto de Biociência, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

NASCIMENTO, T.S. et al. Preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos com base em dados do CPC (Climate Prediction Center): estudo de caso do rio Solimões - Amazonas. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 7, n. 6, 2010. <https://doi.org/10.5380/abclima.v7i0.25643>

NEMUS, GESTÃO E REQUALIFICAÇÃO AMBIENTAL LTDA. **RP2 - Diagnóstico Consolidado da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Vol. 1 - Relatório de diagnóstico. Associação Executiva de Apoio à Gestão das Bacias Hidrográficas Peixe Vivo. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), out/2015, 489 p.

NOBRE, P. Variabilidade Climática sobre o Atlântico Tropical. Parte II: Estudo de Casos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1994, v. 8, p. 10-14.

OLIVEIRA, G. S. de. **O El Niño e Você** - o fenômeno climático. São José dos Campos: Transec, 2001.

OLIVEIRA, M. L. de. **Análise das incertezas envolvidas na modelagem de reservatórios no contexto geoestatístico**. 1997. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

OLIVEIRA, M. R. P. de.; GALVANI, E. Avaliação do efeito orográfico na variação das precipitações no perfil longitudinal Paraty (RJ) e Campos do Jordão (SP). **Entre-Lugar**, a. 6, n. 11, p. 133-151, 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). Map of the world distribution of arid regions: explanatory note. (MAB Technical Notes). Paris: UNESCO, nº. 7, p. 1 - 53, 1977. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000032661>>. Acesso em dezembro 2021.

PEÑA-GALLARDO, M; GÁMIZ-FORTIS, S. R.; CASTRO-DÍEZ, Y.; ESTEBAN-PARRA, M. J. Análisis comparativo de índices de sequía en Andalucía para el periodo 1901-2012. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, n. 42, v. 1, 2016, p. 67-88. <https://doi.org/10.18172/cig.2946>

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. de. Desenvolvimento regional como política de apoio para a revitalização do rio São Francisco. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, n. 18, jan-julho/2018. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8475/1/BRU_n18_Desenvolvimento.pdf>, acesso em julho/2021.

PETRUCCI, E. **Características do clima de Uberlândia-MG: análise da temperatura, precipitação e umidade relativa**. 2018. 245 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

PETRUCCI, E.; OLIVEIRA, L. A. Índice Standardizado de Seca Pluviométrica (IESP) aplicado na mesorregião Sul Cearense (CE) - Brasil. *In: XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*, 2018, Juiz de Fora. **Anais...** Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2018. p. 2141-2150.

PETRUCCI, E.; OLIVEIRA, L. A.; SILVA, R. C. Secas pluviométricas no estado de Minas Gerais, de 1980 a 2017. **RA'EGA: o espaço em análise**, v. 54, p. 129-153, agosto/2022. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/76135/46709>>, Acesso em agosto/2022.

PITA LOPEZ, M. F. Un nouvel indice de sécheresse pour les domaines méditerranéens : Application au bassin du Guadalquivir (sud-ouest de l'Espagne). L'association Internationale de Climatologie, **Publications de l'Association Internationale de Climatologie**, v. 13, p.225-234, 2000.

PLOUFFE, C, C, F.; ROBERTSON, C.; CHANDRAPALA, L. Comparing interpolation techniques for monthly rainfall mapping using multiple evaluation criteria and auxiliary data sources: a case study of Sri Lanka. **Environmental Modelling & Software**. Vol. 67, 2015, p. 57-71. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.01.011>

QUADRO, M. F. L., **Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 97 f. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos (SP), 1994.

QUADRO, M. F. L.; PEZZI, L. P.; ROSA, E. B. O Climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos. **Revista Climanálise**, Cachoeira Paulista/SP, V. 3, n. 1, p. 19 - 25, 2006. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/>> Acesso em: jul/2020.

QUANTUM GIS. **User Guide/Manual**. Versões 2.14.22 e 2.18.28. Disponível em: <https://docs.qgis.org/3.16/pt_BR/docs/user_manual/>. Acesso em: jan/2020.

QUEIROZ, A. T. de.; ASSUNÇÃO, W. L. Análise geoestatística das precipitações na fazenda Letreiro (Uberlândia-MG). **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**. v. 4, n. 2, p. 448-476, Jul/Dez 2013.

REBOITA, M. S. et al. Causas da semi-aridez do sertão nordestino. **Revista Brasileira de Climatologia**, a. 12, v. 19, p. 254-277, julho/dez 2016. <https://doi.org/10.5380/abclima.v19i0.42091>

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997. (Dossiê Nordeste I). <https://doi.org/10.1590/S0103-40141997000100007>

REZENDE, P. S. **Análise de risco de desastres por inundação: cenários temporais para a cidade de Governador Valadares (MG)**. 2020. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020, 186 f. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/29348/4/AnaliseRiscoDesastre.pdf>>. Acesso em jul/2020.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética**, v. 23, n. 45-46, 1993, p. 288-294.

RIBEIRO, S. C.; MARÇAL, M. S.; CORREA, A. C. B. Geomorfologia de áreas semi-áridas: uma contribuição ao estudo dos sertões nordestinos. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 120-137, jan/mar de 2010.

RODRIGUES, H. P. **Zona de Convergência do Atlântico Sul: um estudo observacional e numérico**. 2012. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2012.

ROSA, R. G. T. D. **Índices de seca: aplicação ao continente português**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 139 f. 2011.

RUIZ ÁLVARES, V. et al. Análisis y evolución temporal de las secuencias pluviométricas secas de larga duración en la región de Murcia (1864-2015). *In: OLCINA CANTOS, J. et al. (eds.). Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Alicante: Asociación Española de Climatología (AEC), 2016, n. 8, pp. 335-344. Disponível em: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/57999/1/2016_X-Congreso-AEC-Alicante_31.pdf>. Acesso em: setembro/2020. <https://doi.org/10.14198/XCongresoAECALicante2016-31>

SANCHES, F. O. et al. Chuvas no norte gaúcho: um estudo sobre a tendência das chuvas e mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, a. 12, v. 18, p. 349-360, jan/jun 2016. <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.45287>

SANCHES, M. B.; SILVA DIAS, M. A. F. Análise Sinótica de Verão. A Influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 9, Campos do Jordão. **Anais...** Sociedade Brasileira de Meteorologia, v.1, p.439-443, 1996.

SANTOS, E. A. B. dos. **Análise da precipitação na bacia do rio São Francisco**. 2018. Tese (Doutorado em Biometria e Estatística aplicada). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

SANTOS, G. R. dos. et al. Krigagem simples versus krigagem universal: qual o preditor mais preciso? **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v 26, n. 2, p.49-55, 2011. Disponível em: <<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/209/123>>. Acesso em set/2020. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2011v26n2p49-55>

SANTOS, G. R. dos. **Hierarquização geométrica dos preditores geoestatísticos**. 2010. 200 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SANTOS, M. S.; et al. Time-space characterization of droughts in the São Francisco River catchment using the Standard Precipitation Index and continuous wavelet transform. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 28, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180092>

SILVA, A. P. L. M. da.; et al. Modelagem atmosférica na bacia do rio São Francisco. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, XII, 2002, Foz do Iguaçu/PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia (SBMET), 2002, p. 3957-3967.

SILVA, B. C.; CLARKE, R. T. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. **Revista brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 3, 2004, p. 265-272.

SILVA, D. F. da.; 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, março/2011, p.46-56.

SILVA, G. R. **Características de vento da região Nordeste: análise, modelagem e aplicações para projetos de centrais eólicas**. 2003. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/5432/1/arquivo7341_1.pdf>. Acesso em junho/2020.

SILVA, L. R. T. **Análise da continuidade espacial do comportamento da precipitação em área que engloba as mesorregiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba - Minas Gerais e Sul Goiano- Goiás**. 2019. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24493/1/AnaliseContinuidadeEspacial.pdf>>. Acesso em Jul/2020.

SILVA, P. C. G. da. et al. Caracterização do semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. *In*: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010, p. 17-48.

SILVA, R. C.; CARPENEDO, C. B. Influência do posicionamento anômalo do anticiclone subtropical do Atlântico Sul sobre a precipitação nas regiões nordeste e sudeste do Brasil em dezembro. *In*: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 13, 2018, Juiz de Fora - MG. **Anais...** Juiz de Fora - MG, 2018, p. 1-10. Disponível em: <<http://www.abclima.ggf.br/sbcg2018/site/anais/arquivos/47/2ceeb064a0a0322c99589e35e2566115.pdf>>. Acesso em dezembro de 2021.

SILVA, V. P. R. da.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p.163-172, junho/2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000200005>

SINDELAR, F.C.W.; CONT, S. M. de; AHLERT, L. **Teoria e prática em estatística para cursos de graduação**. Lajeado (RS): Editora da Univates, 2014. 200 p.

SIQUEIRA, H. R. de; ALVES, G. F.; GUIMARÃES, E. C. Comportamento da precipitação pluviométrica mensal do estado de Minas Gerais: análise espacial e temporal. **Horizonte Científico**, v.1, n. 1, p.1-21, 2007.

SOARES, E. Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. **Revista GEOgrafias**, vol. 9, n. 2, p. 75-86, 2013. Disponível em:

<<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13362/10594>>, acesso em abril de 2020.

STANFORD GEOSTATISTICAL MODELING SOFTWARE (SGeMS). **Versão 2.5 Beta - 64bits**. Disponível em: <<http://sgems.sourceforge.net/?q=node/77>>. Acesso em jan/2020.

STORANI, D. L.; PEREZ FILHO, A. Relações Morfologia-Litologia na Organização do Relevo Brasileiro. *In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA*, 12, 2009, Montevideo, Uruguay. **Anais...** Anais do 12^a EGAL, 2009, p. 1-17.

STRAHLER, A. N. **Physical Geography**. New York: John & Sons, 1969.

SUASSUNA, J. Semi-árido: proposta de convivência com a seca. **Caderno de Estudos Sociais**: Recife, v. 23, n. 1-2, jan/dez 2007, p. 135-148.

TEIXEIRA, M. B. R.; SCALON, J. D. Comparação entre estimadores de semivariância. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 31, n. 2, p. 248-269, 2013.

VICENTE-SERRANO, S. M.; SAZ-SÁNCHEZ, M. A.; CUADRAT, J. M. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. **Climate Research**, v. 24, p. 161-180, jul/2003.
<https://doi.org/10.3354/cr024161>

VIVIANI, E.; MANZATO, G. G. Geração de modelos digitais de superfície por meio de plataformas computacionais com estrutura vetorial e raster. **Ciencia y Engenharia/ Science and Engineering Journal**, v. 14, n. 2, p. 27-33, 2005. Disponível em:
<<http://hdl.handle.net/11449/68334>>.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985.
<https://doi.org/10.1080/02508068508686328>

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **World Climate Data Program: Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals**, WCDP-No. 10, WMO-TD/No. 341, Prepared by a meeting of experts, Washington, D.C., U.S.A., March 1989.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **GEOESTATÍSTICA: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 216 p.

ZARGAR et. al. A review of droughts índices. **Environmental Reviews**, v. 19, p. 333-349, 2011. <https://doi.org/10.1139/a11-013>

ZENI, M. A. **Análise do desempenho da krigagem com variância do erro de medida na presença de erros amostrais e valores extremos**. 2019. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

11. ANEXOS

Quadro 7 – Sumário das estações pluviométricas no interior da bacia do Rio São Francisco (série temporal de 1985-2018)

Estações Pluviométricas no interior da Bacia do Rio São Francisco (1985-2018)							
ALAGOAS (AL)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	936076	Traipu	Traipu	AL	-9.973	-37.003	-
2	937013	Delmiro Gouvêia	Delmiro Gouvêia	AL	-9.392	-37.994	256
3	937018	Pão de Açúcar	Pão de Açúcar	AL	-9.746	-37.449	45
4	937023	Piranhas	Piranhas	AL	-9.626	-37.756	110
5	937032	Santana do Ipanema	Santana do Ipanema	AL	-9.373	-37.245	250
6	1036005	Penedo	Penedo	AL	-10.285	-36.556	28
7	1036007	Piaçabuçu	Piaçabuçu	AL	-10.406	-36.426	10
BAHIA (BA)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
8	939017	Próximo à Curaçá II	Curaçá	BA	-9.123	-39.936	365
9	940018	Campo dos Cavalos	Juazeiro	BA	-9.56	-40.647	377
10	940024	Juazeiro	Juazeiro	BA	-9.405	-40.504	370
11	940025	Lagoa do Boi	Juazeiro	BA	-9.491	-40.204	378
12	940028	Junco	Juazeiro	BA	-9.677	-40.604	397
13	1042012	Rio Verde II	Itaguaçu da Bahia	BA	-10.986	-42.342	414
14	1142017	Fazenda Cabaceiras	Ibipeba	BA	-11.329	-42.305	490
15	1142020	Fazenda Refrigério - Jusante	Ibipeba	BA	-11.356	-42.274	489
16	1143002	Morpará	Morpará	BA	-11.563	-43.275	418
17	1143010	Boqueirão	Mansidão	BA	-11.355	-43.846	401
18	1144005	Fazenda Macambira	Cotegipe	BA	-11.614	-44.158	421
19	1144014	São Sebastião	Angical	BA	-11.979	-44.877	447
20	1144027	Ibipetuba	Santa Rita de Cássia	BA	-11.006	-44.526	436
21	1145001	Formosa do Rio Preto	Formosa do Rio Preto	BA	-11.048	-45.202	489
22	1145004	Fazenda Bom Jardim	Formosa do Rio Preto	BA	-10.993	-45.527	451
23	1145013	Ponte Serafim - Montante	Barreiras	BA	-11.896	-45.612	713
24	1145014	Nova Vida - Montante	Barreiras	BA	-11.853	-45.122	458
25	1145019	Cariparé	Riachão das Neves	BA	-11.512	-45.042	510
26	1242015	Brotas de Macaúbas	Brotas de Macaúbas	BA	-12.004	-42.628	837
27	1242016	Ponte BR-242	Oliveira dos Brejinhos	BA	-12.252	-42.763	440
28	1243000	Gameleira	Sítio do Mato	BA	-12.867	-43.381	413
29	1243011	Ibotirama	Ibotirama	BA	-12.181	-43.223	420
30	1243019	Serra Dourada (Faz. Muritiba)	Serra Dourada	BA	-12.769	-43.958	480
31	1244019	Fazenda Coqueiro	São Desidério	BA	-12.389	-44.932	502
32	1245004	Fazenda Redenção	Barreiras	BA	-12.135	-45.104	490
33	1245005	Derocal	São Desidério	BA	-12.411	-45.12	502
34	1245007	Sítio Grande	São Desidério	BA	-12.431	-45.086	512

35	1245014	Fazenda Johá	Barreiras	BA	-12.126	-45.811	725
36	1245015	Roda Velha	São Desidério	BA	-12.765	-45.944	761
37	1343008	Porto Novo	Santana	BA	-13.293	-43.909	442
38	1344002	Mocambo	Santa Maria da Vitória	BA	-13.278	-44.559	520
39	1344013	Gatos	Jaborandi	BA	-13.711	-44.633	610
40	1344014	Correntina	Correntina	BA	-13.336	-44.652	566
41	1344015	Colônia do Formoso	Coribe	BA	-13.567	-44.306	447
42	1344016	Arrojado	Correntina	BA	-13.451	-44.566	479
43	1344017	Santa Maria da Vitória	Santa Maria da Vitória	BA	-13.401	-44.198	437
44	1345000	Arrojalândia	Correntina	BA	-13.734	-45.403	679
45	1346006	Fazenda Planalto	Correntina	BA	-13.752	-46.14	947
46	1442031	Urandi	Urandi	BA	-14.76	-42.656	646
47	1443026	Palmas de Monte Alto	Palmas de Monte Alto	BA	-14.259	-43.166	569
48	1444017	Fazenda Porto Alegre	Cocos	BA	-14.268	-44.522	500
GOIÁS (GO)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
49	1546005	Cabeceiras	Cabeceiras	GO	-15.801	-46.925	900
MINAS GERAIS (MG)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
50	1443001	Manga	Manga	MG	-14.757	-43.932	452
51	1444000	São Gonçalo	Montalvânia	MG	-14.314	-44.46	475
52	1444001	Capitânea	Montalvânia	MG	-14.431	-44.482	523
53	1444003	Miravânia	Manga	MG	-14.748	-44.411	-
54	1444004	Juvenília	Montalvânia	MG	-14.266	-44.157	440
55	1444005	Lagoa das Pedras	Montalvânia	MG	-14.281	-44.409	450
56	1445000	Cajueiro	Januária	MG	-14.836	-45.173	700
57	1542016	Serra Branca	Porteirinha	MG	-15.637	-42.944	-
58	1543002	Colônia do Jaíba	Jaíba	MG	-15.341	-43.675	450
59	1543013	Janaúba	Janaúba	MG	-15.776	-43.28	498
60	1544012	São Francisco	São Francisco	MG	-15.949	-44.868	448
61	1544017	Pedras de Maria da Cruz	Januária	MG	-15.598	-44.39	-
62	1544018	Fazenda Canadá	Itacarambi	MG	-15.023	-44.054	-
63	1544019	São João da Ponte	São João da Ponte	MG	-15.93	-44.004	-
64	1544030	Varzelândia	Varzelândia	MG	-15.704	-44.029	-
65	1545002	Serra das Araras	São Francisco	MG	-15.502	-45.39	-
66	1546000	Arinos - Montante	Arinos	MG	-15.918	-46.119	492
67	1644027	Brasília de Minas - Jusante	Brasília de Minas	MG	-16.206	-44.425	-
68	1644028	São João da Vereda	Montes Claros	MG	-16.703	-44.117	-
69	1645000	São Romão	São Romão	MG	-16.372	-45.083	472
70	1645002	Santo Inácio	São Romão	MG	-16.282	-45.414	460
71	1645003	Barra do Escuro	São Romão	MG	-16.269	-45.238	437
72	1645005	Vila Urucuia	São Francisco	MG	-16.134	-45.742	447
73	1645007	Porto Alegre	Santa Fé de Minas	MG	-16.909	-45.379	499

74	1645009	Cachoeira da Manteiga	Buritizeiro	MG	-16.657	-45.081	-
75	1645013	Fazenda Água Branca	Buritizeiro	MG	-16.807	-45.03	-
76	1645019	Fazenda Conceição	São Romão	MG	-16.429	-45.742	-
77	1646000	Porto dos Poções	Dom Bosco	MG	-16.83	-46.322	540
78	1646001	Unai	Unai	MG	-16.351	-46.89	-
79	1646003	Santo Antônio do Boqueirão	Unai	MG	-16.53	-46.721	-
80	1646004	Fazenda O Resfriado	Unai	MG	-16.503	-46.663	-
81	1647008	Fazenda Limeira	Unai	MG	-16.209	-47.233	-
82	1744009	Várzea da Palma	Várzea da Palma	MG	-17.596	-44.701	488
83	1744010	Lassance	Lassance	MG	-17.89	-44.577	536
84	1744030	Estação de Curimataí	Buenópolis	MG	-17.995	-44.177	516
85	1745001	Cachoeira do Paredão	Buritizeiro	MG	-17.111	-45.438	520
86	1745014	Fazenda Santana	João Pinheiro	MG	-17.825	-45.479	-
87	1746001	Porto da Extrema	João Pinheiro	MG	-17.031	-46.014	510
88	1746002	Santa Rosa	Paracatu	MG	-17.255	-46.474	490
89	1746006	Ponte da Br-040 - Prata	João Pinheiro	MG	-17.664	-46.355	-
90	1746007	Ponte da Br-040 - Paracatu	Paracatu	MG	-17.497	-46.582	-
91	1746017	Fazenda Poções	Paracatu	MG	-17.042	-46.818	-
92	1746018	Fazenda Limoeiro	Claro dos Poções	MG	-17.916	-47.011	-
93	1747005	Guarda-Mor	Guarda-Mor	MG	-17.773	-47.099	1.000
94	1843000	Usina Paraúna	Presidente Juscelino	MG	-18.636	-43.966	648
95	1843002	Gouveia	Gouvéia	MG	-18.466	-43.743	1.200
96	1844001	Santo Hipólito	Santo Hipólito	MG	-18.306	-44.226	510
97	1844009	Presidente Juscelino - Jusante	Presidente Juscelino	MG	-18.644	-44.048	633
98	1844010	Ponte do Licínio - Jusante	Presidente Juscelino	MG	-18.671	-44.191	560
99	1844017	Corinto	Corinto	MG	-18.372	-44.444	640
100	1844018	Ponte do Bicudo	Corinto	MG	-18.191	-44.556	569
101	1844019	Morro da Garça	Morro da Garça	MG	-18.542	-44.599	635
102	1845002	Fazenda São Félix	São Gonçalo do Abaeté	MG	-18.464	-45.647	760
103	1845004	Lagoa do Gouvéia	Tiros	MG	-18.841	-45.851	1.035
104	1845013	São Gonçalo do Abaeté	São Gonçalo do Abaeté	MG	-18.344	-45.837	836
105	1845014	Tiros	Tiros	MG	-19	-45.966	1.030
106	1845021	Canoeiros	São Gonçalo do Abaeté	MG	-18.038	-45.524	760
107	1845027	Barra do Rio De Janeiro	Três Marias	MG	-17.958	-45.102	510
108	1846003	Major Porto	Patos de Minas	MG	-18.707	-46.037	672
109	1846015	Vazante	Vazante	MG	-18.005	-46.911	-
110	1846016	Ponte Firme	Presidente Olegário	MG	-18.034	-46.419	-
111	1846023	Lagamar	Lagamar	MG	-18.183	-46.804	-
112	1943004	Jaboticatubas	Jaboticatubas	MG	-19.521	-43.744	716
113	1943006	Sabará	Sabará	MG	-19.893	-43.815	720
114	1943009	Vespasiano	Vespasiano	MG	-19.687	-43.921	676

115	1943010	Caeté	Caeté	MG	-19.903	-43.666	825
116	1943022	Caixa de Areia	Belo Horizonte	MG	-19.945	-43.913	950
117	1943023	Taquaraçu	Taquaraçu de Minas	MG	-19.664	-43.688	710
118	1943024	José de Melo	Nova União (José de Melo)	MG	-19.69	-43.586	825
119	1943035	Vau da Lagoa	Santana Do Riacho	MG	-19.219	-43.588	1.090
120	1943042	Fazenda Caraíbas	Baldirim	MG	-19.12	-43.838	700
121	1943049	Ponte Raul Soares	Lagoa Santa	MG	-19.561	-43.918	652
122	1944004	Ponte Nova do Paraopeba	Juatuba	MG	-19.949	-44.472	721
123	1944007	Fazenda Escola Florestal	Florestal	MG	-19.88	-44.422	745
124	1944009	Pedro Leopoldo	Pedro Leopoldo	MG	-19.634	-44.053	698
125	1944010	Horto Florestal	Paraopeba	MG	-19.268	-44.402	733
126	1944011	Jaguaruna - Jusante	Onça de Pitangui	MG	-19.728	-44.807	685
127	1944020	Pirapama	Santana de Pirapama	MG	-19.013	-44.037	635
128	1944024	Fazenda Vargem Bonita	Jequitibá	MG	-19.237	-44.123	636
129	1944026	Barro Preto	Mateus Leme	MG	-19.964	-44.452	847
130	1944027	Juatuba	Mateus Leme	MG	-19.956	-44.334	716
131	1944031	Ponte da Taquara	Paraopeba	MG	-19.423	-44.548	624
132	1944049	Papagaios	Papagaios	MG	-19.428	-44.72	703
133	1944055	Betim - Copasa	Betim	MG	-19.973	-44.188	822
134	1944059	Fortuna de Minas	Fortuna de Minas	MG	-19.563	-44.447	729
135	1945002	Barra do Funchal	Serra Da Saudade	MG	-19.395	-45.884	720
136	1945004	Estação Álvaro da Silveira	Bom Despacho	MG	-19.752	-45.117	648
137	1945008	Bom Despacho	Bom Despacho	MG	-19.743	-45.255	750
138	1945035	Abaeté	Abaeté	MG	-19.163	-45.443	565
139	1945038	Porto das Andorinhas	Abaeté	MG	-19.279	-45.286	567
140	1945039	Martinho Campos	Martinho Campos	MG	-19.332	-45.228	562
141	1946000	Tapiraí - Jusante	Tapiraí	MG	-19.879	-46.033	670
142	1946009	São Gotardo	São Gotardo	MG	-19.315	-46.044	-
143	2043002	Lagoa Grande (MMV)	Nova Lima	MG	-20.17	-43.94	1.350
144	2043004	Rio do Peixe (MMV)	Nova Lima	MG	-20.138	-43.893	1.097
145	2043013	Congonhas - Linógrafo	Congonhas	MG	-20.522	-43.83	871
146	2043043	Represa do Miguelão (MMV)	Nova Lima	MG	-20.126	-43.95	1.152
147	2043056	Fazenda Água Limpa Jusante	Ouro Preto	MG	-20.303	-43.616	955
148	2043060	Itabirito Linógrafo	Itabirito	MG	-20.288	-43.8	850
149	2044002	Itaúna - Montante	Itaúna	MG	-20.071	-44.57	859
150	2044003	Carmo do Cajuru	Carmo do Cajuru	MG	-20.192	-44.794	746
151	2044008	Melo Franco	Brumadinho	MG	-20.198	-44.121	761
152	2044009	Fazenda Campo Grande	Passa Tempo	MG	-20.625	-44.433	915
153	2044012	Ibirité	Ibirité	MG	-20.043	-44.043	1.073
154	2044016	Fazenda Benedito Chaves	Itatiaiuçu	MG	-20.169	-44.515	944
155	2044019	Fazenda Vista Alegre	Mateus Leme	MG	-20.051	-44.452	913

156	2044020	Calambau	Itaúna	MG	-20.068	-44.492	943
157	2044021	Alto da Boa Vista	Mateus Leme	MG	-20.106	-44.401	905
158	2044024	Fazenda Curralinho	Mateus Leme	MG	-20.008	-44.331	786
159	2044026	Fazenda Coqueiros	Itaúna	MG	-20.13	-44.474	975
160	2044041	Fazenda Laranjeiras - Jusante	Itaúna	MG	-20.102	-44.485	895
161	2044042	Carmo da Mata (ETA - Copasa)	Carmo da Mata	MG	-20.563	-44.868	749
162	2044043	Estiva	Mateus Leme	MG	-20	-44.462	807
163	2044052	Jardim	Mateus Leme	MG	-20.045	-44.408	806
164	2044053	Escola de Veterinária	Mateus Leme	MG	-20.069	-44.345	812
165	2045001	BambuÍ	BambuÍ	MG	-20.021	-45.966	654
166	2045002	Iguatama	Iguatama	MG	-20.179	-45.7	606
167	2045005	Lamounier	Itapecerica	MG	-20.472	-45.036	738
168	2045010	Arcos (Copasa)	Arcos	MG	-20.295	-45.543	791
169	2045011	Lagoa da Prata	Lagoa da Prata	MG	-20.037	-45.535	658
170	2045012	Piumhi	Piumhi	MG	-20.462	-45.945	806
171	2045013	Santo Antônio do Monte	Santo Antônio do Monte	MG	-20.084	-45.297	950
172	2046007	Fazenda Ajudas	BambuÍ	MG	-20.102	-46.055	705
173	2046013	Vargem Bonita	Vargem Bonita	MG	-20.33	-46.366	743
PERNAMBUCO							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
174	737023	Afogados da Ingazeira	Afogados da Ingazeira	PE	-7.739	-37.648	525
175	737027	Flores	Flores	PE	-7.868	-37.973	460
176	837038	Inajá	Inajá	PE	-8.921	-37.831	355
177	838000	Airi (Rochedo)	Floresta	PE	-8.539	-38.193	361
178	838002	Açude Serrinha	Mirandiba	PE	-8.24	-38.528	375
179	838004	Belém de São Francisco	Belém de São Francisco	PE	-8.765	-38.961	305
180	838021	Floresta	Floresta	PE	-8.606	-38.579	317
181	838031	Serra Talhada	Serra Talhada	PE	-8.001	-38.245	435
182	839009	Jacaré	Parnamirim	PE	-8.263	-39.847	390
183	839013	Parnamirim	Parnamirim	PE	-8.092	-39.574	379
184	839014	Poço do Fumo	Parnamirim	PE	-8.178	-39.731	350
185	839031	Ibó	Belém de São Francisco	PE	-8.623	-39.239	300
186	839034	Fazenda Tapera	Orocó	PE	-8.52	-39.641	0
187	840010	Fazenda São Bento	Santa Maria da Boa Vista	PE	-8.616	-39.999	350
188	840015	Lagoa Grande	Santa Maria da Boa Vista	PE	-8.99	-40.27	365
189	937031	Águas Belas	Águas Belas	PE	-9.106	-37.132	376
SERGIPE							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
190	1036048	Propriá	Propriá	SE	-10.215	-36.824	17

Fonte: ANA (2019); Org: Petrucci (2020)

Quadro 8 - Sumário das estações pluviométricas no entorno da bacia do Rio São Francisco (série temporal de 1985-2018)

Postos Pluviométricos no entorno da Bacia do Rio São Francisco (1985-2018)							
ALAGOAS (AL)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	935012	Murici - Ponte	Murici	AL	-9.31	-35.95	82
BAHIA (BA)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
2	1040027	Açude Sohém	Senhor do Bonfim	BA	-10.39	-40.11	474
3	1241032	Guiné	Mucugê	BA	-12.76	-41.53	-
4	1440009	Lucaia	Planalto	BA	-14.74	-40.49	989
5	1140000	Miguel Calmon	Miguel Calmon	BA	-11.43	-40.60	562
6	1138026	Ponte Euclides da Cunha	Tucano	BA	-11.06	-38.84	153
7	1040026	Ponto Novo	Caldeirão Grande	BA	-10.84	-40.11	348
8	1241017	Porto	Lençóis	BA	-12.49	-41.29	355
9	1441000	Santo Antônio	Tanhaçu	BA	-14.09	-41.29	341
CEARÁ (CE)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
10	740011	Campos Sales	Campos Sales	CE	-7.06	-40.36	551
11	739038	Jardim	Jardim	CE	-7.58	-39.28	630
12	739005	Santana do Cariri	Santana do Cariri	CE	-7.18	-39.73	480
13	638008	Umari	Umari	CE	-6.63	-38.70	350
DISTRITO FEDERAL (DF)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
14	1547013	Taquara	Brasília	DF	-15.63	-47.52	1.053
GOIÁS (GO)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
15	1447000	Alto Paraíso de Goiás	Alto Paraíso de Goiás	GO	-14.13	-47.51	1.197
16	1748000	Cristianópolis	Cristianópolis	GO	-17.19	-48.71	829
17	1748004	Marzagão	Marzagão	GO	-17.98	-48.68	633
18	1447002	São João D'Aliança	São João D'Aliança	GO	-14.71	-47.52	1.009
19	1446004	Sítio D'Abadia	Sítio D'Abadia	GO	-14.80	-46.25	767
20	1847006	Três Ranchos	Três Ranchos	GO	-18.36	-47.78	703
21	1647002	UHE Batalha Cristalina	Cristalina	GO	-16.78	-47.60	1.173
MARANHÃO (MA)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
22	945011	Alto Parnaíba	Alto Parnaíba	MA	-9.11	-45.92	271
23	845004	Barra do Fossão	Tasso Fragoso	MA	-8.10	-45.58	-
24	846005	Boa Vista	Alto Parnaíba	MA	-8.77	-46.12	334
MINAS GERAIS (MG)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
25	2145044	Carmo da Cachoeira	Carmo da Cachoeira	MG	-21.46	-45.22	-
26	1946022	Carmo do Paranaíba	Carmo do Paranaíba	MG	-19.00	-46.30	1.067
27	2043059	Colégio Caraça	Santa Bárbara	MG	-20.09	-43.48	1.300
28	1943002	Conceição do Mato Dentro	Conceição do Mato Dentro	MG	-19.01	-43.44	675
29	2143003	Desterro do Melo	Desterro do Melo	MG	-21.15	-43.52	780
30	1642014	Fazenda Jambeiro - Grão Mongol	Grão Mongol	MG	-16.59	-42.91	-
31	1846017	Leal de Patos	Patos de Minas	MG	-18.64	-46.33	-
32	1843003	Mendanha	Diamantina	MG	-18.11	-43.52	803
33	1946010	Pratinha	Pratinha	MG	-19.75	-46.41	-

34	1846005	Presidente Olegário	Presidente Olegário	MG	-18.41	-46.42	-
35	1542015	Rio Pardo de Minas	Rio Pardo de Minas	MG	-15.59	-42.54	782
36	1542014	São João do Paraíso	São João do Paraíso	MG	-15.31	-42.02	765
37	1843011	Serro	Serro	MG	-18.59	-43.41	940
38	1946011	Tapira	Tapira	MG	-19.92	-46.82	-
39	1943027	Usina Peti	São Gonçalo do Rio Abaixo	MG	-19.88	-43.36	1.110
40	1743002	Vila Terra Branca - Jusante	Bocaiúva	MG	-17.31	-43.20	630
PARABÍBA (PB)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
41	737022	Água Branca	Água Branca	PB	-7.51	-37.63	710
42	836000	São João do Tigre	São João do Tigre	PB	-8,08	-36.84	616
43	736000	Taperoá II	Taperoá	PB	-7.22	-36.83	500
PERNAMBUCO (PE)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
44	835106	Caruaru	Caruaru	PE	-8.30	-36.01	545
PIAUI (PI)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
45	844008	Cristino Castro II	Cristino Castro	PI	-8.81	-44.21	262
46	741003	Itainópolis	Itainópolis	PI	-7.44	-41.47	188
47	741009	Santa Cruz do Piauí II	Santa Cruz do Piauí	PI	-7.18	-41.76	175
48	742011	São Francisco do Piauí	São Francisco do Piauí	PI	-7.24	-42.54	152
SERGIPE (SE)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
49	1037078	Capela	Capela	SE	-10.48	-37.06	139
SÃO PAULO (SP)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
50	2146007	Caconde	Caconde	SP	-21.53	-46.63	880
TOCANTINS (TO)							
n	código	Nome Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
51	1246001	Aurora do Norte	Aurora do Tocantins	TO	-12.71	-46.40	464
52	1247000	Conceição do Tocantins	Conceição do Tocantins	TO	-12.23	-47.32	407
53	946003	Lizarda	Lizarda	TO	-9.59	-46.67	620
54	1047002	Porto Gilândia	Monte do Carmo	TO	-10.75	-47.76	220

Fonte: ANA (2019); Org: Petrucci (2020)

Quadro 9 - Sumário das estações pluviométricas extras no interior da bacia do Rio São Francisco (série temporal de 2003-2018)

Postos Pluviométricos extras no interior da Bacia do Rio São Francisco (2003-2018)							
PERNAMBUCO							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)⁸
1	839035	Santa Maria da Boa Vista	Santa Maria da Boa Vista	PE	-8.804	-39.822	-
BAHIA							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
2	839046	Curral de Pedra	Abaré	BA	-8.783	-39.260	-
3	940039	Baixa Grande	Casa Nova	BA	-9.146	-40.964	-

⁸ Observação: não é fornecido nenhum valor de altitude para as estações extras incluídas.

4	941016	Lajeado	Casa Nova	BA	-9.286	-41.525	-
5	1040028	Abreus	Campo Formoso	BA	-10.1	-40.683	-
6	1041013	Ourolândia	Ourolândia	BA	-10.982	-41.088	-
7	1041014	Amaniu	Sento Sé	BA	-10.325	-41.831	-
8	1041015	Delfino	Umburanas	BA	-10.454	-41.206	-
9	1042015	Pilão Arcado	Pilão Arcado	BA	-10.002	-42.474	-
10	1045006	Coaceral	Formosa do Rio Preto	BA	-10.562	-45.695	-
11	1145020	Fazenda Triunfo	Formosa do Rio Preto	BA	-11.460	-45.615	-
12	1242019	Tamburil	Paratinga	BA	-12.668	-42.996	-
13	1244020	Cera	São Desidério	BA	-12.993	-44.806	-
14	1245016	Cabeceira Grande	São Desidério	BA	-12.663	-45.019	-
15	1343025	Urtiga	Riacho de Santana	BA	-13.984	-43.297	-
16	1344025	Sítio Januário	Riacho de Santana	BA	-13.984	-43.297	-
17	1442040	Sebastião Laranjeiras	Sebastião Laranjeiras	BA	-14.561	-42.936	-
MINAS GERAIS							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
18	1443029	Poço Triste	Espinosa	MG	-14.863	-43.085	-
19	1543018	Barreiro do Jaíba	Janaúba	MG	-15.616	-43.583	-
20	1543019	Gemeleiras	Gemeleira	MG	-15.086	-43.119	-
21	1546001	Buritit - Jusante	Buritit	MG	-15.615	-46.415	-

Fonte: ANA (2019); Org: Petrucci (2021)

Quadro 10 - Sumário das estações pluviométricas no entorno da bacia do Rio São Francisco (série temporal de 2003-2018)

Postos Pluviométricos no entorno da Bacia do Rio São Francisco (2003-2018)							
ALAGOAS (AL)							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	935012	Murici - Ponte	Murici	AL	-9.31	-35.95	82
BAHIA (BA)							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
2	1241032	Guiné	Mucugê	BA	-12.766	-41.536	-
3	1140000	Miguel Calmon	Miguel Calmon	BA	-11.432	-40.604	562
4	1040026	Ponto Novo	Caldeirão Grande	BA	-10.844	-40.111	348
5	1040027	Açude Sohém	Senhor do Bonfim	BA	-10.394	-40.114	474
6	1241017	Porto	Lençóis	BA	-12.49	-41.29	355
CEARÁ (CE)							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
7	739038	Jardim	Jardim	CE	-7.583	-39.283	630
8	740011	Campos Sales	Campos Sales	CE	-7.066	-40.366	551
DISTRITO FEDERAL (DF)							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
9	1547013	Taquara	Brasília	DF	-15.632	-47.520	1.053
GOIÁS (GO)							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
10	1446004	Sítio D'Abadia	Sítio D'Abadia	GO	-14.803	-46.253	767

11	1447000	Alto Paraíso de Goiás	Alto Paraíso de Goiás	GO	-14.13	-47.51	1.197
12	1847006	Três Ranchos	Três Ranchos	GO	-18.36	-47.78	703
MINAS GERAIS (MG)							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
13	2043059	Colégio Caraça	Santa Bárbara	MG	-20.096	-43.488	1.300
14	1946011	Tapira	Tapira	MG	-19.926	-46.825	-
15	1943027	Usina Peti	São Gonçalo do Rio Abaixo	MG	-19.880	-43.367	1.110
16	1946010	Pratinha	Pratinha	MG	-19.751	-46.411	-
17	1943002	Conceição do Mato Dentro	Conceição do Mato Dentro	MG	-19.016	-43.444	675
18	1946022	Carmo do Paranaíba	Carmo do Paranaíba	MG	-19.003	-46.306	1.067
19	1846017	Leal de Patos	Patos de Minas	MG	-18.641	-46.334	-
20	1843011	Serro	Serro	MG	-18.592	-43.412	940
21	1846005	Presidente Olegário	Presidente Olegário	MG	-18.412	-46.422	-
22	1843003	Mendanha	Diamantina	MG	-18.113	-43.520	803
23	1542014	São João do Paraíso	São João do Paraíso	MG	-15.316	-42.022	765
24	2143003	Desterro do Melo	Desterro do Melo	MG	-21.15	-43.52	780
25	1743002	Vila Terra Branca - Jusante	Bocaiúva	MG	-17.31	-43.20	630
26	1642014	Fazenda Jambreiro – Grão Mongol	Grão Mongol	MG	-16.59	-42.91	-
PARAÍBA (PB)							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
27	836000	São João do Tigre	São João do Tigre	PB	-8.08	-36.847	616
28	737022	Água Branca	Água Branca	PB	-7.511	-37.636	710
29	736000	Taperoá II	Taperoá	PB	-7.22	-36.83	500
PIAUI (PI)							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
30	844008	Cristino Castro II	Cristino Castro	PI	-8.813	-44.215	262
31	741003	Itainópolis	Itainópolis	PI	-7.44	-41.47	188
SÃO PAULO (SP)							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
32	2146007	Caconde	Caconde	SP	-21.53	-46.63	880
TOCANTINS (TO)							
n	código	Estação	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
33	1246001	Aurora do Norte	Aurora do Tocantins	TO	-12.713	-46.408	464

Fonte: ANA (2019); Org: Petrucci (2021)

Tabela 28 - Coeficientes de Variação (CV) das estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (1985-2018)

n	Estação	CV (%)	n	Estação	CV (%)	n	Estação	CV (%)
1	Afogados da Ingazeira	40,1	65	Palmas de Monte Alto	29,8	129	Jaboticaubas	21,5
2	Flores	40,6	66	São Gonçalo	32,1	130	Sabará	25,9
3	Inajá	45,7	67	Capitânea	33,1	131	Vespasiano	18,3
4	Airi (Rochedo)	47,8	68	Miravania	33,7	132	Caeté	18,5
5	Açude Serrinha	51,4	69	Juvenília	33	133	Caixa de Areia	20,5
6	Belém de São Francisco	50,6	70	Lagoa das Pedras	33,9	134	Taquaraçu	18
7	Floresta	44,1	71	Fazenda Porto Alegre	32,9	135	José de Melo	18,7
8	Serra Talhada	38,3	72	Cajueiro	30,8	136	Vau da Lagoa	19,3
9	Jacaré	45,8	73	Serra Branca	34,6	137	Fazenda Caraíbas	25,3
10	Parnamirim	41,8	74	Colônia do Jaíba	41,7	138	Ponte Raul Soares	22,4
11	Poço do Fumo	42,9	75	Janaúba	33,6	139	Ponte Nova do Paraopeba	19,9
12	Ibó	55,6	76	São Francisco	28,3	140	Fazenda Escola Florestal	20,3
13	Fazenda Tapera	43,4	77	Pedras de Maria da Cruz	30,3	141	Pedro Leopoldo	19,9
14	Fazenda São Bento	47,4	78	Fazenda Canadá	33,3	142	Horto Florestal	18,9
15	Lagoa Grande	51,2	79	São João da Ponte	31	143	Jaguaruna	24,6
16	Traipu	30,7	80	Varzelândia	30,2	144	Pirapama	31,2
17	Delmiro Gouvêia	34,4	81	Serra das Araras	23,8	145	Fazenda Vargem Bonita	23,4
18	Pão de Açúcar	34,3	82	Arinos	23,9	146	Barro Preto	19,8
19	Piranhas	32,6	83	Cabeceiras	26,9	147	Jubatuba	23,6
20	Águas Belas	38,3	84	Brasília de Minas	26,4	148	Ponte da Taquara	21,2
21	Santana do Ipanema	45	85	São João da Vereda	27,3	149	Papagaios	20,6
22	Próximo a Curaça II	57,5	86	São Romão	25,5	150	Betim - COPASA	19,9
23	Campo dos Cavalos	50,3	87	Santo Inácio	27,9	151	Fortuna de Minas	19,7
24	Juazeiro	55,3	88	Barra do Escuro	27,4	152	Barra do Funchal	20
25	Lagoa do Boi	45,2	89	Vila Urucuia	25,7	153	Estação Álvaro da Silveira	22,3
26	Junco	44,6	90	Porto Alegre	34,8	154	Bom Despacho	22,3
27	Penedo	26,6	91	Cachoeira da Manteiga	25,3	155	Abaeté	23,3
28	Piaçabuçu	30,9	92	Fazenda Água Branca	26,9	156	Porto das Andorinhas	22,9
29	Propriá	31,7	93	Fazenda Conceição	25,3	157	Martinho Campos	27,5
30	Rio Verde II	41	94	Porto das Poções	23,2	158	Tapiraí	29,6
31	Fazenda Cabaceiras	33,5	95	Unai	21,5	159	São Gotardo	22,4
32	Fazenda Refrigério	38,3	96	Santo Antônio do Boqueirão	25	160	Lagoa Grande	19,8

33	Morpará	26,4	97	Fazenda o Resfriado	24	161	Rio do Peixe	19,2
34	Boqueirão	27,3	98	Fazenda Limeira	25,3	162	Congonhas	23,9
35	Fazenda Macambira	26,4	99	Várzea da Palma	25,9	163	Represa do Miguelão	18,3
36	São Sebastião	28,3	100	Lassance	23,1	164	Fazenda Água Limpa	23,9
37	Ibipetuba	25,7	101	Estação de Curimataí	30,3	165	Itabirito	19
38	Formosa do Rio Preto	25,9	102	Cachoeira do Paredão	23,7	166	Itaúna	18,8
39	Fazenda Bom Jardim	26	103	Fazenda Santana	24	167	Carmo do Cajuru	17,6
40	Ponte Serafim	27,3	104	Porto da Extrema	24	168	Melo Franco	17,8
41	Nova Vida	25,8	105	Santa Rosa	21,5	169	Fazenda Campo Grande	18,2
42	Cariparé	23	106	Ponte da BR-040 - Prata	20,2	170	Ibirité	17,5
43	Brotas de Macaúbas	26,8	107	Ponte da BR-040 - Paracatu	23,4	171	Fazenda Benedito Chaves	17,1
44	Ponte BR-242	29,6	108	Fazenda Poções	28,2	172	Fazenda Vista Alegre	19,9
45	Gameleira	31,8	109	Fazenda Limoeiro	27	173	Calambau	18,5
46	Iboritama	29,8	110	Guarda-Mor	21,5	174	Alto da Boa Vista	19
47	Serra Dourada	41,6	111	Usina Parauna	22,9	175	Fazenda Curralinho	20,3
48	Fazenda Coqueiro	23,5	112	Gouveia	17,1	176	Fazenda Coqueiros	21,6
49	Fazenda Redenção	24	113	Santo Hipólito	24,7	177	Fazenda Laranjeiras	19,6
50	Decoral	26,8	114	Presidente Juscelino	20	178	Carmo da Mata	18,7
51	Sítio Grande	26,3	115	Ponte do Licínio	21,9	179	Estiva	19,4
52	Fazenda Johá	23,4	116	Corinto	23,2	180	Jardim	20
53	Roda Velha	22,3	117	Ponte do Bicudo	29,1	181	Escola de Veterinária	20,9
54	Porto Novo	30,8	118	Morro da Garça	30,8	182	Bambuí	19,3
55	Mocambo	30,5	119	Fazenda São Félix	23,5	183	Iguatama	19,7
56	Gatos	23,7	120	Lagoa do Gouvêia	19,3	184	Lamounier	17,4
57	Correntina	32,5	121	São Gonçalo do Abaeté	20,5	185	Arcos - COPASA	21,6
58	Colônia do Formoso	32,3	122	Tiros	17,6	186	Lagoa da Prata	20,4
59	Arrojado	29,4	123	Canoeiros	28	187	Piumhi	17,3
60	Santa Maria da Vitória	28,6	124	Barra do Rio de Janeiro	26,2	188	Santo Antônio do Monte	19
61	Arrojalândia	42,2	125	Major Porto	19,7	189	Fazenda Ajudas	17,8
62	Fazenda Planalto	22,2	126	Vazante	21,4	190	Vargem Bonita	19,2
63	Urandi	34,8	127	Ponte Firme	23,5			
64	Manga	30,1	128	Lagamar	36,4			

Fonte: Petrucci (2021)

Quadro 11 – Sumário das ocorrências do Déficit Extremo de Precipitação (DEp) na BHSF, referente às quantidades mensais, maiores durações, recorde por estação e respectivos períodos de ocorrência (1985-2018)

N	Estação	Nº ocorrências mensais	Período	Maior duração (meses)	Início	Término	Mínimo (recorde)	Data de ocorrência
1	Afogados da Ingazeira	24	Jan/17 a Dez/18	24	Jan/17	Dez/18	-2,857	Set e Out/2018
2	Flores	-	-	-	-	-	-	-
3	Inajá	14	Fev/17 a Ago/17; Dez/17 a Jan/18; Jul/18 a Dez/18	7	Fev/17	Ago/17	-2,806	Abr/17
4	Airi (Rochedo)	-	-	-	-	-	-	-
5	Açude Serrinha	26	Mar/15 a Abr/15; Jun/15; Mar/16 a Jan/18	23	Mar/16	Jan/18	-3,033	Fev/17
6	Belém de São Francisco	-	-	-	-	-	-	-
7	Floresta	3	Fev/17 a Mar/17; Mai/17	2	Mar/17	Abr/17	-2,462	Mar/17
8	Serra Talhada	-	-	-	-	-	-	-
9	Jacaré	-	-	-	-	-	-	-
10	Parnamirim	21	Mar/17 a Jan/18; Mar/18 a Dez/18	11	Mar/17	Jan/18	-2,832	Ago e Set/2018
11	Poço do Fumo	21	Abr/17 a Nov/18	21	Abr/17	Nov/18	-2,794	Mar/18
12	Ibó	-	-	-	-	-	-	-
13	Fazenda Tapera	-	-	-	-	-	-	-
14	Fazenda São Bento	18	Mar/17 a Mar/18; Mai/18 a Set/18	13	Mar/17	Mar/18	-2,807	Mar/18
15	Lagoa Grande	-	-	-	-	-	-	-
16	Traipu	4	Ago/93 a Set/93; Abr/94 a Mai/94	2	Ago/94 Abr/94	Set/93 Mai/94	-2,63	Set/93
17	Delmiro Gouvêia	8	Mar/99 a Out/99	8	Mar/99	Out/99	-2,947	Jul/99
18	Pão de Açúcar	-	-	-	-	-	-	-
19	Piranhas	-	-	-	-	-	-	-
20	Águas Belas	4	Jan/17 a Abr/17	4	Jan/17	Abr/17	-2,440	Abr/17
21	Santana do Ipanema	19	Ago/92 a Fev/94	19	Ago/92	Fev/94	-2,889	Set/93
22	Próximo a Curaça II	-	-	-	-	-	-	-
23	Campo dos Cavalos	-	-	-	-	-	-	-
24	Juazeiro	11	Fev/18 a Dez/18	11	Fev/18	Dez/18	-3,03	Dez/18
25	Lagoa do Boi	-	-	-	-	-	-	-
26	Junco	1	Mar/13	1	Mar/13	Mar/13	-2,35	Mar/13
27	Penedo	14	Abr/93 a Mai/94	14	Abr/93	Mai/94	-3,511	Set/93
28	Piaçabuçú	-	-	-	-	-	-	-
29	Propriá	16	Jul/91; Mar/93 a Mai/94	15	Mar/93	Mai/94	-3,078	Set/93
30	Rio Verde II	1	Jan/18	1	Jan/18	Jan/18	-2,563	Jan/18
31	Fazenda Cabaceiras	8	Mar/13 a Out/13	8	Mar/13	Out/13	-2,391	Out/13

32	Fazenda Refrigério	1	Mar/17	1	Mar/17	Mar/17	-2,480	Mar/17
33	Morpará	10	Fev/13 a Nov/13	10	Fev/13	Nov/13	-2,626	Mar/13
34	Boqueirão	-	-	-	-	-	-	-
35	Fazenda Macambira	-	-	-	-	-	-	-
36	São Sebastião	27	Mar/16 a Fev/17; Out/17 a Dez/18	15	Out/17	Dez/18	-3,040	Jan/17
37	Ibipetuba	-	-	-	-	-	-	-
38	Formosa do Rio Preto	14	Abr/16 a Jan/17; Mar/17; Nov/17 a Jan/18	10	Abr/16	Jan/17	-2,921	Jan/18
39	Fazenda Bom Jardim	-	-	-	-	-	-	-
40	Ponte Serafim	10	Mar/03 a Ago/03; Out/03 a Jan/04	6	Mar/03	Ago/03	-3,013	Dez/03
41	Nova Vida	1	Dez/15	1	Dez/15	Dez/15	-2,868	Dez/15
42	Cariparé	9	Nov/94; Abr/16 a Ago/16; Out/16; Dez/16 a Jan/17	5	Abr/16	Ago/16	-3,00	Jan/17
43	Brotas de Macaúbas	2	Jan/88 a Fev/88	2	Jan/88	Fev/88	-2,596	Fev/88
44	Ponte BR-242	-	-	-	-	-	-	-
45	Gameleira	1	Jan/18	1	Jan/18	Jan/18	-2,691	Jan/18
46	Iboritama	-	-	-	-	-	-	-
47	Serra Dourada	-	-	-	-	-	-	-
48	Fazenda Coqueiro	5	Jan/14; Jan/15 a Mar/15; Dez/15	3	Jan/15	Mar/15	-2,489	Fev/15
49	Fazenda Redenção	3	Nov/90 a Jan/91	3	Nov/90	Jan/91	-3,576	Dez/90
50	Decoral	1	Dez/15	1	Dez/15	Dez/15	-2,359	Dez/15
51	Sítio Grande	-	-	-	-	-	-	-
52	Fazenda Johá	25	Dez/16 a Dez/18	25	Dez/16	Dez/18	-3,116	Dez/17
53	Roda Velha	-	-	-	-	-	-	-
54	Porto Novo	5	Abr/86 a Jul/86; Nov/86	4	Abr/86	Jul/86	-2,465	Nov/86
55	Mocambo	28	Abr/16 a Ago/16; Dez/16 a Out/18	23	Dez/16	Out/18	-3,536	Dez/17
56	Gatos	2	Fev/87; Nov/87	1	Fev/87 Nov/87	Fev/87 Nov/87	-2,562	Nov/87
57	Correntina	-	-	-	-	-	-	-
58	Colônia do Formoso	1	Dez/03	1	Dez/03	Dez/03	-2,35	Dez/03
59	Arrojado	21	Dez/15; Mar/17 a Out/18	20	Mar/17	Out/18	-3,212	Jan/18
60	Santa Maria da Vitória	15	Out/17 - Dez/18	15	Out/17	Dez/18	-2,905	Jan/18
61	Arrojalândia	11	Mar/00 -Dez/00; Fev/01	10	Mar/00	Dez/00	-2,658	Nov/00
62	Fazenda Planalto	19	Dez/16 a Mar/17; Set/17 a Out/17; Dez/17 a Dez/18	13	Dez/17	Dez/18	-3,247	Dez/18
63	Urandi	-	-	-	-	-	-	-
64	Manga	12	Nov/17 a Fev/18; Abr/18 a Set/18; Nov/18 a Dez/18	6	Abr/18	Set/18	-3,394	Jan/18

65	Palmas de Monte Alto	13	Dez/15; Jan/17 a Fev/17; Abr/17 a Jan/18	10	Abr/17	Jan/18	-3,067	Dez/17
66	São Gonçalo	14	Dez/87 a Mar/88; Mar/89 a Nov/89; Dez/15	9	Mar/89	Nov/89	-3,091	Fev/88
67	Capitânea	5	Dez/87 a Fev/88; Dez/93; Dez/15	3	Dez/87	Fev/88	-2,64	Fev/88
68	Miravania	12	Jan/17; Mar/17 - Jan/18	11	Mar/17	Jan/18	-3,138	Jan/18
69	Juvenília	5	Dez/87 a Mar/88; Nov/88	4	Dez/87	Mar/88	-2,716	Nov/88
70	Lagoa das Pedras	15	Dez/89 a Fev/91	15	Dez/89	Fev/91	-3,444	Nov/90
71	Fazenda Porto Alegre	4	Dez/87 a Fev/88; Dez/15	3	Dez/87	Fev/88	-3,460	Dez/87
72	Cajueiro	-	-	-	-	-	-	-
73	Serra Branca	-	-	-	-	-	-	-
74	Colônia do Jaíba	8	Dez/15; Jan/17; Mar/17 a Abr/17; Out/17 a Jan/18	4	Out/17	Jan/18	-2,973	Nov/17
75	Janaúba	13	Dez/15; Jan/17 a Nov/17; Jan/18	11	Jan/17	Nov/17	-3,090	Nov/17
76	São Francisco	25	Dez/16 a Dez/18	25	Dez/16	Dez/18	-3,18	Jan/18
77	Pedras Maria da Cruz	6	Jan/95; Dez/15; Jan/17; Nov/17 a Jan/18	3	Nov/17	Jan/18	-2,716	Jan/18
78	Fazenda Canadá	12	Dez/15; Jan/17; Abr/17 a Jan/18	10	Abr/17	Jan/18	-2,791	Nov/17
79	São João da Ponte	25	Dez/16 a Dez/18	25	Dez/16	Dez/18	-3,591	Nov/17
80	Varzelândia	4	Jan/95; Dez/15; Jan/17; Jan/18	1	Jan/95	Jan/95	-2,556	Jan/18
					Dez/15	Dez/15		
					Jan/17	Jan/17		
					Jan/18	Jan/18		
81	Serra das Araras	14	Dez/16 a Jan/18	14	Dez/16	Jan/18	-3,036	Out/17
82	Arinos	23	Dez/15; Mar/17 a Dez/18	22	Mar/17	Dez/18	-3,353	Dez/18
83	Cabeceiras	10	Nov/02 a Dez/02; Abr/17 a Nov/17	8	Abr/17	Nov/17	-2,790	Out/17
84	Brasília de Minas	9	Mar/18 a Out/18; Dez/18	8	Mar/18	Out/18	-2,503	Mai/18
85	São João da Vereda	15	Dez/15; Jan/17; Out/17 a Jan/18; Mar/18 a Set/18; Nov/18 a Dez/18	7	Mar/18	Set/18	-3,318	Jan/18
86	São Romão	22	Dez/15; Mar/17 a Out/18; Dez/18	20	Mar/17	Out/18	-2,937	Jan/18
87	Santo Inácio	10	Dez/15; Jan/18 a Set/18	9	Jan/18	Set/18	-3,091	Mar/18
88	Barra do Escuro	11	Nov/15 a Dez/15; Jan/17 a Abr/17; Set/17 a Jan/18	5	Set/17	Jan/18	-2,987	Dez/15
89	Vila Urucuia	5	Fev/97; Jan/17; Mar/17 a Abr/17; Set/17 a Jan/18	2	Mar/17	Abr/17	-2,552	Abr/17
90	Porto Alegre	19	Mar/89 a Set/89; Jan/18 a Dez/18	12	Jan/18	Dez/18	-3,43	Nov/18
91	Cachoeira da Manteiga	3	Fev/13; Nov/15 a Dez/15	2	Nov/15	Dez/15	-4,017	Dez/15

92	Fazenda Água Branca	24	Dez/15; Fev/17 a Dez/18	23	Fev/17	Dez/18	-3,024	Jan/18
93	Fazenda Conceição	23	Jan/17 a Nov/18	23	Jan/17	Nov/18	-2,974	Jan/18
94	Porto das Poções	3	Nov/02 a Dez/02; Dez/03	2	Nov/02	Dez/02	-2,581	Nov/02
95	Unai	19	Mar/17 a Set/18	19	Mar/17	Set/18	-2,969	Mar/18
96	Santo Antônio do Boqueirão	2	Fev/96 a Mar/96	2	Fev/96	Mar/96	-2,553	Mar/96
97	Fazenda o Resfriado	1	Dez/96 a Dez/96	1	Dez/96	Dez/96	-2,345	Dez/96
98	Fazenda Limeira	-	-	-	-	-	-	-
99	Várzea da Palma	3	Out/15 a Dez/15	3	Out/15	Dez/15	-3,040	Dez/15
100	Lassance	12	Dez/15; Jan/17; Abr/17; Nov/17 a Mar/18; Mai/18 a Jul/18; Dez/18	5	Nov/17	Mar/18	-2,993	Jan/18
101	Estação de Curimataí	12	Fev/97 a Mar/97; Mar/98 a Nov/98; Jan/99	9	Mar/98	Nov/98	-2,509	Mai a Jul/ 98
102	Cachoeira do Paredão	25	Dez/15; Jan/17 a Dez/18	24	Jan/17	Dez/18	-3,035	Mai a Ago/18
103	Fazenda Santana	16	Dez/15; Dez/16 a Fev/18	15	Dez/16	Fev/18	-2,775	Nov/17
104	Porto da Extrema	4	Abr/17; Out/17; Dez/17 a Jan/18	2	Dez/17	Jan/18	-2,545	Jan/18
105	Santa Rosa	20	Mar/17 a Out/18	20	Mar/17	Out/18	-3,179	Jan/18
106	Ponte da BR-040 - Prata	1	Nov/96	1	Nov/96	Nov/96	-2,604	Nov/96
107	Ponte BR-040 - Paracatu	9	Jan/18 a Set/18	9	Jan/18	Set/18	-2,683	Mar/18
108	Fazenda Poções	-	-	-	-	-	-	-
109	Fazenda Limoeiro	10	Jan/17 a Out/17	10	Jan/17	Out/17	-3,181	Abr/17
110	Guarda-Mor	22	Jan/17 a Out/18	22	Jan/17	Out/18	-3,122	Abr/17
111	Usina Parauna	-	-	-	-	-	-	-
112	Gouveia	-	-	-	-	-	-	-
113	Santo Hipólito	4	Abr/89 a Jun/89; Jan/18	3	Abr/89	Jun/89	-2,400	Jan/18
114	Presidente Juscelino	18	Dez/15; Mar/16; Out/16; Jan/17 a Mar/18	15	Jan/17	Mar/18	-2,973	Mar/17
115	Ponte do Licínio	24	Dez/15; Mar/16 a Out/16; Dez/16 a Fev/18	15	Dez/16	Fev/18	-3,113	Nov/17
116	Corinto	30	Dez/15; Fev/16 a Ago/16; Dez/16 a Set/18	22	Dez/16	Set/18	-3,343	Jan/18
117	Ponte do Bicudo	10	Fev/99 a Nov/99	10	Fev/99	Nov/99	-2,659	Out/99
118	Morro da Garça	21	Dez/94 a Nov/95; Fev/96 a Out/96	12	Dez/94	Nov/95	-3,022	Fev/95
119	Fazenda São Félix	23	Nov/15 a Jul/16; Nov/17 a Dez/18	14	Nov/17	Dez/18	-2,731	Dez/15
120	Lagoa do Gouvéia	23	Fev/17 a Dez/18	23	Fev/17	Dez/18	-3,850	Fev/18
121	São Gonçalo do Abaeté	9	Jan/18 a Set/18	9	Jan/18	Set/18	-2,790	Abr/18
122	Tiros	1	Jan/15	1	Jan/15	Jan/15	-2,572	Jan/15
123	Canoeiros	7	Jan/99 a Mar/99; Mai/99 a Ago/99	4	Mai/99	Ago/99	-2,398	Fev/99

124	Barra do Rio de Janeiro	18	Jan/89 a Nov/89; Mar/90 a Jun/90; Nov/90 a Jan/91	11	Jan/89	Nov/89	-3,328	Dez/90
125	Major Porto	11	Dez/17 a Out/18	11	Dez/17	Out/18	-3,162	Jan/18
126	Vazante	12	Fev/94; Jan/96 a Nov/96	11	Jan/96	Nov/96	-2,985	Mar/96
127	Ponte Firme	22	Jan/17 a Out/17	22	Jan/17	Out/17	-2,827	Abr/17
128	Lagamar	-	-	-	-	-	-	-
129	Jaboticaúbas	32	Fev/16 a Out/16; Jan/17; Mar/17 a Dez/18	22	Mar/17	Dez/18	-3,035	Jan/18
130	Sabará	8	Jan/95; Mar/95 a Set/95	7	Mar/95	Set/95	-2,409	Ago/95
131	Vespasiano	32	Jan/15; Dez/15; Mar/16 a Out/16; Jan/17 a Set/18	21	Jan/17	Set/18	-3,004	Jan/18
132	Caeté	-	-	-	-	-	-	-
133	Caixa de Areia	24	Jan/17 a Dez/18	24	Jan/17	Dez/18	-3,180	Jan/18
134	Taquaraçu	15	Jan/15; Dez/15; Fev/17 a Fev/18	13	Fev/17	Fev/18	-3,201	Jan/18
135	José de Melo	15	Dez/15; Jan/17 a Fev/18	14	Jan/17	Fev/18	-3,202	Jan/18
136	Vau da Lagoa	19	Jan/15 a Dez/15; Jun/16 a Ago/16; Nov/17 a Fev/18	12	Jan/15	Dez/15	-3,215	Jan/18
137	Fazenda Carabas	5	Dez/90; Jan/15 a Mar/15; Dez/15	3	Jan/15	Mar/15	-3,264	Dez/90
138	Ponte Raul Soares	4	Jan/15; Dez/15; Mar/16; Jan/18	1	Jan/15	Jan/15	-2,739	Dez/15
					Dez/15	Dez/15		
					Mar/16	Mar/16		
					Jan/18	Jan/18		
139	Ponte Nova do Paraopeba	12	Jan/15 a Out/15; Dez/15; Jan/18	10	Jan/15	Out/15	-2,893	Jan/15
140	Fazenda Escola Florestal	1	Jan/18	1	Jan/18	Jan/18	-2,437	Jan/18
141	Pedro Leopoldo	3	Jan/15; Dez/15; Jan/18	1	Jan/15	Jan/15	-2,648	Dez/15
					Dez/15	Dez/15		
					Jan/18	Jan/18		
142	Horto Florestal	2	Dez/03; Jan/18	1	Dez/03	Dez/03	-2,661	Jan/18
					Jan/18	Jan/18		
143	Jaguaruna	27	Out/16 a Dez/18	27	Out/16	Dez/18	-3,385	Jul/18
144	Pirapama	23	Jan/17 a Set/18; Nov/18 a Dez/18	21	Jan/17	Set/18	-3,184	Jan/18
145	Fazenda Vargem Bonita	21	Mar/17 a Set/18; Nov/18 a Dez/18	19	Mar/17	Set/18	-3,571	Jan/18
146	Barro Preto	34	Jan/15; Dez/15; Mar/16 a Nov/16; Fev/17 a Dez/18	23	Fev/17	Dez/18	-3,065	Jan/18
147	Jubatuba	16	Mai/07 a Ago/08	16	Mai/07	Ago/08	-3,218	Dez/07
148	Ponte da Taquara	21	Jan/95 a Set/95; Nov/95 a Out/96;	12	Nov/95	Out/96	-2,937	Mai e Jun/96
149	Papagaios	1	Jan/18	1	Jan/18	Jan/18	-2,318	Jan/18
150	Betim - COPASA	28	Jan/15 a Fev/15; Dez/15; Fev/16 a Set/16; Jan/17 a Mar/18; Jun/18 a Jul/18	15	Jan/17	Mar/18	-3,207	Jan/18

151	Fortuna de Minas	21	Jan/15; Jan/17 a Ago/18	20	Jan/17	Ago/18	-3,363	Jan/18
152	Barra do Funchal	22	Mar/17 a Dez/18	22	Mar/17	Dez/18	-3,442	Jan/18
153	Estação Álvaro da Silveira	33	Mar/16 a Out/16; Dez/16 a Dez/18	25	Dez/16	Dez/18	-3,381	Jan/18
154	Bom Despacho	24	Jan/17 a Dez/18	24	Jan/17	Dez/18	-3,860	Dez/18
155	Abaeté	23	Fev/17 a Dez/18	23	Fev/17	Dez/18	-3,578	Jan/18
156	Porto das Andorinhas	23	Fev/17 a Dez/18	23	Fev/17	Dez/18	-3,521	Jul/18
157	Martinho Campos	24	Jan/17 a Jan/18	24	Jan/17	Jan/18	-3,091	Jan/18
158	Tapiraí	13	Dez/17 a Dez/18	13	Dez/17	Dez/18	-4,035	Out/18
159	São Gotardo	12	Dez/17 a Out/18; Dez/18	11	Dez/17	Out/18	-2,847	Mai/18
160	Lagoa Grande	20	Jan/17; Mar/17 a Set/18	19	Mar/17	Set/18	-3,288	Jan/18
161	Rio do Peixe	15	Set/17 a Nov/18	15	Set/17	Nov/18	-3,161	Jan/18
162	Congonhas	4	Nov/94 a Fev/95	4	Nov/94	Fev/95	-2,445	Jan/95
163	Represa do Miguelão	22	Mar/17 a Dez/18	22	Mar/17	Dez/18	-3,119	Jan/18
164	Fazenda Água Limpa	-	-	-	-	-	-	-
165	Itabirito	21	Jan/15 a Fev/15; Abr/17 a Mai/17; Ago/17 a Dez/18	17	Ago/17	Dez/18	-3,524	Jan/18
166	Itaúna	32	Abr/16 a Out/16; Dez/16 a Dez/18	25	Dez/16	Dez/18	-3,294	Jul/18
167	Carmo do Cajuru	5	Nov/89; Jan/15; Abr/17 a Mai/17; Set/17	2	Abr/17	Mai/17	-2,955	Nov/89
168	Melo Franco	6	Mar/92 a Ago/92	6	Mar/92	Ago/92	-2,586	Mar/92
169	Fazenda Campo Grande	23	Jan/15; Dez/15; Mar/17 a Out/18; Dez/18	20	Mar/17	Out/18	-2,683	Set/17
170	Ibirité	28	Dez/15; Fev/16 a Set/16; Jan/17 a Jul/18	19	Jan/17	Jul/18	-3,303	Jan/18
171	Fazenda Benedito Chaves	16	Dez/14 a Fev/15; Dez/15; Set/17; Nov/17 a Set/18	11	Nov/17	Set/18	-3,366	Jan/15
172	Fazenda Vista Alegre	24	Jan/17 a Dez/18	24	Jan/17	Dez/18	-3,429	Jan/18
173	Calambau	22	Mar/17 a Dez/18	22	Mar/17	Dez/18	-2,976	Abr/18
174	Alto da Boa Vista	24	Jan/15; Dez/15; Mar/17 a Dez/18	22	Mar/17	Dez/18	-3,080	Jan/18
175	Fazenda Curralinho	28	Mar/16 a Mai/16; Out/16; Jan/17 a Dez/18	24	Jan/17	Jan/18	-3,086	Jan/18
176	Fazenda Coqueiros	25	Dez/15; Jan/17 a Dez/18	24	Jan/17	Dez/18	-3,126	Jul/18
177	Fazenda Laranjeiras	24	Jan/17 a Jan/18	24	Jan/17	Jan/18	-3,434	Jul/18
178	Carmo da Mata	2	Jan/15 a Fev/15	2	Jan/15	Fev/15	-2,862	Jan/15
179	Estiva	22	Mar/17 a Dez/18	22	Mar/17	Dez/18	-3,230	Jul/18
180	Jardim	24	Jan/17 a Dez/18	24	Jan/17	Dez/18	-3,229	Jan/18
181	Escola de Veterinária	24	Jan/17 a Dez/18	24	Jan/17	Dez/18	-3,348	Jan/18
182	Bambuí	19	Jan/17 a Out/17; Dez/17; Mar/18 a Out/18	10	Jan/17	Out/17	-2,915	Jul/18

183	Iguatama	15	Abr/17 a Mai/17; Nov/17 a Out/18; Dez/18	12	Nov/17	Out/18	-3,250	Jul/18
184	Lamounier	22	Jan/15 a Fev/15; Mai/16; Set/16; Jan/17 a Dez/17; Fev/18 a Jul/18	12	Jan/17	Dez/17	-2,797	Set/17
185	Arcos - COPASA	23	Jan/17 a Out/18; Dez/18	22	Jan/17	Out/18	-2,990	Jul/18
186	Lagoa da Prata	8	Dez/90; Jan/17 a Mai/17; Set/17 a Out/17	5	Jan/17	Mai/17	-2,859	Dez/90
187	Piumhi	13	Mar/17 a Abr/17; Set/17; Dez/17 a Set/18	10	Dez/17	Set/18	-3,090	Mai/18
188	Santo Antônio do Monte	15	Jan/15 a Fev/15; Dez/16 a Dez/17	13	Dez/16	Dez/17	-2,889	Set/17
189	Fazenda Ajudas	19	Fev/17 a Out/17; Jan/18 a Out/18	10	Jan/18	Out/18	-2,680	Set/18
190	Vargem Bonita	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Petrucci (2021)

Tabela 29 - Sumário da quantidade dos meses secos e as maiores sequências de meses secos na bacia do rio São Francisco (1985-2018)

N	Nome Estação	Região Fisiográfica	Nº Meses Secos	Maior Sequência
1	Afogados da Ingazeira	SMSF	105	7
2	Flores	SMSF	57	4
3	Inajá	SMSF	50	6
4	Airi (Rochedo)	SMSF	76	5
5	Açude Serrinha	SMSF	87	5
6	Belém de São Francisco	SMSF	96	4
7	Floresta	SMSF	79	4
8	Serra Talhada	SMSF	71	5
9	Jacaré	SMSF	127	6
10	Parnamirim	SMSF	101	5
11	Poço do Fumo	SMSF	71	4
12	Ibó	SMSF	77	5
13	Fazenda Tapera	SMSF	124	5
14	Fazenda São Bento	SMSF	114	6
15	Lagoa Grande	SMSF	154	7
16	Traipu	BSF	39	4
17	Delmiro Gouvêia	SMSF	53	4
18	Pão de Açúcar	BSF	45	3
19	Piranhas	BSF	49	3
20	Águas Belas	BSF	59	4
21	Santana do Ipanema	BSF	53	3
22	Próximo A Curaça II	SMSF	138	9
23	Campo dos Cavalos	SMSF	145	8
24	Juazeiro	SMSF	116	7
25	Lagoa do Boi	SMSF	127	8
26	Junco	SMSF	129	5

27	Penedo	BSF	14	2
28	Piaçabuçú	BSF	19	3
29	Propriá	BSF	43	6
30	Rio Verde II	MSF	177	7
31	Fazenda Cabaceiras	MSF	154	6
32	Fazenda Refrigério – Jusante	MSF	147	6
33	Morpará	MSF	119	6
34	Boqueirão	MSF	121	5
35	Fazenda Macambira	MSF	126	6
36	São Sebastião	MSF	117	6
37	Ibipetuba	MSF	127	6
38	Formosa do Rio Preto	MSF	118	5
39	Fazenda Bom Jardim	MSF	116	6
40	Ponte Serafim – Montante	MSF	109	5
41	Nova Vida – Montante	MSF	113	6
42	Cariparé	MSF	113	5
43	Brotas de Macaúbas	MSF	112	5
44	Ponte Br-242	MSF	169	7
45	Gameleira	MSF	130	6
46	Ibotirama	MSF	141	8
47	Serra Dourada (Faz. Muritiba)	MSF	130	6
48	Fazenda Coqueiro	MSF	110	5
49	Fazenda Redenção	MSF	115	5
50	Derocal	MSF	129	6
51	Sítio Grande	MSF	119	6
52	Fazenda Johá	MSF	108	5
53	Roda Velha	MSF	110	5
54	Porto Novo	MSF	130	6
55	Mocambo	MSF	128	6
56	Gatos	MSF	123	5
57	Correntina	MSF	133	6
58	Colônia do Formoso	MSF	122	5
59	Arrojado	MSF	117	5
60	Santa Maria da Vitória	MSF	119	6
61	Arrojolândia	MSF	116	5
62	Fazenda Planalto	MSF	105	5
63	Urandi	MSF	167	7
64	Manga	MSF	122	6
65	Palmas de Monte Alto	MSF	142	6
66	São Gonçalo	MSF	122	7
67	Capitânea	MSF	128	7
68	Miravania	MSF	124	5
69	Juvenília	MSF	132	7
70	Lagoa das Pedras	MSF	136	7

71	Fazenda Porto Alegre	MSF	129	7
72	Cajueiro	MSF	120	7
73	Serra Branca	MSF	148	6
74	Colônia do Jaíba	MSF	121	6
75	Janaúba	MSF	132	7
76	São Francisco	MSF	97	5
77	Pedras de Maria Da Cruz	MSF	117	6
78	Fazenda Canadá	MSF	145	7
79	São João da Ponte	MSF	130	5
80	Varzelândia	MSF	120	6
81	Serra das Araras	MSF	113	5
82	Arinos – Montante	MSF	97	5
83	Cabeceiras	MSF	84	4
84	Brasília de Minas – Jusante	MSF	101	4
85	São João da Vereda	MSF	100	4
86	São Romão	MSF	111	5
87	Santo Inácio	MSF	111	5
88	Barra do Escuro	MSF	107	5
89	Vila Urucuia	MSF	115	5
90	Porto Alegre	MSF	113	5
91	Cachoeira da Manteiga	MSF	99	5
92	Fazenda Água Branca	MSF	98	5
93	Fazenda Conceição	MSF	91	5
94	Porto dos Poções	MSF	85	4
95	Unai	MSF	95	5
96	Santo Antônio do Boqueirão	MSF	85	4
97	Fazenda O Resfriado	MSF	92	4
98	Fazenda Limeira	MSF	87	4
99	Várzea da Palma	ASF	93	5
100	Lassance	ASF	87	4
101	Estação de Curimatai	ASF	82	4
102	Cachoeira do Paredão	MSF	97	5
103	Fazenda Santana	MSF	76	5
104	Porto da Extrema	MSF	97	5
105	Santa Rosa	MSF	78	5
106	Ponte da Br-040 – Prata	MSF	75	4
107	Ponte da Br-040 – Paracatu	MSF	75	4
108	Fazenda Poções	MSF	94	5
109	Fazenda Limoeiro	MSF	82	4
110	Guarda-Mor	MSF	71	4
111	Usina Parauna	ASF	81	4
112	Gouveia	ASF	58	4
113	Santo Hipólito	ASF	83	5
114	Presidente Juscelino – Jusante	ASF	66	4

115	Ponte do Licínio – Jusante	ASF	78	4
116	Corinto	ASF	89	5
117	Ponte do Bicudo	ASF	91	5
118	Morro da Garça	ASF	83	6
119	Fazenda São Félix	ASF	72	3
120	Lagoa do Gouvêia	ASF	56	3
121	São Gonçalo do Abaeté	ASF	73	4
122	Tiros	ASF	63	3
123	Canoeiros	ASF	82	5
124	Barra do Rio De Janeiro	ASF	86	4
125	Major Porto	ASF	68	3
126	Vazante	MSF	89	4
127	Ponte Firme	MSF	83	5
128	Lagamar	MSF	66	3
129	Jaboticatubas	ASF	56	5
130	Sabará	ASF	67	6
131	Vespasiano	ASF	61	4
132	Caeté	ASF	36	3
133	Caixa de Areia	ASF	40	3
134	Taquaraçu	ASF	61	3
135	José de Melo	ASF	35	5
136	Vau da Lagoa	ASF	35	4
137	Fazenda Caraibas	ASF	74	4
138	Ponte Raul Soares	ASF	69	5
139	Ponte Nova do Paraopeba	ASF	48	3
140	Fazenda Escola Florestal	ASF	50	4
141	Pedro Leopoldo	ASF	56	3
142	Horto Florestal	ASF	68	4
143	Jaguaruna – Jusante	ASF	52	3
144	Pirapama	ASF	65	3
145	Fazenda Vargem Bonita	ASF	65	5
146	Barro Preto	ASF	47	3
147	Juatuba	ASF	51	5
148	Ponte da Taquara	ASF	78	4
149	Papagaios	ASF	66	4
150	Betim – Copasa	ASF	54	4
151	Fortuna de Minas	ASF	51	3
152	Barra do Funchal	ASF	48	3
153	Estação Álvaro da Silveira	ASF	58	3
154	Bom Despacho	ASF	45	3
155	Abaeté	ASF	60	3
156	Porto das Andorinhas	ASF	58	3
157	Martinho Campos	ASF	67	4
158	Tapiraí – Jusante	ASF	50	4

159	São Gotardo	ASF	53	3
160	Lagoa Grande (MMV)	ASF	35	2
161	Rio do Peixe (MMV)	ASF	40	3
162	Congonhas – Linígrafo	ASF	29	2
163	Represa do Miguelão (MMV)	ASF	31	3
164	Fazenda Água Limpa Jusante	ASF	39	3
165	Itabirito Linígrafo	ASF	37	3
166	Itaúna – Montante	ASF	47	3
167	Carmo do Cajuru	ASF	52	4
168	Melo Franco	ASF	52	3
169	Fazenda Campo Grande	ASF	29	2
170	Ibirité	ASF	39	3
171	Fazenda Benedito Chaves	ASF	36	3
172	Fazenda Vista Alegre	ASF	47	3
173	Calambau	ASF	49	3
174	Alto da Boa Vista	ASF	43	3
175	Fazenda Curralinho	ASF	42	3
176	Fazenda Coqueiros	ASF	45	3
177	Fazenda Laranjeiras – Jusante	ASF	44	3
178	Carmo da Mata (ETA – Copasa)	ASF	38	3
179	Estiva	ASF	43	3
180	Jardim	ASF	41	2
181	Escola de Veterinária	ASF	46	3
182	Bambuí	ASF	42	3
183	Iguatama	ASF	42	2
184	Lamounier	ASF	44	3
185	Arcos (Copasa)	ASF	39	2
186	Lagoa da Prata	ASF	40	3
187	Piumhi	ASF	37	2
188	Santo Antônio do Monte	ASF	42	3
189	Fazenda Ajudas	ASF	41	2
190	Vargem Bonita	ASF	35	2

Fonte: Petrucci (2021)

Tabela 30 - Precipitação média anual (mm) para todos os 508 municípios no interior da bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003 e 2018)

ALAGOAS (AL)				
N	Código IBGE	Município	UF	Precipitação média anual (mm)
1	2700102	Água Branca	AL	688,2
2	2700300	Arapiraca	AL	719,8
3	2700706	Batalha	AL	641,5
4	2700904	Belo Monte	AL	638,1
5	2701209	Cacimbinhas	AL	634,7
6	2701506	Campo Grande	AL	756,7

7	2701605	Canapi	AL	542,2
8	2701803	Carneiros	AL	603,5
9	2702306	Coruripe	AL	849,5
10	2702355	Craíbas	AL	668,7
11	2702405	Delmiro Gouveia	AL	498,7
12	2702504	Dois Riachos	AL	618,0
13	2702553	Estrela de Alagoas	AL	633,8
14	2702603	Feira Grande	AL	754,3
15	2702702	Feliz Deserto	AL	928,8
16	2702900	Girau do Ponciano	AL	696,1
17	2703106	Igaci	AL	652,5
18	2703205	Igreja Nova	AL	859,9
19	2703304	Inhapi	AL	531,1
20	2703403	Jacaré dos Homens	AL	617,7
21	2703700	Jaramataia	AL	653,8
22	2704005	Junqueiro	AL	781,3
23	2704104	Lagoa da Canoa	AL	714,3
24	2704203	Limoeiro de Anadia	AL	748,0
25	2704401	Major Isidoro	AL	636,3
26	2704609	Maravilha	AL	575,6
27	2705002	Mata Grande	AL	519,8
28	2705309	Minador do Negrão	AL	626,3
29	2705408	Monteirópolis	AL	606,0
30	2705705	Olho d'Água das Flores	AL	611,9
31	2705804	Olho d'Água do Casado	AL	516,2
32	2705903	Olho d'Água Grande	AL	775,4
33	2706000	Oliveira	AL	619,2
34	2706109	Ouro Branco	AL	565,1
35	2706208	Palestina	AL	607,2
36	2706307	Palmeira dos Índios	AL	640,1
37	2706406	Pão de Açúcar	AL	584,6
38	2706422	Pariconha	AL	498,1
39	2706703	Penedo	AL	919,2
40	2706802	Piaçabuçu	AL	955,2
41	2707107	Piranhas	AL	536,9
42	2707206	Poço das Trincheiras	AL	593,2
43	2707503	Porto Real do Colégio	AL	814,2
44	2708006	Santana do Ipanema	AL	607,0
45	2708204	São Brás	AL	765,3
46	2708402	São José da Tapera	AL	580,0
47	2708808	São Sebastião	AL	789,2
48	2708956	Senador Rui Palmeira	AL	570,7
49	2709152	Teotônio Vilela	AL	815,2
50	2709202	Traipu	AL	688,5

BAHIA (BA)				
N	Código IBGE	Município	UF	Precipitação média anual (mm)
51	2900207	Abaré	BA	427,1
52	2901155	América Dourada	BA	581,3
53	2901403	Angical	BA	919,2
54	2902500	Baianópolis	BA	915,8
55	2902708	Barra	BA	710,6
56	2903003	Barra do Mendes	BA	675,4
57	2903201	Barreiras	BA	1049,3
58	2903235	Barro Alto	BA	653,9
59	2903904	Bom Jesus da Lapa	BA	737,0
60	2904001	Boninal	BA	730,4
61	2904050	Bonito	BA	646,0
62	2904100	Boquira	BA	723,0
63	2904209	Botuporã	BA	715,0
64	2904407	Brejolândia	BA	809,7
65	2904506	Brotas de Macaúbas	BA	703,2
66	2904753	Buritirama	BA	724,8
67	2905206	Caetité	BA	685,9
68	2905305	Cafarnaum	BA	629,0
69	2905909	Campo Alegre de Lourdes	BA	623,6
70	2906006	Campo Formoso	BA	452,8
71	2906105	Canápolis	BA	868,2
72	2906204	Canarana	BA	635,8
73	2906600	Candiba	BA	678,0
74	2907103	Carinhanha	BA	777,1
75	2907202	Casa Nova	BA	437,7
76	2907400	Catolândia	BA	950,0
77	2907558	Caturama	BA	719,6
78	2907608	Central	BA	580,2
79	2907707	Chorrochó	BA	458,5
80	2908101	Cocos	BA	1009,7
81	2909109	Coribe	BA	896,6
82	2909307	Correntina	BA	1061,2
83	2909406	Cotegipe	BA	869,5
84	2909703	Cristópolis	BA	879,7
85	2909901	Curaçá	BA	448,9
86	2900504	Érico Cardoso	BA	720,5
87	2910776	Feira da Mata	BA	842,7
88	2911105	Formosa do Rio Preto	BA	1047,4
89	2911303	Gentio do Ouro	BA	647,6
90	2911402	Glória	BA	479,0
91	2911709	Guanambi	BA	681,1
92	2912400	Ibipeba	BA	639,2

93	2912509	Ibipitanga	BA	722,9
94	2913002	Ibitiara	BA	724,9
95	2913101	Ibititá	BA	621,6
96	2913200	Ibotirama	BA	728,9
97	2913408	Igaporã	BA	685,9
98	2914109	Ipupiara	BA	690,9
99	2914604	Irecê	BA	587,1
100	2915353	Itaguaçu da Bahia	BA	558,9
101	2917334	Iuiu	BA	725,8
102	2917359	Jaborandi	BA	1048,7
103	2917409	Jacaraci	BA	693,3
104	2917508	Jacobina	BA	509,3
105	2917706	Jaguarari	BA	493,2
106	2918100	Jeremoabo	BA	496,2
107	2918357	João Dourado	BA	555,3
108	2918407	Juazeiro	BA	447,1
109	2918506	Jussara	BA	542,2
110	2919157	Lapão	BA	606,5
111	2919405	Licínio de Almeida	BA	673,0
112	2919553	Luis Eduardo Magalhães	BA	1194,7
113	2919801	Macaúbas	BA	723,0
114	2919900	Macururé	BA	460,7
115	2920205	Malhada	BA	739,1
116	2920452	Mansidão	BA	820,8
117	2921054	Matina	BA	688,7
118	2921203	Miguel Calmon	BA	561,3
119	2921401	Mirangaba	BA	487,7
120	2921609	Morpará	BA	715,0
121	2921708	Morro do Chapéu	BA	548,5
122	2922052	Mulungu do Morro	BA	651,3
123	2922250	Muquém do São Francisco	BA	763,1
124	2923035	Novo Horizonte	BA	727,2
125	2923209	Oliveira dos Brejinhos	BA	700,9
126	2923357	Ourolândia	BA	476,3
127	2923407	Palmas de Monte Alto	BA	699,1
128	2923605	Paramirim	BA	716,1
129	2923704	Paratinga	BA	725,8
130	2924009	Paulo Afonso	BA	492,1
131	2924207	Pedro Alexandre	BA	591,7
132	2924306	Piatã	BA	727,5
133	2924405	Pilão Arcado	BA	634,0
134	2924504	Pindaí	BA	671,8
135	2925600	Presidente Dutra	BA	594,0
136	2926004	Remanso	BA	490,3

137	2926202	Riachão das Neves	BA	969,6
138	2926400	Riacho de Santana	BA	702,5
139	2926707	Rio de Contas	BA	723,3
140	2926905	Rio do Pires	BA	721,8
141	2927101	Rodelas	BA	471,0
142	2927606	Santa Brígida	BA	514,5
143	2928109	Santa Maria da Vitória	BA	900,2
144	2928406	Santa Rita de Cássia	BA	875,8
145	2928208	Santana	BA	829,6
146	2928901	São Desidério	BA	1101,0
147	2929057	São Félix do Coribe	BA	833,8
148	2929255	São Gabriel	BA	542,2
149	2929909	Seabra	BA	713,1
150	2930006	Sebastião Laranjeiras	BA	705,5
151	2930204	Sento Sé	BA	473,4
152	2930154	Serra do Ramalho	BA	774,8
153	2930303	Serra Dourada	BA	807,7
154	2930758	Sítio do Mato	BA	761,6
155	2930774	Sobradinho	BA	431,0
156	2930808	Souto Soares	BA	672,2
157	2930907	Tabocas do Brejo Velho	BA	866,7
158	2931053	Tanque Novo	BA	700,0
159	2932002	Uauá	BA	478,9
160	2932408	Uibaí	BA	609,0
161	2932457	Umburanas	BA	469,1
162	2932606	Urandi	BA	685,1
163	2933158	Várzea Nova	BA	516,4
164	2933455	Wanderley	BA	816,2
165	2933604	Xique-Xique	BA	635,4
CEARÁ (CE)				
N	Código IBGE	Município	UF	Precipitação média anual (mm)
166	2304202	Crato	CE	566,0
167	2311959	Salitre	CE	544,0
DISTRITO FEDERAL (DF)				
N	Código IBGE	Município	UF	Precipitação média anual (mm)
168	5300108	Brasília	DF	1322,9
GOIÁS (GO)				
N	Código IBGE	Município	UF	Precipitação média anual (mm)
169	5204003	Cabeceiras	GO	1296,8
170	5206206	Cristalina	GO	1318,9
171	5208004	Formosa	GO	1298,7
MINAS GERAIS (MG)				
N	Código IBGE	Município	UF	Precipitação média anual (mm)
172	3100203	Abaeté	MG	1269,1

173	3103207	Araçaí	MG	1201,7
174	3103801	Arapuá	MG	1440,0
175	3103900	Araújos	MG	1329,3
176	3104205	Arcos	MG	1391,2
177	3104502	Arinos	MG	1111,3
178	3104809	Augusto de Lima	MG	1004,6
179	3105004	Baldim	MG	1252,7
180	3105103	Bambuí	MG	1485,8
181	3106200	Belo Horizonte	MG	1450,4
182	3106408	Belo Vale	MG	1423,1
183	3106705	Betim	MG	1443,2
184	3107000	Biquinhas	MG	1286,2
185	3107307	Bocaiúva	MG	976,9
186	3107406	Bom Despacho	MG	1324,6
187	3108107	Bonfim	MG	1448,6
188	3108206	Bonfinópolis de Minas	MG	1140,3
189	3108255	Bonito de Minas	MG	964,1
190	3108552	Brasilândia de Minas	MG	1116,2
191	3108602	Brasília de Minas	MG	921,5
192	3109006	Brumadinho	MG	1479,3
193	3109204	Buenópolis	MG	1006,4
194	3109303	Buritis	MG	1197,9
195	3109402	Buritzeiro	MG	1067,7
196	3109451	Cabeceira Grande	MG	1294,1
197	3109600	Cachoeira da Prata	MG	1253,5
198	3109907	Caetanópolis	MG	1224,2
199	3110004	Caeté	MG	1441,9
200	3111150	Campo Azul	MG	962,7
201	3111507	Campos Altos	MG	1549,0
202	3112505	Capim Branco	MG	1239,5
203	3112703	Capitão Enéas	MG	855,3
204	3112802	Capitólio	MG	1481,3
205	3114006	Carmo da Mata	MG	1394,4
206	3114204	Carmo do Cajuru	MG	1384,4
207	3114303	Carmo do Paranaíba	MG	1408,2
208	3114501	Carmópolis de Minas	MG	1410,2
209	3114907	Casa Grande	MG	1481,3
210	3115474	Catuti	MG	711,5
211	3115607	Cedro do Abaeté	MG	1355,6
212	3116159	Chapada Gaúcha	MG	1057,3
213	3116506	Claro dos Poções	MG	961,8
214	3116605	Cláudio	MG	1385,8
215	3117504	Conceição do Mato Dentro	MG	1207,8
216	3117603	Conceição do Pará	MG	1280,7

217	3117836	Cônego Marinho	MG	910,2
218	3117876	Confins	MG	1258,1
219	3118007	Congonhas	MG	1410,9
220	3118106	Congonhas do Norte	MG	1234,8
221	3118304	Conselheiro Lafaiete	MG	1442,2
222	3118601	Contagem	MG	1429,6
223	3118809	Coração de Jesus	MG	944,6
224	3118908	Cordisburgo	MG	1190,2
225	3119104	Corinto	MG	1043,2
226	3119807	Córrego Danta	MG	1516,5
227	3119955	Córrego Fundo	MG	1386,0
228	3120409	Cristiano Ottoni	MG	1481,3
229	3120607	Crucilândia	MG	1411,7
230	3120904	Curvelo	MG	1120,9
231	3121001	Datas	MG	1185,2
232	3121407	Desterro de Entre Rios	MG	1421,1
233	3121605	Diamantina	MG	1063,4
234	3122306	Divinópolis	MG	1342,6
235	3122470	Dom Bosco	MG	1167,9
236	3123205	Dores do Indaiá	MG	1359,3
237	3123403	Doresópolis	MG	1444,1
238	3123809	Engenheiro Navarro	MG	974,3
239	3123908	Entre Rios de Minas	MG	1434,2
240	3124104	Esmeraldas	MG	1325,0
241	3124302	Espinosa	MG	703,2
242	3124708	Estrela do Indaiá	MG	1450,3
243	3125705	Felixlândia	MG	1141,1
244	3126000	Florestal	MG	1385,6
245	3126109	Formiga	MG	1391,7
246	3126208	Formoso	MG	1145,9
247	3126406	Fortuna de Minas	MG	1268,3
248	3126604	Francisco Dumont	MG	989,3
249	3126703	Francisco Sá	MG	875,3
250	3127206	Funilândia	MG	1215,4
251	3127339	Gameleiras	MG	719,9
252	3127354	Glaucilândia	MG	935,0
253	3127602	Gouveia	MG	1127,9
254	3128253	Guaraciama	MG	947,0
255	3128600	Guarda-Mor	MG	1397,0
256	3129608	Ibiaí	MG	985,2
257	3129657	Ibiracatu	MG	871,3
258	3129806	Ibirité	MG	1532,0
259	3130051	Icaraí de Minas	MG	961,0
260	3130101	Igarapé	MG	1404,7

261	3130200	Igaratinga	MG	1362,4
262	3130309	Iguatama	MG	1427,2
263	3131000	Inhaúma	MG	1246,2
264	3131109	Inimutaba	MG	1086,3
265	3131901	Itabirito	MG	1475,8
266	3132107	Itacarambi	MG	824,2
267	3132206	Itaguara	MG	1414,0
268	3133501	Itapecerica	MG	1377,9
269	3133709	Itatiaiuçu	MG	1413,5
270	3133808	Itaúna	MG	1400,8
271	3133907	Itaverava	MG	1448,0
272	3134608	Jaboticatubas	MG	1282,8
273	3135050	Jaíba	MG	765,3
274	3135100	Janaúba	MG	781,8
275	3135209	Januária	MG	959,1
276	3135308	Japaraíba	MG	1407,1
277	3135357	Japonvar	MG	896,8
278	3135407	Jeceaba	MG	1412,1
279	3135605	Jequitaiá	MG	976,9
280	3135704	Jequitibá	MG	1221,3
281	3136306	João Pinheiro	MG	1201,1
282	3136405	Joaquim Felício	MG	994,4
283	3136652	Juatuba	MG	1393,8
284	3136801	Juramento	MG	926,9
285	3136959	Juvenília	MG	802,3
286	3137106	Lagamar	MG	1408,8
287	3137205	Lagoa da Prata	MG	1414,0
288	3137304	Lagoa dos Patos	MG	987,5
289	3137403	Lagoa Dourada	MG	1457,2
290	3137502	Lagoa Formosa	MG	1398,9
291	3137536	Lagoa Grande	MG	446,6
292	3137601	Lagoa Santa	MG	1258,3
293	3138104	Lassance	MG	1041,5
294	3138302	Leandro Ferreira	MG	1267,1
295	3138658	Lontra	MG	886,8
296	3138682	Luislândia	MG	932,4
297	3138807	Luz	MG	1440,3
298	3139250	Mamonas	MG	702,2
299	3139300	Manga	MG	806,5
300	3139706	Maravilhas	MG	1248,8
301	3140159	Mário Campos	MG	1483,0
302	3140506	Martinho Campos	MG	1253,8
303	3140704	Mateus Leme	MG	1406,1
304	3140852	Matias Cardoso	MG	761,7

305	3141009	Mato Verde	MG	710,3
306	3141108	Matozinhos	MG	1237,2
307	3141207	Matutina	MG	1442,8
308	3141306	Medeiros	MG	1562,3
309	3142007	Mirabela	MG	903,5
310	3142254	Miravânia	MG	880,1
311	3142304	Moeda	MG	1441,6
312	3142403	Moema	MG	1374,8
313	3142502	Monjolos	MG	1056,3
314	3142700	Montalvânia	MG	880,7
315	3142908	Monte Azul	MG	706,9
316	3143302	Montes Claros	MG	925,2
317	3143500	Morada Nova de Minas	MG	1229,5
318	3143609	Morro da Garça	MG	1087,6
319	3144375	Natalândia	MG	1201,2
320	3144805	Nova Lima	MG	1514,4
321	3145059	Nova Porteirinha	MG	754,0
322	3145208	Nova Serrana	MG	1300,5
323	3136603	Nova União	MG	1.357
324	3145455	Olhos-d'Água	MG	976,7
325	3145604	Oliveira	MG	1412,0
326	3145802	Onça de Pitangui	MG	1280,7
327	3145901	Ouro Branco	MG	1426,5
328	3146107	Ouro Preto	MG	1443,3
329	3146552	Pai Pedro	MG	719,4
330	3146404	Paineiras	MG	1298,7
331	3146503	Pains	MG	1410,5
332	3146909	Papagaios	MG	1227,5
333	3147105	Pará de Minas	MG	1.334,0
334	3147006	Paracatu	MG	1304,6
335	3147402	Paraopeba	MG	1215,3
336	3147709	Passa Tempo	MG	1408,6
337	3147956	Patis	MG	887,5
338	3148004	Patos de Minas	MG	1372,2
339	3148905	Pedra do Indaiá	MG	1368,9
340	3149150	Pedras de Maria da Cruz	MG	880,0
341	3149309	Pedro Leopoldo	MG	1273,1
342	3149606	Pequi	MG	1273,4
343	3149705	Perdigão	MG	1326,2
344	3150406	Piedade dos Gerais	MG	1426,4
345	3150505	Pimenta	MG	1429,3
346	3150570	Pintópolis	MG	997,6
347	3150604	Piracema	MG	1410,6
348	3151206	Pirapora	MG	1031,2

349	3151404	Pitangui	MG	1249,2
350	3151503	Piumhi	MG	1486,1
351	3152006	Pompéu	MG	1199,9
352	3152131	Ponto Chique	MG	988,5
353	3152204	Porteirinha	MG	742,9
354	3153004	Pratinha	MG	1556,4
355	3153202	Presidente Juscelino	MG	1119,8
356	3153301	Presidente Kubitschek	MG	1224,8
357	3153400	Presidente Olegário	MG	1365,0
358	3153608	Prudente de Moraes	MG	1212,2
359	3153707	Quartel Geral	MG	1347,3
360	3153806	Queluzito	MG	1457,3
361	3153905	Raposos	MG	1514,7
362	3154200	Resende Costa	MG	1422,8
363	3154457	Riachinho	MG	1093,2
364	3154507	Riacho dos Machados	MG	791,3
365	3154606	Ribeirão das Neves	MG	1353,7
366	3154804	Rio Acima	MG	1532,6
367	3155306	Rio Manso	MG	1394,2
368	3155504	Rio Paranaíba	MG	1460,7
369	3156700	Sabará	MG	1429,4
370	3157609	Santa Fé de Minas	MG	1051,6
371	3157807	Santa Luzia	MG	1334,4
372	3159704	Santa Rosa da Serra	MG	1495,6
373	3158508	Santana de Pirapama	MG	1204,7
374	3159001	Santana do Riacho	MG	1308,2
375	3160405	Santo Antônio do Monte	MG	1369,0
376	3160603	Santo Hipólito	MG	1034,0
377	3160900	São Brás do Suaçuí	MG	1420,8
378	3161106	São Francisco	MG	822,3
379	3161205	São Francisco de Paula	MG	1389,9
380	3161700	São Gonçalo do Abaeté	MG	1214,4
381	3161809	São Gonçalo do Pará	MG	1327,7
382	3162104	São Gotardo	MG	1462,8
383	3162252	São João da Lagoa	MG	958,6
384	3162401	São João da Ponte	MG	855,6
385	3162450	São João das Missões	MG	833,9
386	3162658	São João do Pacuí	MG	948,5
387	3162922	São Joaquim de Bicas	MG	1416,0
388	3162955	São José da Lapa	MG	1271,5
389	3163102	São José da Varginha	MG	1302,9
390	3164209	São Romão	MG	1019,5
391	3164308	São Roque de Minas	MG	1574,3
392	3164605	São Sebastião do Oeste	MG	1358,3

393	3165537	Sarzedo	MG	1513,5
394	3166600	Serra da Saudade	MG	1419,1
395	3166956	Serranópolis de Minas	MG	749,9
396	3167202	Sete Lagoas	MG	1224,2
397	3168200	Tapiraí	MG	1547,5
398	3168309	Taquaraçu de Minas	MG	1327,0
399	3168903	Tiros	MG	1365,4
400	3169356	Três Marias	MG	1124,2
401	3170008	Ubaí	MG	956,9
402	3170404	Unaí	MG	1240,8
403	3170479	Uruana de Minas	MG	1150,1
404	3170529	Urucuia	MG	1041,9
405	3170602	Vargem Bonita	MG	1560,5
406	3170750	Varjão de Minas	MG	1335,5
407	3170800	Várzea da Palma	MG	1020,2
408	3170909	Varzelândia	MG	832,6
409	3171006	Vazante	MG	1382,3
410	3171030	Verdelândia	MG	780,6
411	3171204	Vespasiano	MG	1302,2
PERNAMBUCO (PE)				
N	Código IBGE	Município	UF	Precipitação média anual (mm)
412	2600104	Afogados da Ingazeira	PE	670,6
413	2600203	Afrânio	PE	431,6
414	2600500	Águas Belas	PE	574,2
415	2600609	Alagoinha	PE	555,0
416	2601102	Araripina	PE	538,3
417	2601201	Arcoverde	PE	573,3
418	2601607	Belém do São Francisco	PE	466,3
419	2601805	Betânia	PE	587,0
420	2602001	Bodocó	PE	529,8
421	2602100	Bom Conselho	PE	595,6
422	2602506	Brejinho	PE	628,0
423	2602803	Buíque	PE	573,0
424	2603009	Cabrobó	PE	484,7
425	2603207	Caetés	PE	548,9
426	2603405	Calumbi	PE	627,0
427	2603900	Carnaíba	PE	665,4
428	2603926	Carnaubeira da Penha	PE	507,9
429	2604304	Cedro	PE	570,3
430	2605103	Custódia	PE	608,1
431	2605152	Dormentes	PE	428,6
432	2605301	Exu	PE	534,6
433	2605608	Flores	PE	639,9
434	2605707	Floresta	PE	521,0

435	2606309	Granito	PE	539,6
436	2606507	Iati	PE	588,9
437	2606606	Ibimirim	PE	564,8
438	2606903	Iguaracy	PE	634,4
439	2607000	Inajá	PE	526,8
440	2607109	Ingazeira	PE	645,6
441	2607307	Ipubi	PE	543,1
442	2607406	Itacuruba	PE	474,1
443	2607505	Itaíba	PE	563,1
444	2607703	Itapetim	PE	612,6
445	2608057	Jatobá	PE	482,5
446	2608750	Lagoa Grande	PE	1307,6
447	2609154	Manari	PE	541,8
448	2609303	Mirandiba	PE	541,6
449	2614303	Moreilândia	PE	560,7
450	2609808	Orocó	PE	472,9
451	2609907	Ouricuri	PE	512,9
452	2610301	Paranatama	PE	564,3
453	2610400	Parnamirim	PE	507,3
454	2610806	Pedra	PE	548,1
455	2610905	Pesqueira	PE	554,7
456	2611002	Petrolândia	PE	492,0
457	2611101	Petrolina	PE	428,9
458	2611533	Quixaba	PE	671,1
459	2612208	Salgueiro	PE	530,0
460	2612307	Saloá	PE	570,6
461	2612455	Santa Cruz	PE	460,8
462	2612471	Santa Cruz da Baixa Verde	PE	637,3
463	2612554	Santa Filomena	PE	475,3
464	2612604	Santa Maria da Boa Vista	PE	456,0
465	2612802	Santa Terezinha	PE	644,9
466	2613503	São José do Belmonte	PE	574,4
467	2613602	São José do Egito	PE	630,5
468	2613909	Serra Talhada	PE	593,5
469	2614006	Serrita	PE	550,5
470	2614105	Sertânia	PE	598,8
471	2614402	Solidão	PE	688,0
472	2614600	Tabira	PE	666,5
473	2614808	Tacaratu	PE	502,8
474	2615201	Terra Nova	PE	517,8
475	2615607	Trindade	PE	541,2
476	2615706	Triunfo	PE	645,8
477	2615805	Tupanatinga	PE	573,0
478	2615904	Tuparetama	PE	626,4

479	2616001	Venturosa	PE	551,9
480	2616100	Verdejante	PE	549,3
SERGIPE (SE)				
N	Código IBGE	Município	UF	Precipitação média anual (mm)
481	2800100	Amparo do São Francisco	SE	764,1
482	2800209	Aquidabã	SE	741,0
483	2800704	Brejo Grande	SE	947,0
484	2801108	Canhoba	SE	728,9
485	2801207	Canindé de São Francisco	SE	536,2
486	2801306	Capela	SE	772,0
487	2801603	Cedro de São João	SE	793,3
488	2802205	Feira Nova	SE	677,4
489	2802403	Gararu	SE	663,7
490	2802601	Gracho Cardoso	SE	688,4
491	2802700	Ilha das Flores	SE	950,5
492	2803104	Itabi	SE	689,0
493	2803302	Japarutuba	SE	845,0
494	2803401	Japoatã	SE	867,5
495	2803807	Malhada dos Bois	SE	791,5
496	2804201	Monte Alegre de Sergipe	SE	627,9
497	2804300	Muribeca	SE	788,5
498	2804409	Neópolis	SE	913,5
499	2804508	Nossa Senhora da Glória	SE	642,4
500	2804706	Nossa Senhora de Lourdes	SE	712,3
501	2804904	Pacatuba	SE	903,8
502	2805307	Pirambu	SE	863,2
503	2805406	Poço Redondo	SE	582,6
504	2805604	Porto da Folha	SE	618,6
505	2805703	Propriá	SE	842,3
506	2806404	Santana do São Francisco	SE	939,5
507	2806909	São Francisco	SE	957,9
508	2807303	Telha	SE	781,0

Fonte: Petrucci (2021)

Tabela 31 - Coeficientes de Variação (CV) das estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio São Francisco (2003-2018)

n	Estação	CV (%)	n	Estação	CV (%)	n	Estação	CV (%)
1	Afogados da Ingazeira	50,2	71	Fazenda Porto Alegre	29,1	141	Pedro Leopoldo	21,6
2	Flores	35,5	72	Cajueiro	26,1	142	Horto Florestal	18,5
3	Inajá	42,7	73	Serra Branca	33,3	143	Jaguaruna	27,1
4	Airi (Rochedo)	40,6	74	Colônia do Jaíba	32,9	144	Pirapama	26,4
5	Açude Serrinha	55,4	75	Janaúba	27,5	145	Fazenda Vargem Bonita	22,3
6	Belém de São Francisco	44,6	76	São Francisco	29,7	146	Barro Preto	18,4

7	Floresta	39,8	77	Pedras Maria da Cruz	27,6	147	Jubatuba	28,8
8	Serra Talhada	28,6	78	Fazenda Canadá	27,9	148	Ponte da Taquara	18,7
9	Jacaré	36,5	79	São João da Ponte	29,8	149	Papagaios	20,8
10	Parnamirim	37,2	80	Varzelândia	27,6	150	Betim - COPASA	24,2
11	Poço do Fumo	35,3	81	Serra das Araras	24,1	151	Fortuna de Minas	19,5
12	Ibó	44,3	82	Arinos	26,9	152	Barra do Funchal	24,3
13	Fazenda Tapera	41,4	83	Cabeceiras	27,6	153	Estação Álvaro da Silveira	27,0
14	Fazenda São Bento	43,0	84	Brasília de Minas	25,6	154	Bom Despacho	29,6
15	Lagoa Grande	46,5	85	São João da Vereda	28,6	155	Abaeté	28,5
16	Traipu	29,1	86	São Romão	26,3	156	Porto das Andorinhas	26,1
17	Delmiro Goivéia	34,8	87	Santo Inácio	28,9	157	Martinho Campos	30,5
18	Pão de Açúcar	29,0	88	Barra do Escuro	27,3	158	Tapiraí	21,4
19	Piranhas	30,4	89	Soma de Vila Urucuia	22,4	159	São Gotardo	23,7
20	Águas Belas	38,5	90	Porto Alegre	28,2	160	Lagoa Grande	25,0
21	Santana do Ipanema	42,2	91	Cachoeira da Manteiga	31,0	161	Rio do Peixe	23,9
22	Próximo a Curaça II	48,5	92	Fazenda Água Branca	27,4	162	Congonhas	25,7
23	Campo dos Cavalos	49,0	93	Fazenda Conceição	25,0	163	Represa do Miguelão	23,0
24	Juazeiro	66,3	94	Porto das Poções	23,1	164	Fazenda Água Limpa	20,8
25	Lagoa do Boi	44,5	95	Unáí	18,7	165	Itabirito	21,8
26	Junco	44,6	96	Santo Antônio do Boqueirão	20,7	166	Itaúna	23,5
27	Penedo	24,5	97	Fazenda o Resfriado	21,2	167	Carmo do Cajuru	17,5
28	Piaçabuçú	22,8	98	Fazenda Limeira	24,2	168	Melo Franco	19,5
29	Propriá	25,2	99	Várzea da Palma	27,8	169	Fazenda Campo Grande	20,5
30	Rio Verde II	32,7	100	Lassance	25,3	170	Ibirité	21,7
31	Fazenda Cabaceiras	29,4	101	Estação de Curimataí	28,8	171	Fazenda Benedito Chaves	17,7
32	Fazenda Refrigério	31,1	102	Cachoeira do Paredão	25,3	172	Fazenda Vista Alegre	22,3
33	Morpará	24,4	103	Fazenda Santana	27,4	173	Calambau	19,9
34	Boqueirão	26,7	104	Porto da Extrema	22,7	174	Alto da Boa Vista	20,8
35	Fazenda Macambira	25,3	105	Santa Rosa	21,0	175	Fazenda Curralinho	22,3
36	São Sebastião	28,9	106	Ponte da BR-040 - Prata	20,2	176	Fazenda Coqueiros	24,5
37	Ibipetuba	21,9	107	Ponte BR-040 - Paracatu	22,7	177	Fazenda Laranjeiras	22,7
38	Formosa do Rio Preto	21,5	108	Fazenda Poções	22,3	178	Carmo da Mata	20,6

39	Fazenda Bom Jardim	24,0	109	Fazenda Limoeiro	23,5	179	Estiva	20,6
40	Ponte Serafim	22,4	110	Guarda-Mor	22,4	180	Jardim	21,2
41	Nova Vida	24,2	111	Usina Parauna	24,5	181	Escola de Veterinária	22,8
42	Cariparé	20,0	112	Gouveia	19,6	182	BambuÍ	22,5
43	Brotas de Macaúbas	23,7	113	Santo Hipólito	25,7	183	Iguatama	20,7
44	Ponte BR-242	25,0	114	Presidente Juscelino	24,0	184	Lamounier	21,0
45	Gameleira	32,0	115	Ponte do Licínio	25,0	185	Arcos - COPASA	24,4
46	Iboritama	30,7	116	Corinto	24,2	186	Lagoa da Prata	19,7
47	Serra Dourada	27,7	117	Ponte do Bicudo	30,9	187	Piumhi	18,1
48	Fazenda Coqueiro	19,2	118	Morro da Garça	26,0	188	Santo Antônio do Monte	20,1
49	Fazenda Redenção	19,8	119	Fazenda São Félix	28,2	189	Fazenda Ajudas	18,9
50	Decoral	24,2	120	Lagoa do Gouvéia	24,0	190	Vargem Bonita	18,1
51	Sítio Grande	22,0	121	São Gonçalo do Abaeté	19,7	191	Santa Maria da Boa Vista	48,1
52	Fazenda Johá	27,0	122	Tiros	18,1	192	Curral de Pedra	78,7
53	Roda Velha	19,2	123	Canoeiros	24,8	193	Baixa Grande	38,7
54	Porto Novo	28,1	124	Barra do Rio de Janeiro	26,4	194	Lajedo	45,6
55	Mocambo	33,3	125	Major Porto	20,0	195	Abreus	46,4
56	Gatos	23,2	126	Vazante	18,9	196	Ourolândia	37,5
57	Correntina	23,3	127	Ponte Firme	25,2	197	Amaniu	33,3
58	Colônia do Formoso	27,3	128	Lagamar	19,1	198	Delfino	36,3
59	Arrojado	28,6	129	Jaboticaúbas	25,4	199	Pilão Arcado	32,8
60	Santa Maria da Vitória	29,7	130	Sabará	21,7	200	Coaceral	20,0
61	Arrojolândia	28,2	131	Vespasiano	21,2	201	Fazenda Triunfo	18,3
62	Fazenda Planalto	25,5	132	Caeté	21,9	202	Tamburil	23,9
63	Urandi	35,2	133	Caixa de Areia	24,4	203	Cera	28,5
64	Manga	25,6	134	Taquaraçu	20,4	204	Cabeceira Grande	25,5
65	Palmas de Monte Alto	24,7	135	José de Melo	19,4	205	Urtiga	31,6
66	São Gonçalo	30,6	136	Vau da Lagoa	21,8	206	Sítio Januário	30,4
67	Capitânea	29,7	137	Fazenda Caraíbas	22,6	207	Sebastião Laranjeiras	31,2
68	Miravania	28,2	138	Ponte Raul Soares	21,2	208	Poço Triste	29,3
69	Juvenília	28,6	139	Ponte Nova do Paraopeba	22,9	209	Barreiro do jaíba	33,0
70	Lagoa das Pedras	30,5	140	Fazenda Escola Florestal	21,1	210	Gameleiras	30,9
						211	Buritis - Jusante	25,9

Fonte: Petrucci (2021)

Quadro 12 – Sumário das ocorrências do Déficit Extremo de Precipitação (Dep) na BHSF, referente às quantidades mensais, maiores durações, recorde por estação e respectivos períodos de ocorrência (2003-2018)

N	Estação	Nº ocorrências mensais	Período	Maior duração (meses)	Início	Término	Mínimo (recorde)	Data de Ocorrência
1	Afogados da Ingazeira	-	-	-	-	-	-	-
2	Flores	-	-	-	-	-	-	-
3	Inajá	-	-	-	-	-	-	-
4	Airi (Rochedo)	-	-	-	-	-	-	-
5	Açude Serrinha	-	-	-	-	-	-	-
6	Belém de São Francisco	-	-	-	-	-	-	-
7	Floresta	-	-	-	-	-	-	-
8	Serra Talhada	-	-	-	-	-	-	-
9	Jacaré	-	-	-	-	-	-	-
10	Parnamirim	-	-	-	-	-	-	-
11	Poço do Fumo	-	-	-	-	-	-	-
12	Ibó	-	-	-	-	-	-	-
13	Fazenda Tapera	-	-	-	-	-	-	-
14	Fazenda São Bento	-	-	-	-	-	-	-
15	Lagoa Grande	-	-	-	-	-	-	-
16	Traipu	1	mar/17	1	mar/17	mar/17	-2,377	mar/17
17	Delmiro Goivéia	-	-	-	-	-	-	-
18	Pão de Açúcar	-	-	-	-	-	-	-
19	Piranhas	-	-	-	-	-	-	-
20	Águas Belas	-	-	-	-	-	-	-
21	Santana do Ipanema	-	-	-	-	-	-	-
22	Próximo a Curaça II	-	-	-	-	-	-	-
23	Campo dos Cavalos	-	-	-	-	-	-	-
24	Juazeiro	-	-	-	-	-	-	-
25	Lagoa do Boi	-	-	-	-	-	-	-
26	Junco	-	-	-	-	-	-	-
27	Penedo	7	jan-abr/17; out-dez/18	4	jan/17	abr/17	-2,739	abr/17
28	Piaçabuçú	2	mar/17; abr/17	2	mar/17	abr/17	-2,378	mar/17
29	Propriá	2	mar/17; abr/17	2	mar/17	abr/17	-2,452	mar/17
30	Rio Verde II	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,341	jan/18
31	Fazenda Cabaceiras	-	-	-	-	-	-	-
32	Fazenda Refrigério	1	mar/17	1	mar/17	mar/17	-2,414	mar/17
33	Morpará	1	mar/13	1	mar/13	mar/13	-2,306	mar/13
34	Boqueirão	-	-	-	-	-	-	-
35	Fazenda Macambira	-	-	-	-	-	-	-
36	São Sebastião	-	-	-	-	-	-	-
37	Ibipetuba	-	-	-	-	-	-	-
38	Formosa do Rio Preto	-	-	-	-	-	-	-

39	Fazenda Bom Jardim	1	fev/10	1	fev/10	fev/10	-2,395	fev/10
40	Ponte Serafim	-	-	-	-	-	-	-
41	Nova Vida	-	-	-	-	-	-	-
42	Cariparé	11	mar/16 – jan/17	11	mar/16	jan/17	-3,025	jan/17
43	Brotas de Macaúbas	-	-	-	-	-	-	-
44	Ponte BR-243	-	-	-	-	-	-	-
45	Gameleira	-	-	-	-	-	-	-
46	Iboritama	-	-	-	-	-	-	-
47	Serra Dourada	-	-	-	-	-	-	-
48	Fazenda Coqueiro	-	-	-	-	-	-	-
49	Fazenda Redenção	-	-	-	-	-	-	-
50	Derocal	-	-	-	-	-	-	-
51	Sítio Grande	-	-	-	-	-	-	-
52	Fazenda Johá	-	-	-	-	-	-	-
53	Roda Velha	-	-	-	-	-	-	-
54	Porto Novo	-	-	-	-	-	-	-
55	Mocambo	2	dez/17; jan/18	2	dez/17	jan/18	-2,473	dez/17
56	Gatos	4	jan-mar/15; dez/15	3	jan/15	mar/15	-2,700	dez/15
57	Correntina	1	dez/17	1	dez/17	dez/17	-2,334	dez/17
58	Colônia do Formoso	2	nov/17; dez/17	2	nov/17	dez/17	-2,835	dez/17
59	Arrojado	2	dez/17; jan/18	2	dez/17	jan/18	-2,449	jan/18
60	Santa Maria da Vitória	-	-	-	-	-	-	-
61	Arrojolândia	2	dez/07; dez/15	1	dez/07 dez/15	dez/07 dez/15	-2,378	dez/07
62	Fazenda Planalto	-	-	-	-	-	-	-
63	Urandi	-	-	-	-	-	-	-
64	Manga	2	nov/17; jan/18	1	nov/17 jan/18	nov/17 jan/18	-2,522	jan/18
65	Palmas de Monte Alto	1	dez/15	1	dez/15	dez/15	-2,329	dez/15
66	São Gonçalo	2	dez/15; dez/17	1	dez/15 dez/17	dez/15 dez/17	-3,111	dez/15
67	Capitânea	-	-	-	-	-	-	-
68	Miravânia	3	nov/17-jan/18	3	nov/17	jan/18	-2,585	jan/18
69	Juvenília	-	-	-	-	-	-	-
70	Lagoa das Pedras	2	dez/15; dez/17	1	dez/15	dez/17	-2,789	dez/15
71	Fazenda Porto Alegre	3	dez/15; dez/17-jan/18	2	dez/17	jan/18	-3,327	dez/15
72	Cajueiro	11	jan/17; abr/17-jan/18	10	abr/17	jan/18	-2,562	out/17
73	Serra Branca	-	-	-	-	-	-	-
74	Colônia do Jaíba	1	dez/15	1	dez/15	dez/15	-2,367	dez/15
75	Janaúba	2	dez/15; nov/17	1	dez/15	nov/17	-2,474	dez/15

76	São Francisco	-	-	-	-	-	-	-
77	Pedras Maria da Cruz	1	dez/18	1	dez/18	dez/18	-2,638	dez/18
78	Fazenda Canadá	-	-	-	-	-	-	-
79	São João da Ponte	3	nov/17-jan/18	3	nov/17	jan/18	-2,620	nov/17
80	Varzelândia	-	-	-	-	-	-	-
81	Serra das Araras	-	-	-	-	-	-	-
82	Arinos	-	-	-	-	-	-	-
83	Cabeceiras	-	-	-	-	-	-	-
84	Brasília de Minas	6	abr-set/18	6	abr/18	set/18	-2,383	mai/18; jun/18; jul/18
85	São João da Vereda	2	nov/17; jan/18	1	nov/17	jan/18	-2,353	jan/18
86	São Romão	-	-	-	-	-	-	-
87	Santo Inácio	8	dez/15; mar- set/18	7	mar/18	set/18	-2,644	mar/18
88	Barra do Escuro	-	-	-	-	-	-	-
89	Vila Urucuaia	1	abr/17	1	abr/17	abr/17	-2,385	abr/17
90	Porto Alegre	12	jan-dez/18	12	jan/18	dez/18	-2,990	mar/18
91	Cachoeira da Manteiga	1	dez/15	1	dez/15	dez/15	-3,430	dez/15
92	Fazenda Água Branca	1	dez/15	1	dez/15	dez/15	-2,549	dez/15
93	Fazenda Conceição	-	-	-	-	-	-	-
94	Porto das Poções	3	nov-dez/08; mar/09	2	nov/08	dez/08	-2,651	nov/08
95	Unaí	1	mar/18	1	mar/18	mar/18	-2,312	mar/18
96	Santo Antônio do Boqueirão	-	-	-	-	-	-	-
97	Fazenda o resfriado	5	mar-jul/18	5	mar/18	jul/18	-2,354	abr/18
98	Fazenda Limeira	-	-	-	-	-	-	-
99	Várzea da Palma	1	dez/15	1	dez/15	dez/15	-2,788	dez/15
100	Lassance	-	-	-	-	-	-	-
101	Estação de Curimataí	-	-	-	-	-	-	-
102	Cachoeira do Paredão	-	-	-	-	-	-	-
103	Fazenda Santana	-	-	-	-	-	-	-
104	Porto da Extrema	-	-	-	-	-	-	-
105	Santa Rosa	9	jan-set/18	9	jan/18	set/18	-2,600	mar/18
106	Ponte da BR-040 – Prata	-	-	-	-	-	-	-
107	Ponte BR-040 – Paracatu	-	-	-	-	-	-	-
108	Fazenda Poções	2	mar-abr/18	2	mar/18	abr/18	-2,319	mar/18
109	Fazenda Limoeiro	8	mar-out/17	8	mar/17	out/17	-2,596	abr/17
110	Guarda-Mor	2	abr/17; jan/18	1	abr/17 jan/18	abr/17 jan/18	-2,370	jan/18
111	Usina Paraúna	-	-	-	-	-	-	-
112	Gouveia	-	-	-	-	-	-	-
113	Santo Hipólito	1	jan/18	1	jan/18		-2,375	jan/18
114	Presidente Juscelino	-	-	-	-	-	-	-
115	Ponte do Licínio	-	-	-	-	-	-	-
116	Corinto	-	-	-	-	-	-	-

117	Ponte do Bicudo	-	-	-	-	-	-	-
118	Morro da Garça	1	jan/18	1	jan/18		-2,620	jan/18
119	Fazenda São Félix	-	-	-	-	-	-	-
120	Lagoa do Gouvêia	13	dez/17- dez/18	13	dez/17	dez/18	-2,754	jan/18
121	São Gonçalo do Abaeté	-	-	-	-	-	-	-
122	Tiros	-	-	-	-	-	-	-
123	Canoeiros	1	mar/18	1	mar/18	mar/18	-2,372	mar/18
124	Barra do Rio de Janeiro	2	jan-fev/18	2	jan/18	fev/18	-2,606	jan/18
125	Major Porto	-	-	-	-	-	-	-
126	Vazante	3	abr/17; set/17; mar/18	1	abr/17	abr/17	-2,470	abr/17
					set/17	set/17		
					mar/18	mar/18		
127	Ponte Firme	-	-	-	-	-	-	-
128	Lagamar	6	abr-ago/18; out/18	5	abr/18	ago/18	-2,410	out/18
129	Jaboticaúbas	-	-	-	-	-	-	-
130	Sabarará	-	-	-	-	-	-	-
131	Vespasiano	-	-	-	-	-	-	-
132	Caeté	-	-	-	-	-	-	-
133	Caixa de Areia	-	-	-	-	-	-	-
134	Taquaraçu	2	dez/15; jan/18	1	dez/15	dez/15	-2,450	jan/18
					jan/18	jan/18		
135	José de Melo	2	dez/15; jan/18	1	dez/15	dez/15	-2,385	jan/18
					jan/18	jan/18		
136	Vau da Lagoa	-	-	-	-	-	-	-
137	Fazenda Caraíbas	1	jan/15	1	jan/15	jan/15	-2,516	jan/15
138	Ponte Raul Soares	2	jan/15; dez/15	1	jan/15	jan/15	-2,585	jan/15
					dez/15	dez/15		
139	Ponte Nova do Paraopeba	1	jan/15	1	jan/15	jan/15	-2,342	jan/15
140	Fazenda Escola Florestal	-	-	-	-	-	-	-
141	Pedro Leopoldo	-	-	-	-	-	-	-
142	Horto Florestal	2	dez/17-jan/18	2	dez/17	jan/18	-3,061	jan/18
143	Jaguaruna	-	-	-	-	-	-	-
144	Pirapama	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,336	jan/18
145	Fazenda Vargem Bonita	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,637	jan/18
146	Barro Preto	-	-	-	-	-	-	-
147	Jubatuba	3	nov/07-jan/08	3	nov/07	jan/08	-3,050	dez/07
148	Ponte da Taquara	-	-	-	-	-	-	-
149	Papagaios	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,362	jan/18
150	Betim – COPASA	-	-	-	-	-	-	-
151	Fortuna de Minas	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,422	jan/18
152	Barra do Funchal	9	jan/18; mar- out/18	8	mar/18	out/18	-2,494	mai/18
153	Estação Álvaro da Silveira	-	-	-	-	-	-	-

154	Bom Despacho	-	-	-	-	-	-	-
155	Abaeté	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,368	jan/18
156	Porto das Andorinhas	2	jun-jul/18	2	jun/18	jul/18	-2,336	jul/18
157	Martinho Campos	-	-	-	-	-	-	-
158	Tapiraí	12	jan-dez/18	12	jan/18	dez/18	-3,364	out/18
159	São Gotardo	-	-	-	-	-	-	-
160	Lagoa Grande	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,366	jan/18
161	Rio do Peixe	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,459	jan/18
162	Congonhas	-	-	-	-	-	-	-
163	Represa do Miguelão	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,376	jan/18
164	Fazenda Água Limpa	-	-	-	-	-	-	-
165	Itabirito	-	-	-	-	-	-	-
166	Itaúna	-	-	-	-	-	-	-
167	Carmo do Cajuru	1	set/17	1	set/17	set/17	-2,321	set/17
168	Melo Franco	-	-	-	-	-	-	-
169	Fazenda Campo Grande	-	-	-	-	-	-	-
170	Ibirité	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,448	jan/18
171	Fazenda Benedito Chaves	1	jan/15	1	jan/15	jan/15	-2,659	jan/15
172	Fazenda Vista Alegre	8	jan-ago/18	8	jan/18	ago/18	-2,472	jan/18
173	Calambau	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,355	jan/18
174	Alto da Boa Vista	-	-	-	-	-	-	-
175	Fazenda Currealinho	-	-	-	-	-	-	-
176	Fazenda Coqueiros	-	-	-	-	-	-	-
177	Fazenda Laranjeiras	3	mai-jul/18	3	mai/18	jul/18	-2,341	jul/18
178	Carmo da Mata	-	-	-	-	-	-	-
179	Estiva	1	jan/18	1	jan/18	jan/18	-2,368	jan/18
180	Jardim	-	-	-	-	-	-	-
181	Escola de Veterinária	-	-	-	-	-	-	-
182	Bambuú	-	-	-	-	-	-	-
183	Iguatama	8	mar-out/18	8	mar/18	out/18	-2,632	jul/18
184	Lamounier	-	-	-	-	-	-	-
185	Arcos – COPASA	-	-	-	-	-	-	-
186	Lagoa da Prata	-	-	-	-	-	-	-
187	Piumhi	9	jan-set/18	9	jan/18	set/18	-2,622	jul/18
188	Santo Antônio do Monte	-	-	-	-	-	-	-
189	Fazenda Ajudas	3	jun-jul/18; set/18	2	jun/18	jul/18	-2,361	set/18
190	Vargem Bonita	-	-	-	-	-	-	-
191	Santa Maria da Boa Vista	-	-	-	-	-	-	-
192	Curral de Pedra	-	-	-	-	-	-	-
193	Baixa Grande	-	-	-	-	-	-	-
194	Lajedo	-	-	-	-	-	-	-
195	Abreus	-	-	-	-	-	-	-
196	Ouroândia	8	abr-nov/17	8	abr/17	nov/17	-2,466	nov/17
197	Amaniu	-	-	-	-	-	-	-

198	Delfino	-	-	-	-	-	-	-
199	Pilão Arcado	-	-	-	-	-	-	-
200	Coaceral	-	-	-	-	-	-	-
201	Fazenda Triunfo	1	dez/07	1	dez/07	dez/07	-2,326	dez/07
202	Tamburil	-	-	-	-	-	-	-
203	Cera	2	out-nov/17	2	out/17	nov/17	-2,358	out/17
204	Cabeceira Grande	1	jan/17	1	jan/17	jan/17	-2,570	jan/17
205	Urtiga	-	-	-	-	-	-	-
206	Sítio Januário	-	-	-	-	-	-	-
207	Sebastião Laranjeiras	1	dez/15	1	dez/15	dez/15	-2,792	dez/15
208	Poço Triste	3	nov/17-jan/18	3	nov/17	jan/18	-2,709	jan/18
209	Barreiro do Jaíba	2	nov/17; jan/18	1	nov/17 jan/18	nov/17 jan/18	-2,370	jan/18
210	Gemeleiras	-	-	-	-	-	-	-
211	Buritis – Jusante	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Petrucci (2021)

Quadro 13 - Sumário da quantidade dos meses secos e as maiores sequências de meses secos na bacia do rio São Francisco (2003-2018)

n	Estações	Região Fisiográfica	Nº ocorrências	Máximo	Quantas vezes a maior extensão ocorreu	Período
1	Afogados da Ingazeira	SMSF	68	7	2	jun-dez/12; ago/13 - fev/14
2	Flores	SMSF	33	4	2	set-dez/08; ago-nov/15
3	Inajá	SMSF	28	6	1	set/16 - fev/17
4	Airi (Rochedo)	SMSF	34	5	1	jul-nov/16
5	Açude Serrinha	SMSF	48	5	2	jun-out/03; jul-nov/16
6	Belém de São Francisco	SMSF	52	4	2	ago-nov/15; ago-nov/16
7	Floresta	SMSF	48	4	2	ago-nov/15; ago-nov/16
8	Serra Talhada	SMSF	43	5	1	ago-dez/12
9	Jacaré	SMSF	65	6	1	jun-nov/08
10	Parnamirim	SMSF	56	5	2	ago/-dez/15; jul-nov/16
11	Poço do Fumo	SMSF	33	4	1	jun-set/18
12	Ibó	SMSF	43	5	1	mai-set/18
13	Fazenda Tapera	SMSF	63	5	2	jun-out/03; mai-set/18
14	Fazenda São Bento	SMSF	57	5	1	jul-nov/16
15	Lagoa Grande	SMSF	92	7	1	abr-out/12
16	Traipu	BSF	21	4	1	nov/16 - fev/17
17	Delmiro Gouvêia	SMSF	24	4	1	out/07 - jan/08
18	Pão de Açúcar	BSF	24	2	3	out-nov/05; jan-fev/06; nov-dez/12
19	Piranhas	BSF	24	2	5	out-nov/05; dez/06 - jan/07; out-nov/07; dez/11 - jan/12, nov-dez/12
20	Águas Belas	BSF	36	4	1	set-dez/12

21	Santana do Ipanema	SMSF	25	3	1	dez/16 - fev/17
22	Próximo a Curaça II	SMSF	58	6	1	jun-nov/08
23	Campo dos Cavalos	SMSF	71	8	1	mar-out/12
24	Juazeiro	SMSF	61	5	1	jul-nov/08
25	Lagoa do Boi	SMSF	81	8	1	fev-set/16
26	Junco	BSF	49	4	1	mar-jun/12
27	Penedo	BSF	6	2	2	jan-fev/05; out-nov/05
28	Piaçabuçu	BSF	4	1	4	nov/08; dez/11; dez/13; out/15
29	Propriá	BSF	9	2	2	jan-fev/06; dez/06 -jan/07
30	Rio Verde II	MSF	86	6	5	mai-out/07; mai-out/08; mai-out/13; mar-ago/16; mai-out/17
31	Fazenda Cabaceiras	MSF	75	6	2	mai-out/07; mai-out/17
32	Fazenda Refrigério	MSF	78	6	2	mai-out/17; abr-set/18
33	Morpará	MSF	58	6	1	mai-out/17
34	Boqueirão	MSF	63	5	3	mai-set/11; abr-ago/16; jun-out/17
35	Fazenda Macambira	MSF	65	6	1	abr-set/04
36	São Sebastião	MSF	63	6	1	mai-out/17
37	Ibipetuba	MSF	65	6	1	mai-out/17
38	Formosa do Rio Preto	MSF	61	5	4	mai/-set/07; mai-set/11; abr-ago/16; jun-out/17
39	Fazenda Bom Jardim	MSF	54	5	2	mai-set/04; mai/11-set/11
40	Ponte Serafim	MSF	54	5	2	mai-set/07; jun-out/17
41	Nova Vida	MSF	63	6	1	jun-nov/13
42	Cariparé	MSF	60	5	2	jun-out/08; jun-out/12
43	Brotas de Macaúbas	MSF	56	5	1	mai-set/11
44	Ponte BR-242	MSF	79	6	5	abr-set/04; mai-out/07; mai-out/08; mai-out/17; abr-set/18
45	Gameleira	MSF	64	6	1	mai-out/17
46	Iboritama	MSF	69	8	1	mar-out/07
47	Serra Dourada	MSF	66	6	2	abr-set/04; mai-out/17
48	Fazenda Coqueiro	MSF	61	5	3	mai-set/13; abr-ago/16; jun-out/17
49	Fazenda Redenção	MSF	61	5	4	mai-set/04; mai-set/07; abr-ago/16; jun-out/17
50	Derocal	MSF	67	6	1	mai-out/17
51	Sítio Grande	MSF	64	6	1	mai-out/17
52	Fazenda Johá	MSF	57	5	2	mai-set/07; jun-out/17
53	Roda Velha	MSF	60	5	3	mai-set/07; mai-set/13; jun-out/15
54	Porto Novo	MSF	71	6	2	mar-ago/16; mai-out/17

55	Mocambo	MSF	64	5	6	mai-set/04; mai-set/07; mai-set/11; mai-set/13; abr-ago/16; mai-set/18
56	Gatos	MSF	63	5	5	mai-set/04; mai-set/07; mai-set/11; mai-set/14; abr-ago/16
57	Correntina	MSF	65	5	5	mai-set/04; mai-set/07; mai-set/11; mai-set/14; mai-set/18
58	Colônia do Formoso	MSF	66	5	3	mai-set/04; mai-set/07; mai-set/18
59	Arrojado	MSF	64	5	6	mai-set/04; mai-set/07; mai-set/14; abr-ago/16; mai-set/17; mai-set/18
60	Santa Maria da Vitória	MSF	62	6	1	mar-ago/16
61	Arrojalândia	MSF	55	5	3	mai-set/04; mai-set/07; mai-set/13
62	Fazenda Planalto	MSF	57	5	2	jun-out/03; mai-set/04
63	Urandi	MSF	87	6	3	mai-out/07; abr-set/17; abr-set/18
64	Manga	MSF	58	5	2	mai-set/07; jun-out/17
65	Palmas de Monte Alto	MSF	71	6	1	abr-set/18
66	São Gonçalo	MSF	59	5	2	mai-set/04; mai-set/07
67	Capitânea	MSF	62	5	3	mai-set/07; mai-set/13; abr-ago/16
68	Miravania	MSF	58	5	1	mai-set/07
69	Juvenília	MSF	64	5	3	mai-set/07; mai-set/11; abr-ago/16
70	Lagoa das Pedras	MSF	68	5	5	mai-set/04; mai-set/10; mai-set/11; mai-set/14; jun-out/15
71	Fazenda Porto Alegre	MSF	62	6	1	mai-out/07
72	Cajueiro	MSF	62	7	1	fev-ago/16
73	Serra Branca	MSF	75	6	5	mai-out/08; abr-set/14; mai-out/15; abr-set/16; abr-set/18
74	Colônia do Jaíba	MSF	59	6	1	abr-set/16
75	Janaúba	MSF	67	6	1	mai-out/07
76	São Francisco	MSF	47	5	1	mai-set/14
77	Pedras Maria da Cruz	MSF	56	5	3	mai-set/07; jun-out/12; abr-ago/17
78	Fazenda Canadá	MSF	74	7	1	abr-out/12
79	São João da Ponte	MSF	57	5	2	mai-set/04; mai-set/11
80	Varzelândia	MSF	58	6	1	mai-out/08

81	Serra das Araras	MSF	52	4	4	jun-set/07; mai-ago/08; jun-set/15; jun-set/17
82	Arinos	MSF	48	4	3	jun-set/07; mai-ago/08; jun-set/17
83	Cabeceiras	MSF	40	4	2	jun-set/07; mai-ago/17
84	Brasília de Minas	MSF	49	4	4	jun-set/07; mai-ago/08; jun-set/11; mai-ago/14
85	São João da Vereda	MSF	49	4	4	jun-set/07; mai-ago/08; jun-set/11; mai-ago/13
86	São Romão	MSF	53	5	1	mai-set/15
87	Santo Inácio	MSF	55	4	7	mai-ago/05; jun-set/07; mai-ago/08; jun-set/10; jun-set/11; mai-ago/15; jun-set/17
88	Barra do Escuro	MSF	55	5	1	mai-set/15
89	Vila Urucuaia	MSF	59	5	4	mai-set/04; mai-set/11; mai-set/14; abr-ago/16
90	Porto Alegre	MSF	57	5	3	mai-set/04; mai-set/11; mai-set/14
91	Cachoeira da Manteiga	MSF	50	5	2	mai-set/14; jun-out/15
92	Fazenda Água Branca	MSF	51	5	1	mai-set/14
93	Fazenda Conceição	MSF	45	4	3	jun-set/07; mai-ago/08; jun-set/11
94	Porto das Poções	MSF	44	4	2	mai-ago/08; jun-set/11
95	Unai	MSF	51	5	2	mai-set/04; mai-set/11
96	Santo Antônio do Boqueirão	MSF	42	4	3	jun-set/07; mai-ago/08; jun-set/11
97	Fazenda o Resfriado	MSF	46	4	3	jun-set/07; mai-ago/08; jun-set/11
98	Fazenda Limeira	MSF	46	4	4	jun-set/07; mai-ago/08; jun-set/11; abr-jul/16
99	Várzea da Palma	ASF	49	5	1	mai-set/07
100	Lassance	ASF	40	4	2	mai-ago/07; jun-set/17
101	Estação de Curimataí	ASF	35	4	1	jun-set/11
102	Cachoeira do Paredão	MSF	50	5	2	mai-set/14; abr-ago/18
103	Fazenda Santana	MSF	38	5	2	mai-set/07; mai-set/11
104	Porto da Extrema	MSF	46	5	1	mai-set/11
105	Santa Rosa	MSF	40	5	1	mai-set/07
106	Ponte da BR-040 - Prata	MSF	41	3	6	jun-ago/05; jun-ago/06; jul-set/11; jul-set/14; jun-ago/15; mai-jul/16
107	Ponte BR-040 - Paracatu	MSF	37	4	1	jun-set/07
108	Fazenda Poções	MSF	48	5	1	mai-set/07

109	Fazenda Limoeiro	MSF	41	3	6	jun-ago/08; jul-set/11; jun-ago/15; mai-jul/16; jun-ago/17; mai-jul/18
110	Guarda-Mor	MSF	32	3	3	jun-ago/10; jul-set/11; jun-ago/17
111	Usina Parauna	ASF	39	4	1	jun-set/17
112	Gouveia	ASF	28	2	8	jun-jul/03; ago-set/04; jun-jul/08; jul-ago/10; ago-set/11; jul-ago/13; ago-set/17; jun-jul/18
113	Santo Hipólito	ASF	36	4	2	jun-set/07; jun-set/17
114	Presidente Juscelino	ASF	34	4	1	jun-set/17
115	Ponte do Licínio	ASF	38	4	1	jun-set/10
116	Corinto	ASF	47	5	3	mai-set/07; mai-set/11; jun-out/12
117	Ponte do Bicudo	ASF	51	5	2	mai-set/07; jun-out/14
118	Morro da Garça	ASF	44	6	1	mai-out/07
119	Fazenda São Félix	ASF	36	3	4	mai-jul/08; jul-set/11; jun-ago/15; jun-ago/17
120	Lagoa do Gouvéia	ASF	28	2	11	ago-set/04; jun-jul/06; ago-set/07; jun-jul/08; jul-ago/10; jul-ago/11; jul-ago/12; jul-ago/13; jul-ago/15; jul-ago/17; jun-jul/18
121	São Gonçalo do Abaeté	ASF	34	3	3	jun-ago/08; jul-set/11; jun-ago/17
122	Tiros	ASF	33	3	4	jul-set/11; jun-ago/12; jun-ago/15; jun-ago/16
123	Canoeiros	ASF	35	5	1	mai-set/07
124	Barra do Rio de Janeiro	ASF	40	4	3	mai-ago/08; mai-ago/16; jun-set/17
125	Major Porto	ASF	32	3	1	jul-set/11
126	Vazante	MSF	42	4	1	jun-set/17
127	Ponte Firme	MSF	42	5	1	mai-set/11
128	Lagamar	MSF	31	3	2	jun-ago/03; jun-ago/17
129	Jaboticaúbas	ASF	36	5	2	mai-set/07; mai-set/11
130	Sabará	ASF	26	3	1	jun-ago/10
131	Vespasiano	ASF	27	3	2	mai-jul/08; jul-set/11
132	Caeté	ASF	16	2	4	jun-jul/03; ago-set/04; jul-ago/10; jul-ago/17
133	Caixa de Areia	ASF	22	2	8	jun-jul/03; ago-set/04; jun-jul/08; jul-ago/10; jul-ago/11; jul-ago/12; jul-ago/13; jul-ago/17

134	Taquaraçu	ASF	28	3	2	mai-jul/08; jun-ago/10
135	José de Melo	ASF	28	5	1	mai-set/11
136	Vau da Lagoa	ASF	16	2	3	ago-set/04; jun-jul/08; jul-ago/13
137	Fazenda Caraíbas	ASF	35	4	1	jun-set/17
138	Ponte Raul Soares	ASF	34	5	1	mai-set/11
139	Ponte Nova do Paraopeba	ASF	26	3	1	jun-ago/10
140	Fazenda Escola Florestal	ASF	27	3	1	jul-set/11
141	Pedro Leopoldo	ASF	27	3	2	mai-jul/08; jul-set/11
142	Horto Florestal	ASF	30	3	2	mai-jul/08; jul-set/11
143	Jaguaruna	ASF	25	3	2	jul-set/11; mai-jul/18
144	Pirapama	ASF	33	3	3	jul-set/11; jun-ago/12; jul-set/17
145	Fazenda Vargem Bonita	ASF	35	5	1	mai-set/11
146	Barro Preto	ASF	27	3	1	jul-set/11
147	Jubatuba	ASF	30	5	1	mai-set/07
148	Ponte da Taquara	ASF	37	3	3	mai-jul/06; jun-ago/10; jul-set/11
149	Papagaios	ASF	31	4	1	jun-set/11
150	Betim - COPASA	ASF	31	4	1	jun-set/07
151	Fortuna de Minas	ASF	25	3	2	jul-set/11; jul-set/17
152	Barra do Funchal	ASF	24	3	1	jul-set/17
153	Estação Álvaro da Silveira	ASF	28	3	2	jun-ago/10; jul-set/11
154	Bom Despacho	ASF	27	3	3	mai-jul/08; jul-set/11; mai-jul/18
155	Abaeté	ASF	29	3	2	jul-set/11; jun-ago/15
156	Porto das Andorinhas	ASF	29	3	2	jul-set/11; jun-ago/15
157	Martinho Campos	ASF	28	3	2	jun-ago/10; jul-set/11
158	Tapiraí	ASF	21	3	1	mai-jul/18
159	São Gotardo	ASF	26	3	1	jul-set/07
160	Lagoa Grande	ASF	21	2	6	jun-jul/03; jul-ago/10; jul-ago/15; jul-ago/16; jul-ago/17; jun-jul/18
161	Rio do Peixe	ASF	20	2	7	jun-jul/03; ago-set/04; jul-ago/10; jul-ago/11; jul-ago/12; jul-ago/16; jul-ago/17
162	Congonhas	ASF	17	2	3	ago-set/04; jul-ago/17; jun-jul/18
163	Represa do Miguelão	ASF	21	3	1	jun-ago/10
164	Fazenda Água Limpa	ASF	21	3	2	jun-ago/10; jul-set/17
165	Itabirito	ASF	21	3	1	jun-ago/10
166	Itaúna	ASF	27	3	2	jun-ago/10; jul-set/11
167	Carmo do Cajuru	ASF	26	4	1	jun-set/07
168	Melo Franco	ASF	29	3	2	jun-ago/10; jul-set/17

169	Fazenda Campo Grande	ASF	11	2	2	jul-ago/12; jul-ago/17
170	Ibirité	ASF	20	3	1	jul-set/11
171	Fazenda Benedito Chaves	ASF	18	3	1	jun-ago/10
172	Fazenda Vista Alegre	ASF	29	3	2	jun-ago/05; jun-ago/10
173	Calambau	ASF	27	3	1	jul-set/11
174	Alto da Boa Vista	ASF	25	3	1	jun-ago/10
175	Fazenda Currallinho	ASF	24	3	1	jun-ago/10
176	Fazenda Coqueiros	ASF	26	3	2	jun-ago/10; jul-set/11
177	Fazenda Laranjeiras	ASF	24	3	1	jul-set/11
178	Carmo da Mata	ASF	16	2	3	jun-jul/03; ago-set/07; jul-ago/17
179	Estiva	ASF	23	3	1	jul-set/11
180	Jardim	ASF	23	2	6	jun-jul/03; ago-set/07; jul-ago/11; jul-ago/12; jul-ago/17; jun-jul/18
181	Escola de Veterinária	ASF	24	3	1	jun-ago/10
182	Bambuí	ASF	15	2	1	jun-jul/18
183	Iguatama	ASF	22	2	3	jun-jul/03; ago-set/07; jul-ago/17
184	Lamounier	ASF	24	3	1	jul-set/08
185	Arcos - COPASA	ASF	19	2	2	jun-jul/03; jul-ago/17
186	Lagoa da Prata	ASF	19	2	3	ago-set/07; jul-ago/15; jul-ago/17
187	Piumhi	ASF	18	2	3	jun-jul/03; ago-set/07; jul-ago/17
188	Santo Antônio do Monte	ASF	17	3	1	jul-set/11
189	Fazenda Ajudas	ASF	19	2	4	jun-jul/08; jul-ago/11; jul-ago/17; jun-jul/18
190	Vargem Bonita	ASF	15	2	2	jul-ago/11; jul-ago/17
191	Santa Maria da Boa Vista	SMSF	46	5	1	ago-dez/15
192	Curral de Pedra	SMSF	106	8	3	fev-set/13; mai-dez/15; mar-out/16
193	Baixa Grande	MSF	76	7	1	abr-out/16
194	Lajedo	MSF	71	8	1	mar-out/12
195	Abreus	SMSF	82	9	1	jan-set/13
196	Ourolândia	SMSF	46	4	1	jul-out/04
197	Amaniu	MSF	79	6	4	mai-out/07; mar-ago/12; mai-out/13; mai-out/17
198	Delfino	SMSF	26	3	2	jul-set/04; set-nov/08
199	Pilão Arcado	MSF	89	8	1	mar-out/12
200	Coaceral	MSF	57	5	4	mai-set/04; mai-set/08; mai-set/12; jun-out/17
201	Fazenda Triunfo	MSF	66	7	1	abr-out/07

202	Tamburil	MSF	65	5	5	mai-set/04; mai-set/11; jun-out/12; abr-ago/16; mai-set/18
203	Cera	MSF	66	7	1	mar-set/16
204	Cabeceira Grande	MSF	56	5	3	mai-set/07; jun-out/17; mai-set/18
205	Urtiga	MSF	84	8	1	mar-out/07
206	Sítio Januário	MSF	62	5	2	mai-set/04; mai-set/07
207	Sebastião Laranjeiras	MSF	71	6	2	mai-out/07; abr-set/18
208	Poço Triste	MSF	66	5	3	mai-set/04; mai-set/11; mai-set/13
209	Barreiro do jaíba	MSF	63	6	1	mai-out/07
210	Gameleiras	MSF	66	6	1	abr-set/16
211	Buritis - Jusante	MSF	44	4	4	jun-set/07; mai-ago/08; mai-ago/14; mai-ago/16

Fonte: Petrucci (2021)

Quadro 14 - Sumário da quantidade dos desvios negativos, as maiores sequências de desvios negativos e os períodos de ocorrência na bacia do rio São Francisco (2003-2018)

n	Estações	Região Fisiográfica	Nº ocorrências	Máximo	Quantas vezes a maior extensão ocorreu	Período
1	Afogados da Ingazeira	SMSF	65	4	5	abr-jul/03; dez/13-mar/14; abr-jul/16; dez/16-mar/17; abr-jul/18
2	Flores	SMSF	89	7	1	mar-set/12
3	Inajá	SMSF	96	10	1	jul/16-abr/17
4	Airi (Rochedo)	SMSF	94	16	1	fev/16-mai/17
5	Açude Serrinha	SMSF	88	9	1	dez/13-out/14
6	Belém de São Francisco	SMSF	79	6	1	jan-jun/12
7	Floresta	SMSF	80	9	1	dez/14-ago/15
8	Serra Talhada	SMSF	88	9	1	dez/11-ago/12
9	Jacaré	SMSF	72	5	1	nov/16-mar/17
10	Parnamirim	SMSF	80	8	1	out/16-mai/17
11	Poço do Fumo	SMSF	87	5	2	fev-jun/13; jan-mai/17
12	Ibó	SMSF	79	6	1	jan-jun/12
13	Fazenda Tapera	SMSF	72	6	1	dez/16-mai/17
14	Fazenda São Bento	SMSF	72	7	2	nov/11-mai/12; dez/12- jun/13
15	Lagoa Grande	SMSF	56	5	2	jan-mai/12; dez/16-abr/17
16	Traipu	BSF	95	12	1	abr/16-mar/17
17	Delmiro Gouvêia	SMSF	96	14	1	fev/16-mar/17
18	Pão de Açúcar	BSF	96	9	1	fev-out/18
19	Piranhas	BSF	96	14	1	mar/16-abr/17
20	Águas Belas	BSF	88	7	1	mar-set/16
21	Santana do Ipanema	SMSF	96	9	1	fev-out/16
22	Próximo a Curaça II	SMSF	80	9	1	nov/11-jul/12
23	Campo dos Cavalos	SMSF	72	9	1	nov/11-jul/12
24	Juazeiro	SMSF	89	6	1	fev-jul/16
25	Lagoa do Boi	SMSF	64	7	1	dez/16-jun/17

26	Junco	BSF	96	8	1	nov/11-jun/12
27	Penedo	BSF	95	9	1	mar-nov/16
28	Piaçabuçu	BSF	96	12	1	abr/16-mar/17
29	Propriá	BSF	96	8	1	abr-nov/16
30	Rio Verde II	MSF	64	6	1	nov/11-abr/12
31	Fazenda Cabaceiras	MSF	64	6	1	nov/11-abr/12
32	Fazenda Refrigério	MSF	64	6	1	nov/11-abr/12
33	Morpará	MSF	72	7	1	out/11-abr/12
34	Boqueirão	MSF	72	5	2	set/07-jan/08; dez/11-abr/12
35	Fazenda Macambira	MSF	64	5	1	dez/11-abr/12
36	São Sebastião	MSF	64	5	1	dez/11-abr/12
37	Ibipetuba	MSF	64	4	3	nov/09-fev/10; dez/12-mar/13; fev-mai/16
38	Formosa do Rio Preto	MSF	64	5	1	jan-mai/12
39	Fazenda Bom Jardim	MSF	64	7	1	nov/06-mai/07
40	Ponte Serafim	MSF	72	6	1	set/07-fev/08
41	Nova Vida	MSF	72	7	1	set/14-mar/15
42	Cariparé	MSF	64	4	2	jan-abr/12; fev-mai/16
43	Brotas de Macaúbas	MSF	81	5	1	mar-jun/04
44	Ponte BR-242	MSF	56	5	1	dez/11-abr/12
45	Gameleira	MSF	64	6	1	out/14-mar/15
46	Iboritama	MSF	63	5	1	dez/11-abr/12
47	Serra Dourada	MSF	64	5	1	jan-mai/12
48	Fazenda Coqueiro	MSF	64	4	3	fev-mai/03; out/07-jan/08; fev-mai/16
49	Fazenda Redenção	MSF	64	6	1	out/14-mar/15
50	Derocal	MSF	72	5	1	set/04-jan/05
51	Sítio Grande	MSF	64	4	4	out/07-jan/08; fev-mai/12; fev-mai/16; out/17-jan/18
52	Fazenda Johá	MSF	72	6	2	set/07-fev/08; out/17-mar/18
53	Roda Velha	MSF	64	8	1	out/04-mai/05
54	Porto Novo	MSF	64	5	1	jan-mai/14
55	Mocambo	MSF	64	8	1	out/15-mai/16
56	Gatos	MSF	72	5	1	set/14-jan/15
57	Correntina	MSF	72	4	3	set-dez/15; fev-mai/16; set-dez/17
58	Colônia do Formoso	MSF	64	4	4	out/07-jan/08; jan-abr/12; fev-mai/13; fev-mai/16
59	Arrojado	MSF	72	5	2	jan-mai/14; out/17-jan/18
60	Santa Maria da Vitória	MSF	64	4	1	fev-mai/16
61	Arrojolândia	MSF	72	5	2	dez/11-abr/12; jan-mai/14
62	Fazenda Planalto	MSF	72	4	4	set-dez/03; set-dez/15; fev-mai/16; out/16-jan/17
63	Urandi	MSF	55	4	1	out/07-jan/08
64	Manga	MSF	63	4	2	fev-mai/12; fev-mai/16
65	Palmas de Monte Alto	MSF	64	6	1	nov/11-abr/12
66	São Gonçalo	MSF	63	4	2	fev-mai/12; fev-mai/16
67	Capitânea	MSF	72	5	1	jan-mai/14
68	Miravania	MSF	72	5	1	set/17-jan/18
69	Juvenília	MSF	72	5	1	set/17-jan/18
70	Lagoa das Pedras	MSF	64	4	1	fev-mai/16

71	Fazenda Porto Alegre	MSF	64	4	4	fev-mai/12; jan-abr/14; fev-mai/16; out/17-jan/18
72	Cajueiro	MSF	71	4	4	set-dez/04; jan-abr/12; set-dez/15; fev-mai/16
73	Serra Branca	MSF	56	5	1	dez/11-abr/12
74	Colônia do Jaíba	MSF	64	5	1	jan-mai/14
75	Janaúba	MSF	72	5	1	jan-mai/14
76	São Francisco	MSF	80	6	1	dez/14-mai/15
77	Pedras Maria da Cruz	MSF	72	5	2	jan-mai/14
78	Fazenda Canadá	MSF	64	6	1	dez/11-mai/12
79	São João da Ponte	MSF	72	7	1	set/14-mar/15
80	Varzelândia	MSF	72	4	3	dez/12-mar/13; set-dez/15; fev-mai/16
81	Serra das Araras	MSF	72	5	1	set/07-jan/08
82	Arinos	MSF	72	6	1	dez/11-mai/12
83	Cabeceiras	MSF	79	6	1	set/12-fev/13
84	Brasília de Minas	MSF	72	7	1	set/14-mar/15
85	São João da Vereda	MSF	72	4	2	nov/14-fev/15; set-dez/15
86	São Romão	MSF	72	6	1	set/07-fev/08
87	Santo Inácio	MSF	71	5	2	jan-mai/14; set/17-jan/18
88	Barra do Escuro	MSF	72	6	1	set/07-fev/08
89	Vila Urucuia	MSF	72	5	2	jan-mai/14; set/14-jan/15
90	Porto Alegre	MSF	72	7	1	set/17-mar/18
91	Cachoeira da Manteiga	MSF	72	5	2	set/07-jan/08; jan-mai/14
92	Fazenda Água Branca	MSF	72	5	1	jan-mai/14
93	Fazenda Conceição	MSF	72	5	2	set/07-jan/08; jan-mai/14
94	Porto das Poções	MSF	72	5	1	jan-mai/06
95	Unai	MSF	72	5	1	nov/13-mar/14
96	Santo Antônio do Boqueirão	MSF	80	5	1	set/14-jan/15
97	Fazenda o Resfriado	MSF	80	5	2	jan-mai/12; set/14-jan/15
98	Fazenda Limeira	MSF	72	6	1	set/14-fev/15
99	Várzea da Palma	ASF	72	5	2	set/07-jan/08; jan-mai/14
100	Lassance	ASF	72	5	1	jan-mai/14
101	Estação de Curimataí	ASF	80	6	1	jan-jun/14
102	Cachoeira do Paredão	MSF	72	5	2	set/07-jan/08; jan-mai/14
103	Fazenda Santana	MSF	80	6	1	out/07-jan/08
104	Porto da Extrema	MSF	72	5	1	jan-mai/14
105	Santa Rosa	MSF	80	6	1	nov/16-abr/17
106	Ponte da BR-040 - Prata	MSF	80	5	2	set/03-jan/04; fev-jun/16
107	Ponte BR-040 - Paracatu	MSF	80	6	1	nov/11-abr/12
108	Fazenda Poções	MSF	72	5	2	set/07-jan/08; nov/13-mar/14
109	Fazenda Limoeiro	MSF	80	6	2	set/08-fev/09; jan-jun/14
110	Guarda-Mor	MSF	80	5	2	set/07-jan/08; dez/16-abr/17
111	Usina Parauna	ASF	79	6	1	out/08-mar/09
112	Gouveia	ASF	96	5	2	ago-dez/07; mar-jul/18
113	Santo Hipólito	ASF	88	6	2	ago/14-jan/15; ago/17-jan/18
114	Presidente Juscelino	ASF	80	5	1	ago-dez/07
115	Ponte do Licínio	ASF	88	6	1	nov/09-abr/10
116	Corinto	ASF	72	5	1	set/14-jan/15

117	Ponte do Bicudo	ASF	71	6	1	set/04-fev/05
118	Morro da Garça	ASF	80	7	1	dez/05-jun/06
119	Fazenda São Félix	ASF	80	6	2	dez/12-mai/13; ago/14-jan/15
120	Lagoa do Gouvêia	ASF	88	6	1	ago/17-jan/18
121	São Gonçalo do Abaeté	ASF	80	6	1	nov/09-abr/10
122	Tiros	ASF	80	6	1	jan-jun/12
123	Canoeiros	ASF	80	7	1	set/17-mar/18
124	Barra do Rio de Janeiro	ASF	80	5	2	fev-jun/16; set/17-jan/18
125	Major Porto	ASF	80	5	3	jan-mai/05; nov/13-mar/14; dez/16-abr/17
126	Vazante	MSF	80	5	2	set/07-jan/08; fev-jun/16
127	Ponte Firme	MSF	80	7	1	nov/13-mai/14
128	Lagamar	MSF	80	5	2	set/07-jan/08; nov/13-mar/14
129	Jaboticaúbas	ASF	88	4	3	ago-nov/04; mar-jun/07; out/14-jan/15
130	Sabará	ASF	96	4	6	mar-jun/03; set-dez/03; ago-nov/04; jul-out/12; fev-mai/16; jan-abr/17
131	Vespasiano	ASF	88	7	1	set/12-mar/13
132	Caeté	ASF	96	6	1	jan-jun/14
133	Caixa de Areia	ASF	96	6	1	fev-jul/03
134	Taquaraçu	ASF	88	4	1	ago-nov/04
135	José de Melo	ASF	95	6	2	dez/05-mai/06; abr-set/11
136	Vau da Lagoa	ASF	95	4	4	ago-nov/04; abr-jul/08; set-dez/15; mai-ago/16
137	Fazenda Caraíbas	ASF	88	6	1	jan-jun/14
138	Ponte Raul Soares	ASF	79	5	1	set/14-jan/15
139	Ponte Nova do Paraopeba	ASF	94	8	1	ago/12-mar/13
140	Fazenda Escola Florestal	ASF	88	6	1	ago/17-jan/18
141	Pedro Leopoldo	ASF	88	4	5	set-dez/03; ago-nov/04; dez/12-mar/13; fev-mai/16; mar-jun/18
142	Horto Florestal	ASF	88	6	1	ago/17-jan/18
143	Jaguaruna	ASF	96	8	2	jul/12-fev/13; set/16-abr/17
144	Pirapama	ASF	94	5	2	jan-mai/14; set/14-jan/15
145	Fazenda Vargem Bonita	ASF	88	6	1	jan-jun/14
146	Barro Preto	ASF	96	6	1	ago/07-jan/08
147	Jubatuba	ASF	88	9	1	out/05-jun/06
148	Ponte da Taquara	ASF	79	5	1	fev-jun/16
149	Papagaios	ASF	80	6	1	jan-jun/14
150	Betim - COPASA	ASF	80	4	4	set-dez/03; mar-jun/06; dez/12-mar/13; fev-mai/16
151	Fortuna de Minas	ASF	79	4	4	set-dez/03; set-dez/07; mar-jun/09; fev-mai/16
152	Barra do Funchal	ASF	88	5	1	ago-dez/07
153	Estação Álvaro da Silveira	ASF	80	6	1	dez/16-mai/17
154	Bom Despacho	ASF	95	6	1	ago/14-jan/15
155	Abaeté	ASF	80	6	1	out/13-mar/14
156	Porto das Andorinhas	ASF	88	6	1	jan-jun/14
157	Martinho Campos	ASF	96	6	1	out/13-mar/14
158	Tapiraí	ASF	96	8	1	nov/13-jun/14

159	São Gotardo	ASF	80	5	2	nov/13-mar/14; jan-mai/18
160	Lagoa Grande	ASF	96	6	2	jan-jun/14; ago/14-jan/15
161	Rio do Peixe	ASF	96	6	1	jan-jun/06
162	Congonhas	ASF	96	8	1	nov/13-jun/14
163	Represa do Miguelão	ASF	96	6	1	ago/14-jan/15
164	Fazenda Água Limpa	ASF	96	5	2	nov/13-mar/14; dez/16-abr/17
165	Itabirito	ASF	96	6	1	fev-jul/03
166	Itaúna	ASF	78	6	2	abr-set/16; mar-ago/17
167	Carmo do Cajuru	ASF	96	7	1	mai-nov/07
168	Melo Franco	ASF	79	5	2	dez/05-abr/06; nov/13-mar/14
169	Fazenda Campo Grande	ASF	96	6	1	out/13-mar/14
170	Ibirité	ASF	96	7	1	jul/17-jan/18
171	Fazenda Benedito Chaves	ASF	95	5	3	mai-set/11; nov/13-mar/14; set/14-jan/15
172	Fazenda Vista Alegre	ASF	95	6	1	jan-jun/14
173	Calambau	ASF	95	5	1	jul/16-nov/16
174	Alto da Boa Vista	ASF	96	5	2	ago-dez/07; mar-jul/18
175	Fazenda Curralinho	ASF	96	6	1	ago/07-jan/08
176	Fazenda Coqueiros	ASF	88	5	2	ago-dez/07; nov/13-mar/14
177	Fazenda Laranjeiras	ASF	96	6	1	ago/14-jan/15
178	Carmo da Mata	ASF	96	6	1	jan-jun/18
179	Estiva	ASF	96	5	2	ago-dez/07; mar-jul/18
180	Jardim	ASF	95	5	3	ago-dez/07; jan-mai/11; dez/16-abr/17
181	Escola de Veterinária	ASF	87	5	1	jan-mai/17
182	Bambuí	ASF	96	5	1	mar-jul/18
183	Iguatama	ASF	96	9	1	nov/17-jul/18
184	Lamounier	ASF	88	6	2	dez/12-mai/13; fev-jul/18
185	Arcos - COPASA	ASF	96	6	1	fev-jul/18
186	Lagoa da Prata	ASF	96	5	1	abr-ago/10
187	Piumhi	ASF	96	5	1	ago-dez/10
188	Santo Antônio do Monte	ASF	96	5	3	jan-mai/12; set/14-jan/15; mar-jul/18
189	Fazenda Ajudas	ASF	96	8	1	set/16-abr/17
190	Vargem Bonita	ASF	96	6	1	dez/15-mai/16
191	Santa Maria da Boa Vista	SMSF	96	7	1	mai-nov/08
192	Curral de Pedra	SMSF	48	6	1	nov/11-abr/12
193	Baixa Grande	MSF	64	4	4	dez/11-mar/12; fev-mai/13; fev-mai/16; jan-abr/17
194	Lajedo	MSF	88	5	3	mar-jul/12; abr-ago/13; fev-jun/16
195	Abreus	SMSF	71	7	1	dez/12-jun/13
196	Ouroândia	SMSF	96	8	1	nov/16-jun/17
197	Amaniu	MSF	64	4	1	out/17-jan/18
198	Delfino	SMSF	95	9	1	jan-set/11
199	Pilão Arcado	MSF	48	6	1	nov/11-abr/12
200	Coaceral	MSF	72	7	1	set/08-mar/09
201	Fazenda Triunfo	MSF	64	5	1	jan-mai/10
202	Tamburil	MSF	72	5	1	out/16-fev/17
203	Cera	MSF	64	6	1	dez/11-mai/12
204	Cabeceira Grande	MSF	72	7	1	set/14-mar/15

205	Urtiga	MSF	56	5	1	dez/16-abr/17
206	Sítio Januário	MSF	64	6	2	dez/11-mai/12; out/14-mar/15
207	Sebastião Laranjeiras	MSF	64	4	2	nov/09-fev/10; jan-abr/15
208	Poço Triste	MSF	64	6	1	nov/11-abr/12
209	Barreiro do jaíba	MSF	72	6	1	nov/14-abr/15
210	Gameleiras	MSF	64	4	2	out/14-jan/15; fev-mai/16
211	Buritis - Jusante	MSF	79	5	4	set/07-jan/08; nov/09-mar/10; jan-mai/14; fev-jun/16

Fonte: Petrucci (2021)