

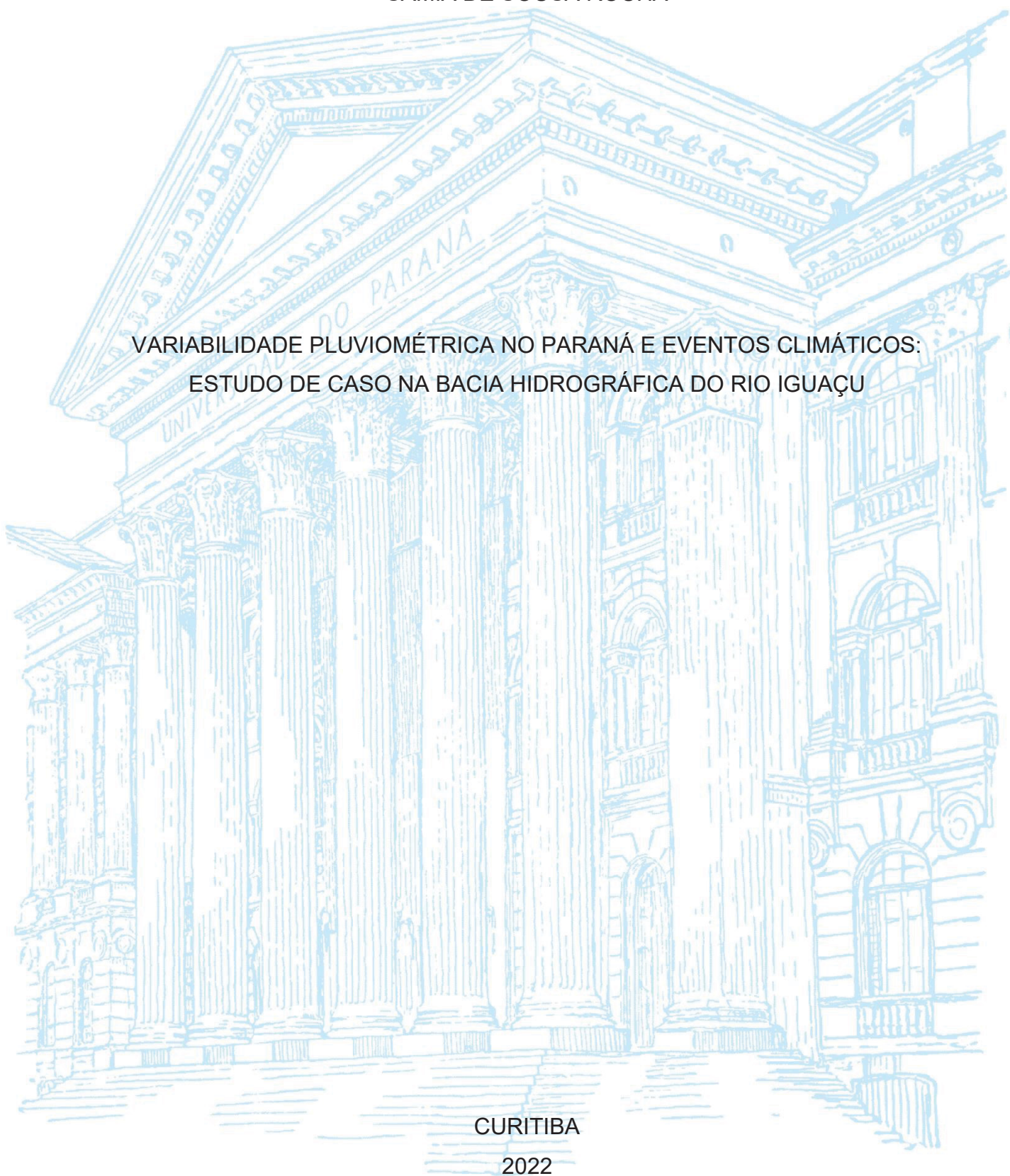
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SÂMIA DE SOUSA ROCHA

VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA NO PARANÁ E EVENTOS CLIMÁTICOS:
ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGUAÇU

CURITIBA

2022



SÂMIA DE SOUSA ROCHA

VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA NO PARANÁ E EVENTOS CLIMÁTICOS:
ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGUAÇU

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Henrique Marco Detzel

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Rocha, Sâmia de Sousa

Variabilidade pluviométrica no Paraná e eventos climáticos: estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Iguaçu. / Sâmia de Sousa Rocha. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Henrique Marco Detzel

1. Bacias Hidrográficas. 2. Precipitação (Meteorologia). 3. Secas. I. Detzel, Daniel Henrique Marco. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. III. Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **SÂMIA DE SOUSA ROCHA** intitulada: **Variabilidade pluviométrica no Paraná e eventos climáticos: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Iguaçu**, sob orientação do Prof. Dr. DANIEL HENRIQUE MARCO DETZEL, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Agosto de 2022.

Assinatura Eletrônica
06/09/2022 08:19:27.0

DANIEL HENRIQUE MARCO DETZEL
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
02/09/2022 15:07:43.0
LEANDRO MARIO ÁVILA
Avaliador Externo (UNINORTE)

Assinatura Eletrônica
02/09/2022 13:49:24.0
CLAUDIO MARCHAND KRÜGER
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
02/09/2022 15:39:15.0
MARCELO RODRIGUES BESSA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
05/09/2022 14:50:31.0
PEDRO HENRIQUE AUGUSTO MEDEIROS
Avaliador Externo (55003247)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus, que por toda a Sua graça me permitiu viver, literalmente viver durante esses dois anos marcados por pandemia, readaptação e incertezas. Agradeço por toda a proteção e saúde que Ele concedeu à toda minha família, fazendo com que todos os meus agradecimentos pudessem ser demonstrados sem distanciamentos ou privações.

Quanto às pessoas que fizeram parte da minha vida e me acompanharam durante esses anos de pesquisa, eu poderia escrever um livro de pura gratidão e relembrar todos os momentos em que fui fortalecida por palavras e ações. Mas, vou me conter e agradecer:

Aos meus pais, pela imensa dedicação, amor e provisão. Por serem meus maiores apoiadores em todos os projetos da minha vida, sempre acreditando em meu potencial e fazendo de tudo para me dar conforto e educação, que me possibilitou chegar até aqui, superando todas as dificuldades do ensino básico público e ocupando espaços que não imaginava.

De modo mais especial, agradeço à minha mãe Sara, por todas as suas orações, conversas, e que mesmo sem muito entender o que eu sentia ou fazia, sabia exatamente como me acalmar e encorajar. Ao meu pai Soledade, que com sua inteligência e curiosidade sempre me incentivou a buscar conhecimento e me aprofundar nos mais diversos assuntos. Por último, mas não menos especial, à minha irmã Sibma, que acompanhou e entendeu melhor todos os meus sentimentos, sendo meu escape com conversas aleatórias e como uma amiga.

Aos meus amigos em Fortaleza, que durante esse período pouco me viram, mas sempre me apoiaram e me entenderam em meus momentos mais difíceis, em especial Karina Cantarini e Cindy Carvalho, que me acompanharam na graduação e seguiram me dando forças.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Daniel Detzel, por sua disponibilidade, paciência, apoio e ensinamentos. Aos meus novos amigos da pós-graduação, em especial à Izadora Cintra, Larissa Sbrissia, Raquel Aita, Larissa Ticianel e ao Victor Gabriel (quando presente...) que me receberam e me integraram em suas vidas. Mas não somente isto, o LABHEE também foi um ambiente de reconexão de interação presencial, local de muitas risadas, planos e surtos acadêmicos. Obrigada à todas as

peças que se agregaram neste ambiente um pouco caótico, mas que rendeu ótimos encontros descontraídos e aleatórios.

Ao PPGERHA, pela sua excelência no quadro de professores, grade curricular e por ser um ambiente tão acolhedor, ético e desenvolvidor que me proporcionou conforto e conhecer diversas pessoas.

Aos professores Marcelo Bessa, Cláudio Krüger, Leandro Ávila e Pedro Medeiros, pela participação na banca de defesa.

“E tudo quanto fizerdes por palavras ou por ações, fazei-o em nome do Senhor Jesus, dando por ele graças a Deus Pai”

Colossenses 3:17

RESUMO

O estudo da variabilidade pluviométrica é de grande importância para a gestão de recursos hídricos, sendo a chuva uma variável importante do ciclo hidrológico e a responsável por manter a estabilidade dos sistemas ambientais e das atividades humanas. Por ser sensível às alterações climáticas, a precipitação tende a estar associada a diferentes eventos meteorológico. Com base nisto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o comportamento pluviométrico nas sub-bacias hidrográficas do Alto (SBA), Médio (SBM) e Baixo (SBB) Iguaçu, que compõem a bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, no estado do Paraná. O período analisado foi de 1976 a 2021, utilizando os índices de seca SPI e SPEI e a transformada *wavelet*. Analisou-se também, as possíveis influências dos fenômenos climáticos de teleconexões, El Niño - Oscilação Sul (ENOS), Padrão Pacífico-América do Sul e o Oscilação Antártica sobre padrões de precipitação, considerando os índices ONI3.4, PSA1 e o AAO, referente a cada fenômeno. Os resultados mostraram que a SBB e a SBA possuem, respectivamente, as maiores e menores precipitações. De modo geral, a SBA teve a maior quantidade de eventos chuvosos ($SPI > 1$) e a SBM a maior quantidade de eventos de seca extrema. Durante o último período da série com precipitações abaixo da média (2018 a 2021) não houve nenhum mês classificado como chuva extrema, a SBA teve a maior quantidade de eventos classificados como chuvosos e na SBB houve mais anos classificados como secos. Durante os meses de 2021 as sub-bacias apresentaram padrões de precipitação diferentes de modo em que houve meses de chuva severa e em seguida seca severa, mostrando padrões de instabilidade. Com relação aos índices climáticos houve baixas correlações, sendo o mais significativo o ONI3.4. Nenhum mês com eventos extremos apresentou simultaneidade com a ocorrência dos três eventos climáticos, contudo alguns meses de 2021, 1992 e outros anos apresentaram simultaneidade entre dois dos índices, com a presença do ENOS. As análises com a transformada *wavelet* indicaram na análise anual que a partir do ano 2000 os eventos pluviométricos foram mais frequentes e persistentes. Os resultados mostraram um padrão de ocorrência de períodos secos e úmidos de 3 a 4 anos. A SBB mostrou ter eventos com sinais maiores e com maior continuidade e persistência. Conclui-se também, que há diferenças significativas entre as sub-bacias, de modo que cada região é impactada com magnitudes de eventos diferentes a depender também, de suas características ambientais, sociais e econômicas. Por fim, acredita-se que compreender a variabilidade pluviométrica é fundamental para gestão dos recursos hídricos e prevenção, previsão e mitigação de impactos associados à eventos de chuva.

Palavras-chave: Eventos extremos pluviométricos. Precipitação. Índices de seca. Teleconexões. Bacia Hidrográfica.

ABSTRACT

The study of rainfall variability is of great importance for the management of water resources, being rain an important variable of the hydrological cycle and responsible for maintaining the stability of environmental systems and human activities. As it is sensitive to climate change, precipitation tends to be associated with different weather events across the globe. Based on this, this research aims to evaluate the rainfall behavior in the Upper (SBA), Middle (SBM) and Lower (SBB) Iguazu watersheds, which form the Iguazu River watershed, in the state of Paraná. The study is carried out during the period from 1976 to 2021, using SPI and SPEI drought indices and wavelet transform. Likewise, it is analyzed whether the teleconnection events El Niño - Southern Oscillation, Pacific-South American Pattern and the Antarctic Oscillation had an influence on precipitation, considering the ION3.4, PSA1 and AAO indices, respectively for each phenomenon. The results showed that SBB and SBA have more and less rainfall, respectively. However, in all lags, the SBA had the highest number of rainy events ($SPI > 1$). In the SBM, there is a greater number of extreme drought events. During the last period of rainfall below the series average (2018 to 2021) there was no month classified as extreme rain, the SBA had the highest amount of events classified as rainy and in the SBB there were more years classified as dry. During the months of 2021, the sub-basins presented different rainfall patterns, so that there were months of rain to severe and then severe drought, showing patterns of instability. With regard to climatic indices, there were low correlations, the most significant being ONI3.4. There was no month classified as extreme in which there was simultaneous presence of the three climatic events, however some months of 2021 and 1992 presented simultaneity between two of the indices, especially ENSO. Finally, the analysis with the wavelet transform indicated in the analysis of the SPI 12 that from the year 2000 onwards, rainfall events were more frequent and persistent. The results showed a pattern of occurrence of dry or wet periods of 3 to 4 years. SBB has shown to have events with higher signals and with greater continuity and persistence. It is concluded that there are significant differences between the sub-basins, so that each region is impacted with different magnitudes and events, depending on their environmental, social and economic characteristics. Finally, it is believed that understanding rainfall variability is essential for water resources management and prevention, prediction and mitigation of impacts associated with rainfall events.

Keywords: Extreme rainfall events. Precipitation. Drought index. Teleconnections. Watershed

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - MONITOR DE SECAS EM JULHO DE 2014 E NOVEMBRO DE 2021.	25
FIGURA 2 - REGISTROS DE DESASTRES. A) INUNDAÇÕES, ENXURRADAS E ALAGAMENTOS 2005-2015; B) DESLIZAMENTOS DE TERRA 2005-2015	26
FIGURA 3 - ESQUEMA DOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL NA BAIXA TROPOSFERA	27
FIGURA 4 - DINÂMICA DA CÉLULA DE CIRCULAÇÃO DE WALKER	30
FIGURA 5 - ANOMALIAS DA TSM, MUDANÇAS RESULTANTES DO AQUECIMENTO TROPICAL E CONVECÇÃO DA CÉLULA DE WALKER SOB CONDIÇÃO DO A) EN E B) LN.....	31
FIGURA 6 - INFLUÊNCIA E TENDÊNCIA DO ENOS NO GLOBO. A) EN B) LN	32
FIGURA 7 - REGIÕES E BIOMAS BRASILEIROS	33
FIGURA 8 - REGIÕES DE OCORRÊNCIA E ÁREAS DE IDENTIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE TELECONEXÃO.....	41
FIGURA 9 - REGIÕES DO EN DO OCEANO PACÍFICO ORIENTAL E CENTRAL .	41
FIGURA 10 - FASE POSITIVA DOS PADRÕES PSA1, PSA2 E SAM.	42
FIGURA 11 - ÁREA DE INFLUÊNCIA DO SAM E SUA INTENSIDADE DURANTE DEZ/2021.....	43
FIGURA 12 - COMPARAÇÃO ENTRE A) TRANSFORMADA FOURIER, B) JANELA DE FOURIER E C) WAVELET	46
FIGURA 13 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA	49
FIGURA 14 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO IGUAÇU	50
FIGURA 15 - RELEVO DA BACIA NO RIO IGUAÇU	51
FIGURA 16 - CLIMA NA BACIA DO RIO IGUAÇU	52
FIGURA 17 - COBERTURA VEGETAL E OUTROS USOS DO SOLO NA BACIA DO RIO IGUAÇU.....	52
FIGURA 18 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS COM OS VALORES DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL.	54
FIGURA 19 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS COM OS VALORES DE TEMPERATURA MÉDIA ANUAL.....	54
FIGURA 20 - SÉRIE TEMPORAL DO ÍNDICE OCEÂNICO DO NIÑO 3.4 (1976 - 2021).....	55

FIGURA 21 - SÉRIE TEMPORAL DO ÍNDICE PADRÃO PACÍFICO-AMÉRICA DO SUL (1979 - 2021).....	56
FIGURA 22 - SÉRIE TEMPORAL DO ÍNDICE OSCILAÇÃO ANTÁRTICA (1979-2021).....	56
FIGURA 23 - POLÍGONOS DE THIESSEN DAS ESTAÇÕES ESCOLHIDAS.....	57
FIGURA 24 - FLUXOGRAMA DA ESCOLHA DAS DEFASAGENS DOS ÍNDICES DE SECA	63
FIGURA 25 - DIAGRAMA DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO DAS SUB-BACIAS DO A) ALTO, B) MÉDIO E C) BAIXO IGUAÇU.	66
FIGURA 26 - DIAGRAMA DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES MENSAIS DE TEMPERATURA MÉDIA DAS SUB-BACIAS DO A) ALTO, B) MÉDIO E C) BAIXO IGUAÇU.	67
FIGURA 27 - MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS MENSAIS DAS ESTAÇÕES DAS SUB-BACIAS.....	68
FIGURA 28 - BOX PLOT DAS SÉRIES MENSAIS DAS SUB-BACIAS OBTIDAS PELO POLIGONO DE THIESSEN.....	68
FIGURA 29 - PRECIPITAÇÃO ANUAL DAS SUB-BACIAS DO A) ALTO, B) MÉDIO E C) BAIXO IGUAÇU	69
FIGURA 30 - TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS ESTAÇÕES DAS SUB-BACIAS.....	70
FIGURA 31 - DISTRIBUIÇÃO ANUAL (SPI 12) PARA A SÉRIE DAS SUB-BACIAS.....	71
FIGURA 32 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 12 DA SBA.....	72
FIGURA 33 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 12 DA SBB.....	73
FIGURA 34 - DISTRIBUIÇÃO INTERANUAL (SPI 6) PARA A SÉRIE DAS SUB-BACIAS.....	74
FIGURA 35 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 6 DA SBA.....	75
FIGURA 36 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 6 DA SBB.....	76
FIGURA 37 - DISTRIBUIÇÃO TRIMESTRAL (SPI 3)	76
FIGURA 38 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 3 DA SBA.....	78
FIGURA 39 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 3 DA SBB.....	78
FIGURA 40 -DISTRIBUIÇÃO MENSAL (SPI 1) DAS SUB-BACIAS DO IGUAÇU. ...	78
FIGURA 41 - SPI 1 E SPI 12 DA SBA.....	81
FIGURA 42 - SPI 1 E SPI 12 (DEZEMBRO) DA SBB	82

FIGURA 43 - SPEI 1 E SPEI 12 (DEZEMBRO) DA SBA	83
FIGURA 44 - SPEI 1 E SPEI 12 (DEZEMBRO) DA SBB	83
FIGURA 45 - SPEI 12 E SPI 12 DA SBB	84
FIGURA 46 - PLOTAGEM TEMPORAL DO ONI 3.4 COM O SPI DA SBA NAS DEFASAGENS DE A) SPI 3 B) SPI 3 - PERÍODOS DAS ESTAÇÕES DO C) INTERANUAL (DEZEMBRO).....	86
FIGURA 47 - PLOTAGEN TEMPORAL DO ONI 3.4 COM O SPI DA SBB NAS DEFASAGENS DE A) 6 MESES B) PERÍODOS SECOS (SETEMBRO) E CHUVOSOS (MARÇO) DO SPI 6 E C) INTERANUAL (DEZEMBRO).	87
FIGURA 48 - PLOTAGEM DO SPI 1 E 12 COM O PSA 1 NA SBA	88
FIGURA 49 - PLOTAGEM DO SPI 1 E 12 COM O PSA 1 NA SBB	89
FIGURA 50 - PLOTAGEM DO SPI 1 E 12 COM O AAO NA SBA.....	90
FIGURA 51 - PLOTAGEM DO SPI 1 E SPI 12 COM O AAO NA SBB.....	90
FIGURA 52 - PLOTAGEM DO ONI 3.4, AAO E PSA1	92
FIGURA 53 - TRANFORMADA <i>WAVELET</i> DO SPI 1 NA SBA A) TRANSFORMADA B) SPI -1	94
FIGURA 54 - TRANFORMADA <i>WAVELET</i> DO SPI 12 NA SBA A) TRANSFORMADA B) SPI -12.....	95
FIGURA 55 - TRANFORMADA <i>WAVELET</i> DO SPI 1 NA SBB A) TRANSFORMADA B) SPI -1	96
FIGURA 56 - TRANFORMADA <i>WAVELET</i> DO SPI 12 NA SBB A) TRANSFORMADA B) SPI -12.....	96

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DOS REGIMES DE PRECIPITAÇÃO SOBRE O BRASIL	28
QUADRO 2 - ÍNDICES UTILIZADOS	55
QUADRO 3 - RESULTADO DO SPI 1 DURANTE 2017-2021 NA SBB E SBA.....	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DO SPI/SPEI.....	62
TABELA 2 - TESTE DE MANN-KENDALL DA SÉRIES MÉDIAS MENSAS (1976- 2021).....	70
TABELA 3 - FREQUÊNCIA RELATIVA DO SPI-12	72
TABELA 4 - FREQUÊNCIA RELATIVA DO SPI 6.....	75
TABELA 5 - FREQUÊNCIA RELATIVA DO SPI 3.....	77
TABELA 6 - FREQUÊNCIA RELATIVA DO SPI 1.....	79
TABELA 7 - MESES CLASSIFICADOS COMO EXTREMOS	79
TABELA 8 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O SPI E SPEI NAS DEFASAGENS DE 1, 3, 6 E 12 MESES (1980- 2018).	84
TABELA 9 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O SPI NAS DEFASAGENS DE 1, 3, 6 E 12 MESES E OS ÍNDICES ONI *, PSA 1 E AAO	85
TABELA 10 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O SPI NAS DEFASAGENS DE 1, 3, 6 E 12 MESES EXTREMOS COM OS ÍNDICES ONI, PSA 1 E AAO	85
TABELA 11 - VALORES DOS ÍNDICES DOS EVENTOS DE EXTERMOS DE SECAS E CHUVAS DURANTE 1976 A 2021	91
TABELA 12 - CORRELAÇÃO MENSAL DO SPI-1 DURANTE 1979 A 2021.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

AAO	Oscilação Antártica
ANE	Ventos alísios de nordeste
ASE	Ventos alísios de sudeste
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CCMs	Complexos convectivos de Mesoescala
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Secas
EN	El Niño
ENOS	El Niño - Oscilação Sul
FF	Frente Fria
FMPT	Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão
GEE	Gases do Efeito Estufa
IAT	Instituto Água e Terra
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
LN	La Niña
MJO	Oscilação de Madden-Julian
NEB	Nordeste Brasileiro
NOA	Oscilação do Atlântico Norte
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONI	Índice Oceânico do Niño
PSA	Padrão Pacífico-América do Sul
RAI	Rainfall Anomaly Index
SAD	Dipolo do Atlântico Sul
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SEB	Semiárido Brasileiro
SPEI	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
SPI	Standard Precipitation Index
SSA	Sub-bacia do Alto Iguaçu
SSB	Sub-bacia do Baixo Iguaçu
SSM	Sub-bacia do Médio Iguaçu

SUDERHSA Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

TSM Temperatura da Superfície do Mar

UNESCO Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

VCAN Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

ZCAS Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS	22
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA	23
2.2 EVENTOS EXTREMOS: DEFINIÇÕES, CONCEITOS E EXEMPLOS	24
2.3 EVENTOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS A PRECIPITAÇÃO NO BRASIL	27
2.4 EL NIÑO - OSCILAÇÃO SUL (ENOS)	29
2.5 EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NO BRASIL: IMPACTOS E DESAFIOS	33
2.6 EVENTOS EXTREMOS NO ESTADO DO PARANÁ	37
2.7 ÍNDICES DE SECA	38
2.8 ÍNDICES CLIMÁTICOS	40
2.8.1 Índice Oceânico do Niño (ONI)	41
2.8.2 Padrão Pacífico-América do Sul (PSA)	42
2.8.3 Oscilação Antártica (AAO) ou Modo Anular Sul (SAM)	43
2.9 TRANSFORMADA WAVELET	44
3 MÉTODOS	49
3.1 ÁREA DE ESTUDO	49
3.2 DADOS UTILIZADOS	53
3.2.1 Precipitação e Temperatura	53
3.2.2 Séries de índices climáticos	55
3.3 CÁLCULO DOS VALORES MÉDIOS NA BACIA	56
3.4 ÍNDICES DE SECA	57
3.4.1 SPI	57
3.4.2 SPEI	59
3.4.3 Classificação e escolha das defasagens dos índices de seca	62
3.5 TRANSFORMADA WAVELET	63
3.6 COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E TESTE ESTATÍSTICOS	64
4 RESULTADOS	66
4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DAS SÉRIES	66
4.2 RESULTADO DOS ÍNDICES DE SECA	70
4.3 CORRELAÇÕES DOS ÍNDICE DE SECA E DE TELECONEXÕES	84
4.3.1 SPI E ONI	85

4.3.2 SPI E PSA1	88
4.3.3 SPI E AAO.....	89
4.3.4 RESUMO DOS EVENTOS.....	91
4.4 ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DOS SINAIS POR TRANSFORMADA <i>WAVELET</i>	93
5 CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS.....	100
APÊNDICE A - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	116
APÊNDICE B - ESTAÇÕES CLIMATÓLOGICAS.....	118
APÊNDICE C - ANÁLISE DESCRITIVA DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO	118
C.1 - ANÁLISE DESCRITIVA DAS ESTAÇÕES DA SBB	118
C.2 - ANÁLISE DESCRITIVA DAS ESTAÇÕES DA SBM.....	119
C.3 - ANÁLISE DESCRITIVA DAS ESTAÇÕES DA SBA	119
APÊNDICE D - RESULTADOS DO SPI DA SBM	120
D. 1 - SPI 12.....	120
D. 2 - SPI 6.....	120
D. 3 - SPI 3.....	120
D. 4 - SPI 1 E SPI 12.....	121
APÊNDICE E - QUADRO RESUMO DO RESULTADO DO SPI.....	121
APÊNDICE F - SPEI DA SBM	122
APÊNDICE G - PLOTAGEM TEMPORAL DO ONI 3.4 COM O SPI DA SBM NAS DEFASAGENS DE A) SPI 3 B) SPI 3 - PERÍODOS DAS ESTAÇÕES DO C) INTERANUAL (DEZEMBRO)	122
APÊNDICE H - PLOTAGEM DO SPI 1 E SPI 12 COM O PSA 1 NA SBM	123
APÊNDICE I - PLOTAGEM DO SPI 1 E SPI 12 COM O AAO NA SBM	123
APÊNDICE J - TRANSFORMADA <i>WAVELET</i> DO SPI 1 DA SBM	124
APÊNDICE K - TRANSFORMADA <i>WAVELET</i> DO SPI 12 DA SBM.....	124

1 INTRODUÇÃO

É de senso comum a compreensão da importância dos recursos hídricos para a sobrevivência e manutenção da vida humana. O ciclo hidrológico é o processo responsável por realizar, de modo geral, as interações e a movimentação contínua da água entre a atmosfera e a superfície terrestre, mantendo o equilíbrio na disponibilidade hídrica no globo. Neste ciclo, a precipitação é um dos principais componentes, assumindo um papel vital para o equilíbrio ecológico, regularização dos rios, formação de aquíferos, abastecimento urbano e para a realização de diversas atividades humanas do âmbito social e econômico (WANG; ASEFA; ERYIHUN, 2021).

Frente a isto, compreender a variabilidade pluviométrica e a sua dinâmica hidroclimática é de grande importância para a gestão dos recursos hídricos, pois influi no planejamento urbano e no desenvolvimento de atividades industriais, agrícolas e ambientais, bem como na realização de obras de saneamento, barragens, sistemas de drenagem, reservatórios de usinas hidrelétricas e em outros projetos.

Esta variabilidade se dá pelo fato de a chuva ser uma variável sensível às alterações no meio, podendo estar associada à ocorrência de eventos climáticos, anomalias de variáveis climáticas, alterações do meio físico e/ou devido às ações antrópicas, como a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) e uso e ocupação do solo de forma incorreta (SILVA; MONTENEGRO; SOUZA, 2017).

Durante as últimas décadas a aceleração do aquecimento global tem sido a principal alteração climática associada a ações antrópicas, pois o aumento da emissão de dióxido de carbono (CO_2), gás metano (CH_4) e outros gases na atmosfera têm provocado anomalias na temperatura superficial do mar (TSM) e no globo que, por sua vez, alteram o ciclo hidrológico. Na região sul do Brasil, o aquecimento global tem colaborado na ocorrência de chuvas intensas e de doenças respiratórias, além de impactar diretamente a produção de grãos (GRIMM, 2009; GRIMM; MARENGO, 2007; NATORI, 2006; SILVA; GUETTER, 2003).

Quadros (2017, p. 16-19) alertou que alterações climáticas estão também associadas ao desmatamento na Amazônia e causando vulnerabilidade climática no Nordeste, redução das vazões nas bacias do Centro-Oeste e impactos na agricultura no Sul e Sudeste.

Os eventos teleconexões são fenômenos climáticos comumente associados a anomalias nos padrões de precipitação. São eventos que ocorrem em um local fixo,

mas que devido à circulação atmosférica e interações oceânicas, influencia regiões remotas do globo (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009; NASCIMENTO JR., 2014).

Entre as teleconexões, o El Niño - Oscilação Sul (ENOS) se destaca por possuir a maior variabilidade climática interanual em diferentes regiões do globo e por ser o evento com maior associação na precipitação (VEIGA; YUAN, 2022). Possui forte interação com outros eventos climáticos e é capaz de produzir alterações na TSM do Oceano Pacífico Tropical, na pressão e nos ventos (GRIMM, 2003).

Além do ENOS no sul do Brasil, outros padrões de teleconexões podem ter relação com as chuvas, destacando-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), Padrão Pacífico-América do Sul (PSA), Oscilações da Antártica (AAO) e o Dipolo do Atlântico Sul (SAD) (AQUINO, 2012; CORREA; GALVANI, 2017; GRIMM, 2007; LINDEMANN; JUSTINO, 2015; REBOITA *et al.*, 2010; SOUZA; REBOITA, 2021).

O monitoramento desses eventos é realizado por centros de pesquisas tal como, o *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e a Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão (FMPT) apresentado por Souza e Reboita (2021), onde é possível obter os índices de diversos eventos climáticos.

Tais sistemas atmosféricos, fenômenos climáticos e alterações dos padrões de variáveis climáticas podem provocar eventos extremos de precipitação, que estão principalmente vinculados à ocorrência de enchentes, alagamentos, deslizamentos, estiagens e períodos de secas (GOUDARD; MENDONÇA, 2017; NERY; SIQUEIRA, 2020; QUADROS, 2017).

A seca é um evento climático que ocorre com maior frequência em regiões áridas. É um evento cíclico que ocorre após um longo período com redução ou ausência de precipitação. Enquanto as enchentes, são resultados de um curto ou longo período de tempo com chuvas intensas.

Nos últimos anos, períodos de secas têm sido relatado em todas as regiões do Brasil, como foi em 2015 no Sudeste em que houve impactos no abastecimento de grandes cidades e na geração de energia (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2016; MARENGO *et al.*, 2015). Na região Amazônica pesquisadores já alertaram sobre o aumento da seca devido às ações antrópicas e climáticas (MEIR *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2017). No semiárido brasileiro, a região mais assolada pela seca, além da escassez de água para uso humano e animal, ainda se tem a intensificação do processo de desertificação e de aridez e erosão do solo (MAGALHÃES, 2016, p.19).

Quanto aos eventos extremos de chuvas, eles provocam alagamentos, deslizamentos de terras, bloqueio de vias terrestres, perdas de cultivos e prejuízos no setor econômico, social e ambiental por todo o Brasil. Contudo, em determinadas regiões com maiores desníveis topográficos, ocupação irregular e solos susceptíveis a deslizamentos há maiores impactos, como na região serrana do Rio de Janeiro e na bacia do Rio Doce (AMORIM *et al.*, 2018; TORRES; CARMO; PALMEIRA, 2020).

Eventos extremos estão sujeitos a acontecer em qualquer região do globo e devido à intensificação e recorrência de tais eventos, é de vital importância a ação conjunta de gestores públicos, pesquisadores e da sociedade. No Brasil lidar com questões que envolvem o monitoramento e a prevenção de impactos ocasionados por eventos hidrológicos extremos é um desafio, devido às particularidades e características de cada região.

Portanto, entende-se que o monitoramento e previsões de secas e enchentes são de extrema importância para garantir o equilíbrio do ecossistema e para promover ações de mitigação e prevenção de impactos. Nesse contexto, os índices hidrometeorológicos surgem como ferramenta para a análise destes eventos, sendo eles diversos e desenvolvidos metodologias simples e sofisticadas (MARRAFON; REBOITA, 2020; BABRE; *et al.*, 2022; KIM; BYUN; CHOI, 2009; YANG, 2020).

Entre estes índices, diversas pesquisas têm utilizado o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), Índice de Precipitação Padronizado (SPI), Índice de Evapotranspiração de Precipitação Padronizado (SPEI), Índice de Anomalia de Chuva (IAC), Índice de Recuperação de Seca (RDI) e o Índice padronizado de escoamento (SRI) (BEVACQUA *et al.*, 2021; INOCÊNCIO *et al.*, 2021; PAREDES-TREJO *et al.*, 2021; ROCHA *et al.*, 2021).

Os índices mais recomendados e utilizados são o SPI que utiliza apenas dados de precipitação e o SPEI que realiza um balanço hídrico simples com dados de chuva e temperatura. Chamados de índices de seca, ambos os índices podem ser obtidos a partir da defasagem em meses.

Tais índices apesar de não conseguirem representar tão bem séries não-estacionárias, imprimem resultados satisfatórios para a caracterização e análise da pluviometria e de episódios de seca (INOCÊNCIO *et al.*, 2021; PLOSZAI, 2020). Babre *et al.* (2022) utilizou o SPI, SPEI e índices de vazão e escoamento para analisar secas nas águas subterrâneas na região dos Países Bálticos e concluíram que tais índices são úteis para compreender fenômenos locais. De mesmo modo, Liu *et al.* (2021)

concluíram que os resultados obtidos com o SPEI e SPI são práticos e instrutivos na avaliação da seca e na gestão de risco.

Adicionalmente, como alternativa para melhor analisar os sinais de dados não estacionários, têm-se a Transformada *Wavelet* que permite realizar transformações no domínio tempo-frequência, utilizando funções que são capazes de decompor os sinais em “janelas” de tempo e dimensões variáveis capazes de identificar frequência na escala temporal (BOLZAN, 2006; SANTOS; FREIRE; TORRENCE, 2013).

Considerando o exposto, o presente trabalho se propõe a aplicar diferentes métodos de análise da pluviometria de uma região. Utiliza-se como estudo de caso a bacia do rio Iguaçu, uma importante região do estado do Paraná. Os objetivos são sistematizados nos próximos subitens.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral

Analisar a variabilidade pluviométrica da bacia do Rio Iguaçu/PR durante o período de 1976 a 2021 com índices de seca e climáticos, a fim de identificar e analisar os eventos extremos pluviométricos, períodos secos e úmidos e a influência dos fenômenos climáticos sob a precipitação da região.

Objetivos específicos

Para tanto, têm-se como objetivos específicos:

1. Realizar a análise descritiva da série histórica nas sub-bacias do alto, médio e baixo Iguaçu.
2. Identificar e classificar os eventos extremos pluviométricos com os índices de seca SPI e SPEI.
3. Analisar as possíveis correlações entre os índices de seca e os eventos climáticos ENOS, PSA e AAO.
4. Identificar padrões de frequência e temporalidade das séries dos índices de seca utilizando a Transformada *Wavelet*.

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos: o primeiro consiste na introdução e objetivos supracitado; o segundo contém a fundamentação teórica, que traz definições sobre variabilidade pluviométrica, um histórico da ocorrência de eventos extremos no Brasil e seus impactos, aplicabilidade dos índices hidroclimáticos, discorre sobre as definições e a influência dos eventos de teleconexões sobre precipitação e também, fomenta e relata as aplicações da transformada de *wavelet* em séries hidrológicas.

O terceiro capítulo traz a metodologia da pesquisa e o detalhamento matemático dos índices e dos outros métodos utilizados. O quarto contém as informações da área de estudo, os resultados e discussão. E o último capítulo contém as considerações finais do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a discussão teórica acerca dos principais temas abordados na dissertação, os quais serviram de base para a compreensão de determinados conceitos e para o detalhamento dos temas específicos.

Onde haverá a contextualização da variabilidade pluviométrica e climática e das principais variáveis e eventos climáticos que influenciam nos regimes de chuvas. Assim como, nos impactos ocasionados por eventos extremos nas regiões do Brasil. Os últimos tópicos trarão a fundamentação teórica e aplicabilidade dos índices de seca e climáticos utilizados, como também da transformada *wavelet*.

2.1 VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA

De acordo com Bertoni & Tucci (2002) a precipitação é considerada toda a água que provém da atmosfera a depender de seu estado físico, podendo ser em forma de neblina, chuva, geada, orvalho, granizo e/ou neve. Em países tropicais como o Brasil, a chuva é a principal forma de precipitação e a base do ciclo hidrológico, sendo a responsável por manter a recarga dos aquíferos a disponibilidade de água nas bacias hidrográficas (TERASSI, 2019, p. 20).

A variabilidade pluviométrica tem como principais características a sensibilidade e incerteza de sua frequência e magnitude. Tal afirmação é decorrente da gama de fatores climáticos naturais e de ações antrópicas que podem influenciar a precipitação. Ao ter seu regime normal alterado, a chuva pode ocasionar eventos extremos que variam de acordo com a sua frequência, total precipitado e a sua distribuição temporal e espacial (LOHMANN, 2011; TERRASI, 2019).

As alterações climáticas referem-se às variações de padrões meteorológicos (temperatura, precipitação, níveis do mar e pressão atmosférica) e podem ser provocados por causas naturais e/ou atividades humanas. A variabilidade climatológica explica os padrões atmosféricos e a forma cíclica e periódica em que ocorrem os fenômenos. Para alguns autores, a variabilidade está mais correlacionada à ocorrência natural destes eventos. Contudo, entende-se tais alterações podem influenciar de modo direto e indireto nos padrões de clima e chuva em diferentes regiões do globo (GRIMM *et al.*, 2020; MARENGO; NOBRE; SALATI; AMBRIZZI, 2007; NASCIMENTO JR, 2017; SCRICCO, 2016; SILVA; MONTENEGRO; SOUZA,

2017). Nos próximos tópicos será detalhado acerca dos fenômenos climáticos no Brasil.

Os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) alertam sobre as alterações climáticas e discorrem sobre os impactos ambientais e sociais da atualidade e do futuro. No último relatório publicado em 2021 o AR-6 (IPCC, 2021) foi citado que os danos ambientais e climáticos causado por ações antrópicas e naturais já são considerados irreversíveis. Estima-se que o mundo atingirá seu limite máximo de aquecimento de 1,5°C o que causará desequilíbrio em todo o ecossistema terrestre (BOLSON; HAONAT, 2016; HU; SUN, 2021; ZHOU *et al.*, 2021).

Esses fatores estão provocando eventos anômalos de precipitação que ocasionam inundações costeiras, deslizamentos de terra, períodos de seca, danos na infraestrutura de cidades, alagamentos em áreas urbanas e prejuízos no setor agrícola e pecuário. Como também, poluição de rios e a mortandades de animais, além de impactos econômicos e sociais como o desalojamento de famílias e até vítimas fatais (CALOIRO *et al.*, 2016; DIAS, 2014; SILVA; MONTENEGRO; SOUZA, 2017).

Com isto, compreender a variabilidade pluviométrica permite analisar padrões espaço-temporais em escalas regionais e locais, auxiliando na gestão de recursos hídricos e em conflitos durante situações de emergência. É essencial também para a elaboração de obras hidráulicas, construções de reservatórios e usinas hidrelétricas, manejo do solo e outras atividades essenciais para a manutenção da vida humana (DORNELES, 2017; SILVA *et al.*, 2020).

Faz-se necessário, portanto, uma série de ferramentas para que a análise hidroclimática resulte em previsão, prevenção e a formulação de medidas que possam auxiliar na mitigação dos impactos de eventos extremos. Neste contexto, o banco de dados hidrológicos é uma ferramenta crucial para tais análises.

No Brasil, as séries históricas de chuvas mais antigas são datadas nos meados dos anos de 1900 (DETZEL, 2015). Contudo, sabe-se que grandes partes destas séries possuem dados inconsistentes, com falhas de modo que é necessário o tratamento prévio destes dados para se obter uma série temporal representativa.

2.2 EVENTOS EXTREMOS: DEFINIÇÕES, CONCEITOS E EXEMPLOS

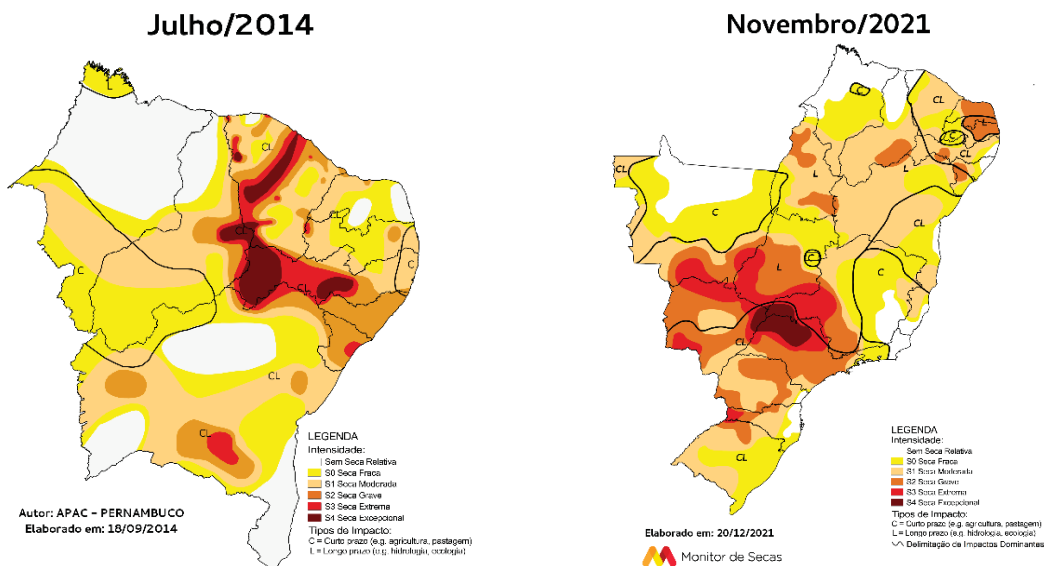
A seca é definida como um fenômeno natural, não homogêneo e casual de declínio contínuo e temporário que apresenta precipitações abaixo do esperado

durante um período de tempo considerável. Sendo capaz de impactar uma região a ponto de afetar o suprimento de água para atividades humanas (MARENGO; TORRES; ALVES, 2016; TAVARES; ARRUDA; SILVA, 2019; TSIROS *et al.*, 2020).

Há quatro classificações usuais para a seca: a meteorológica, hidrológica, agrícola e a socioeconômica. Todos os conceitos são codependentes pois, a seca meteorológica (ou estiagem) é medida através do desvio da precipitação em torno da média e seu prolongamento causa a seca hidrológica e agrícola, que por fim causam a diminuição nos níveis dos recursos hídricos que afetam na distribuição de água, causando a seca socioeconômica (CEMADEN, 2021; MISHRA; SINGH, 2010; WILHITE; GLANTZ, 1987).

Além disso, os eventos de secas e estiagens são considerados cíclicos passíveis de ocorrerem em todas as zonas climáticas e globais. No Brasil, Ferreira (2017) relata que as secas são os eventos climáticos de maior incidência e impacto. O Monitor de Secas, criado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) traz os relatórios e mapas das regiões do Brasil mais atingidas por eventos de seca, sendo possível ver na FIGURA 1, que os primeiros relatórios abordavam somente o nordeste brasileiro enquanto relatórios mais recentes já mostram grande parte do Brasil. (ANA, 2022).

FIGURA 1 - MONITOR DE SECAS EM JULHO DE 2014 E NOVEMBRO DE 2021



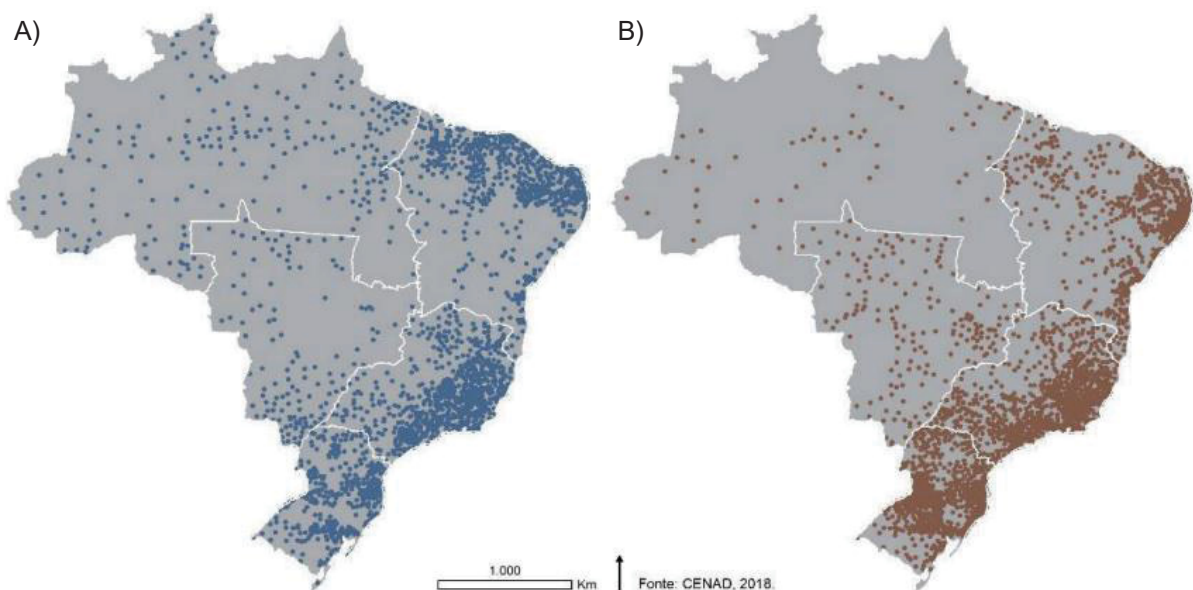
FONTE: ANA (2022).

Mandelbrot & Wallis (1968) encontraram um padrão de tendências de baixas precipitações que se mantém por períodos longos de 35 a 50 anos e chamaram tal observação de Efeito José. O que reforçou a ideia que eventos de secas são cíclicos em curtos períodos, mas que apresentam padrões em larga escala temporal.

Os autores também definiram o Efeito Noé, caracterizado por eventos com alta pluviometria que são marcados pela descontinuidade dos regimes normais de chuva de forma abrupta e em curtos períodos ou estações do ano (MANDELBROT; WALLIS, 1968; ZUFFO, 2015). Os Efeitos Noé e José foram observados por Silva (2013) na bacia do rio São Francisco onde, com dados de cotas de vazão e análises com a transformada *wavelet*, foram observados períodos e padrões com cotas máximas e mínimas. Contudo é possível aferir que a falta de dados hidrológicos não permite a avaliação de tais fenômenos de forma concisa

Os eventos pluviométricos, têm seus impactos intensificados em diferentes regiões a depender das características físicas e ambientais da região e da estruturação das cidades. Os movimentos de massa, deslizamentos, inundações e alagamentos causados pelo excesso de chuvas geram transtornos e danos irreversíveis na qualidade de vida das pessoas e na economia local. Alguns registros desses desastres estão descritos na FIGURA 2 (FERREIRA, 2017; PEREZ; RODRIGUES FILHO; MARENGO; SANTO *et al.*, 2020).

FIGURA 2 - REGISTROS DE DESASTRES. A) INUNDAÇÕES, ENXURRADAS E ALAGAMENTOS 2005-2015; B) DESLIZAMENTOS DE TERRA 2005-2015



FONTE: Adaptado de Perez *et al.* (2020)

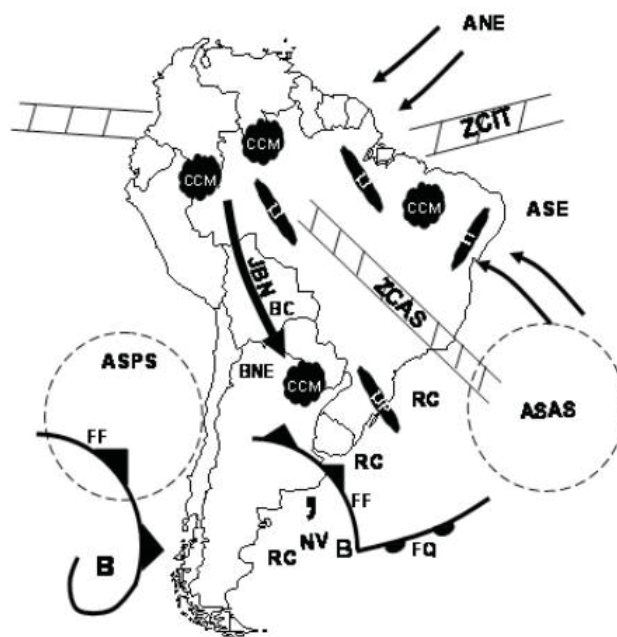
2.3 EVENTOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS A PRECIPITAÇÃO NO BRASIL

Como dito anteriormente, as precipitações de uma região podem também ser influenciadas por eventos climáticos. Dias & Silva (2009) descrevem que o clima é caracterizado por dois sistemas interagindo entre si: a água e o ar, sendo a energia solar a variável responsável por garantir a dinâmica entre a atmosfera e os oceanos.

As variáveis climáticas (ventos, radiação solar, temperatura, umidade e outras), definem os regimes de chuvas e a ocorrência de eventos climáticos no globo. O Brasil, devido à sua dimensão territorial e por possuir regiões com características singulares, está sob influência de diversos sistemas climáticos.

Reboita *et al.* (2010) mostraram detalhes na FIGURA 3 os sistemas climáticos supracitados e em qual região da América do Sul eles atuam.

FIGURA 3 - ESQUEMA DOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL NA BAIXA TROPOSFERA



FONTE: Adaptado de Reboita *et al.* (2010).

LEGENDA: Em relação à baixa troposfera tem-se: ANE ventos alísios de nordeste, ASE ventos alísios de sudeste, ASAS anticiclone subtropical do Atlântico Sul, ASPS anticiclone subtropical do Pacífico Sul, B baixa pressão, BC baixa do Chaco - região de baixas térmicas, BNE. Em região de baixas térmicas no noroeste argentino, CCM complexo convectivo de mesoescala, FF frente fria, FQ frente quente, JBN jato de baixos níveis a leste dos Andes, LI linha de instabilidade tropical, LIP linha de instabilidade pré-frontal, NV nuvem vírgula, RC regiões ciclogênicas, ZCAS zona de convergência do Atlântico Sul e ZCIT zona de convergência intertropical.

Dentre os principais sistemas atmosféricos que ocorrem no país são comumente citados a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Frente Fria (FF) e o Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM). Além disso, têm-se os eventos influenciados por alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), como o El Niño Oscilação-Sul (ENOS) associado à TSM do Oceano Pacífico Equatorial e a Oscilação do Atlântico Norte (NOA) ao Atlântico Norte (MARENGO; ALVES; ALVALA *et al.*, 2017; MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009, p. 26-35).

O QUADRO 1 compila as informações dos sistemas climáticos supracitados e suas regiões de atuação no Brasil. Com relação à região Sul e Sudeste do Brasil, Corrêa e Galvani (2017) relataram que a ZCAS, os processos convectivos locais, os sistemas ligados à massa de ar polar Atlântica (mPa) e os CCMs são os sistemas que mais influenciam na precipitação da região.

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DOS REGIMES DE PRECIPITAÇÃO SOBRE O BRASIL

Região	Característica do ciclo Anual de Precipitação	Sistemas Atmosféricos Atuantes
Norte da Região Norte e Litoral do Nordeste	Máximos de precipitação no primeiro semestre do ano. Região norte do Brasil total em torno de 2000 mm/ano. No litoral cerca de 1500 mm/ano	ZCIT; convecção por aquecimento radiativo da superfície; CCMs tropicais; ventos alísios, circulação de brisa; LI; ondas de leste; cavado do nordeste do Brasil; VCANs tropicais; ASAS; frentes frias.
Semiárido	Máxima de precipitação no verão e mínima no inverno. Total anual em cerca de 200 a 800 mm/ano	Ramo descendente da circulação zonal propiciada pela atividade convectiva na Amazônia; ZCIT; VCANs tropicais; frentes; ASAS
Sul (PR, SC, RS)	Precipitação anual homogênea e elevada (1050-1700 mm/ano) e no oeste sul (1750-2100 mm/ano)	Ciclones; Frentes Frias; VCAN's subtropicais; LI; CCM's subtropicais; Bloqueios atmosféricos; ZCAS; ASAS.
Noroeste (AM, RR, AC, RO), Centro-Oeste (MT, GO, MS) e Sudeste (MG, SP, RJ, ES)	Máximos de precipitação no verão e mínimos no inverno. Precipitação média no Noroeste de 2450 mm/ano e no Sudeste e centro-oeste em torno de 1500 mm/ano	Ventos alísios; JBN a leste dos Andes; ASAS; convecção por aquecimento radiativo da superfície; AB; ZCIT; circulação de brisa; LI tropicais pré-frontais; CCMs tropicais; frentes; VCANs subtropicais; ciclones

FONTE: Adaptado de Reboita *et al.*, (2010).

Os fenômenos climáticos de teleconexões, ou seja, que ocorrem em um lugar específico mas que influenciam em outras partes do globo que podem influenciar no clima da América do Sul são: a Oscilação no Atlântico Norte (NAO), Oscilação Multi-decadal do Atlântico (AMO), Oscilação Madden-Julian (OMJ), Oscilação Antártica

(OA)/ Modo Anular Sul (SAM), alterações dos Padrões do Atlântico Norte (PNA), Pacífico-América do Sul (PSA) e o El Niño - Oscilação Sul (ENOS) (CATALDI *et al.*, 2010; SANTOS; FRANCO, 2011; SILVA; SILVA; 2012; ZHANG *et al.*, 2022; SOUZA; REBOITA, 2021).

Nimer (1989) expõe que o estado do Paraná possui uma grande variabilidade espacial e temporal de chuvas devido ao clima transicional influenciado pela massa de ar equatorial continental, tropical continental, tropical atlântica e polar atlântica. Sendo o ENOS o evento de teleconexão com maior associação à precipitação no estado (CORREA, 2017). Sendo assim, o fenômeno será detalhado no tópico a seguir.

2.4 EL NIÑO - OSCILAÇÃO SUL (ENOS)

Frequentemente pesquisado e relatado em canais de informações, o ENOS aparece como um dos principais fenômenos responsáveis pela variabilidade interanual da precipitação no Brasil e no mundo. É um evento de interação oceano-atmosfera associado principalmente aos padrões normais da TSM, no Oceano Pacífico Equatorial (CORREA, 2017; GRIMM, 2009, p. 137).

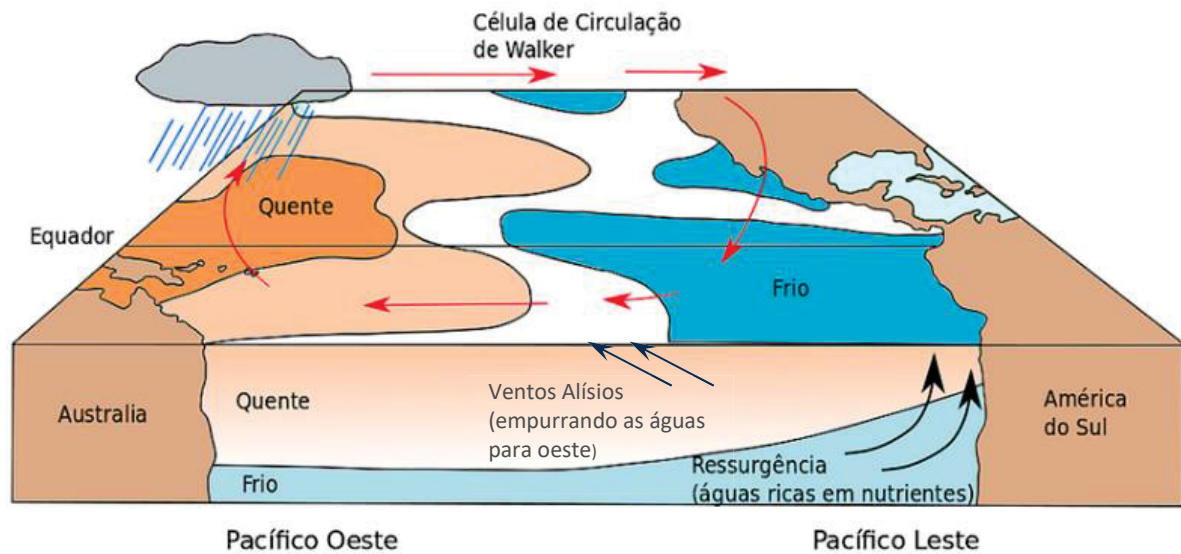
A expressão El Niño faz referência ao menino Jesus e foi denominada no século passado por pescadores peruanos que observaram que durante a época natalina acontecia o aquecimento das águas do litoral o que prejudicava a pesca. Tal observação foi sendo estudada até que se compreendessem as variáveis que envolvem o ENOS (ENFIELD, 2003; GRIMM, 2015; OLIVEIRA, 2001).

Com isto, outros acontecimentos passaram a ser explicados com ocorrência do ENOS, como o aumento nos níveis das águas do oceano Pacífico Equatorial Leste, a ausência de ressurgência de águas frias e a superposição das águas frias por correntes de águas quentes na costa oeste da América do Sul. E também, em alterações no vento e na convecção tropical do oceano Pacífico (Grimm, 2009).

Circulação de Walker é um dos principais componentes do ENOS e ocorre entre as regiões com baixas e médias latitudes (OLÍMPIO, 2017). De modo que, os ventos alísios (ANE e ASE) circulam a região equatorial sob a América do Sul de leste (costa do Peru) para oeste (região da Austrália) mantendo a temperatura oceânica.

A FIGURA 4 ilustra a dinâmica climática da Célula de Walker em anos considerados neutros e representa os padrões de precipitação, pressão e temperatura considerados ideais para a região do Pacífico Equatorial.

FIGURA 4 - DINÂMICA DA CÉLULA DE CIRCULAÇÃO DE WALKER



FONTE: Adaptado de Leonel (2022).

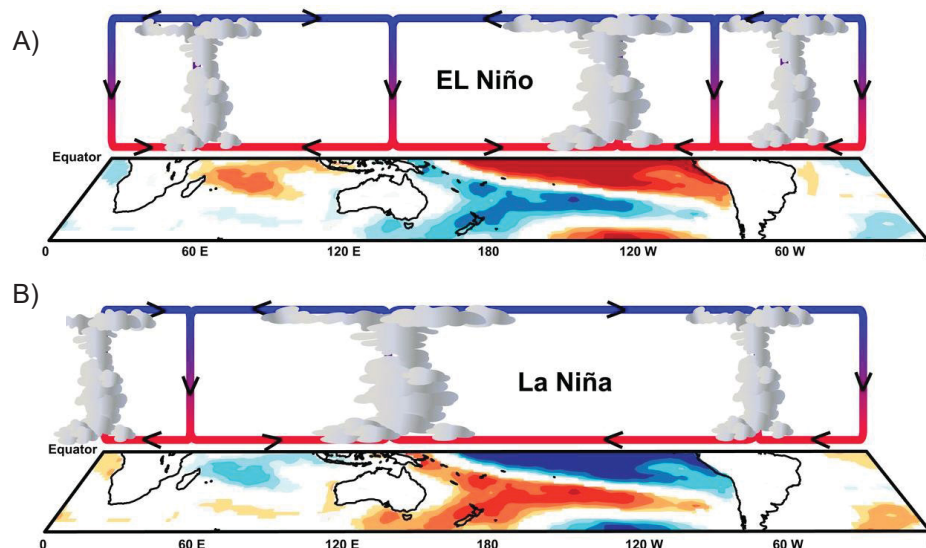
A dinâmica da circulação de Walker em condições normais ocorre da seguinte forma: os ventos alísios transportam as águas superficiais quentes do Pacífico Leste para o oeste, onde encontram um sistema de baixa pressão devido ao aquecimento do ar. Então, há uma maior convecção e liberação de calor latente que favorece a evaporação local e a formação de nuvens que, por fim, acarretam em precipitação na região da Austrália. Enquanto isso, na região da costa da América do Sul ocorre o processo de ressurgência de águas frias (corrente marítima de Humboldt), onde há diminuição do nível do mar e o aumento da quantidade de nutrientes e microrganismos na costa do Peru (COSTA, 2012; FERREIRA, MELLO, 2005; OLÍMPIO, 2017)

Os regimes das precipitações em diferentes regiões do planeta são influenciados pelas perturbações de larga escala do fenômeno ENOS que produzem alterações na TSM, na pressão, no vento e na convecção tropical do oceano Pacífico (GRIMM, 2009). Este fenômeno é classificado em três fases: o El Niño (EN), a La Niña (LN) e a fase neutra. Tais fases são caracterizadas de acordo com a magnitude dos eventos por meio de índices (SILVA, 2020).

As fases EN e LN acontecem quando há anomalias nas variáveis que envolvem a dinâmica na Circulação de Walker. Na fase de EN ocorre o enfraquecimento da intensidade dos ventos alísios, que praticamente param, fazendo com que ocorra a intensificação de ventos contrários que circulam de oeste para leste

favorecendo a surgência de águas superficiais quentes na costa do Peru, no Oceano Pacífico (FIGURA 5A). Tal situação favorece a ocorrência de baixas precipitações nas regiões da Austrália e altas precipitações no Pacífico central.

FIGURA 5 - ANOMALIAS DA TSM, MUDANÇAS RESULTANTES DO AQUECIMENTO TROPICAL E CONVECÇÃO DA CÉLULA DE WALKER SOB CONDIÇÃO DO A) EN E B) LN



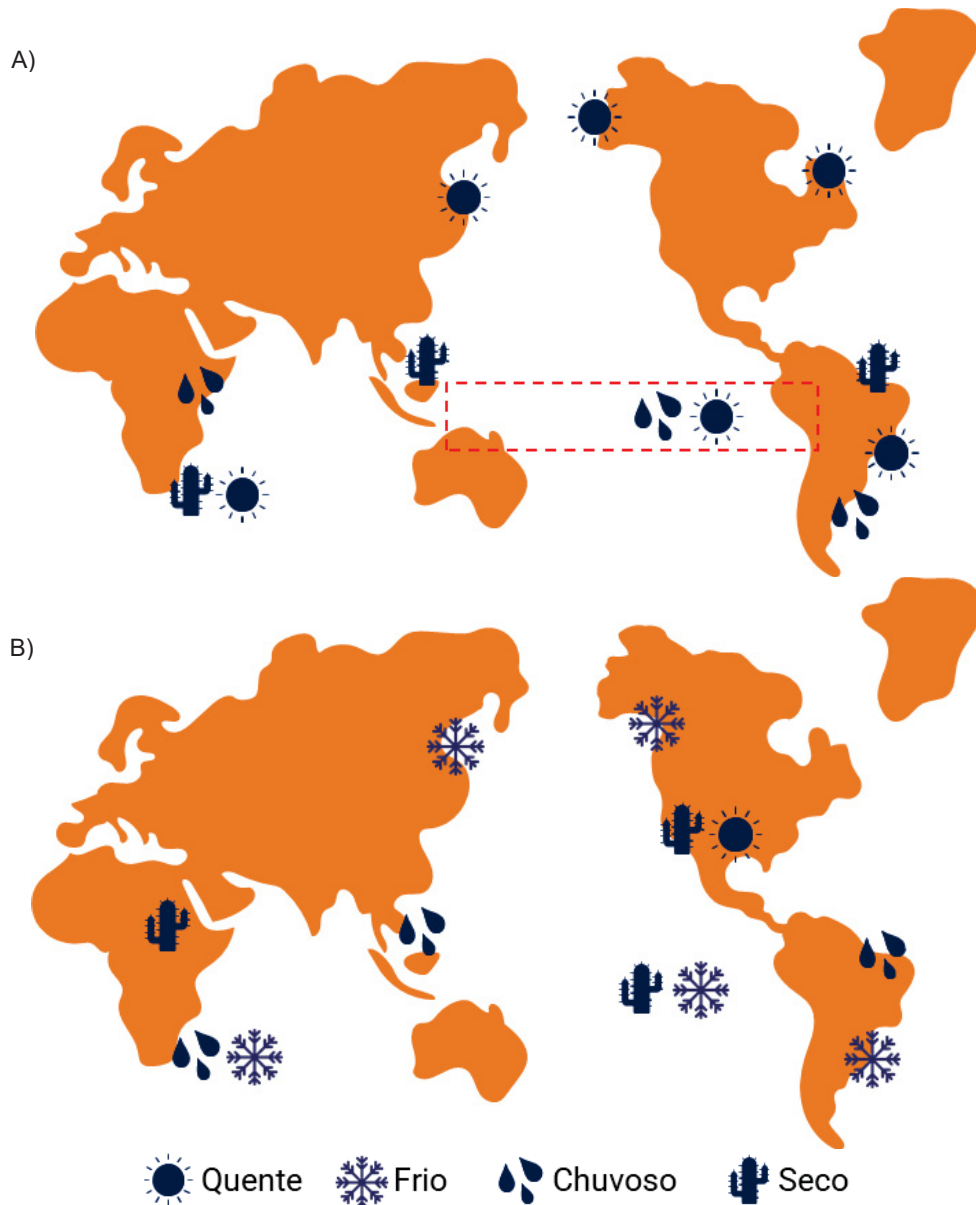
FONTE: Adaptado de Kaboth-Bahr *et al.* (2021)

Estima-se que durante a fase do EN a TSM sobe cerca de 8°C na região da costa da América do Sul (OLIVEIRA, 2001). Já durante a fase LN (FIGURA 5B) ocorre a intensificação dos ventos alísios. Nesse caso, há maior transporte de água quente para o oeste, aumentando as precipitações na região da costa da Austrália e causando um desequilíbrio inverso ao EN.

O ENOS é um fenômeno de escala global e sazonal que, a depender das condições naturais e do tempo de resposta aos seus efeitos, implicam em características diferentes em diferentes regiões (GRIMM, 2009). O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) traz os modelos de previsões do EL e LA conforme mostrado na FIGURA 6.

Observa-se na FIGURA 6A que na América do Sul é acentuada a ocorrência de seca na região norte e nordeste do Brasil e chuvas mais expressivas no sul e sudeste. E na FIGURA 6B durante a fase LN as condições são opostas, com acentuação de frio e clima seco no sul do Brasil.

FIGURA 6 - INFLUÊNCIA E TENDÊNCIA DO ENOS NO GLOBO. A) EN B) LN



FONTE: A autora (2022), adaptado do INPE (2021)

No Brasil, o setor econômico mais sensível aos efeitos do ENOS é a agricultura. Cirino *et al.* (2015) avaliaram que este impacto envolve toda a esfera econômica e social do país, pois a perda de produtividade há o aumento dos preços nos alimentos, diminuindo a disponibilidade de alimentos para famílias carentes.

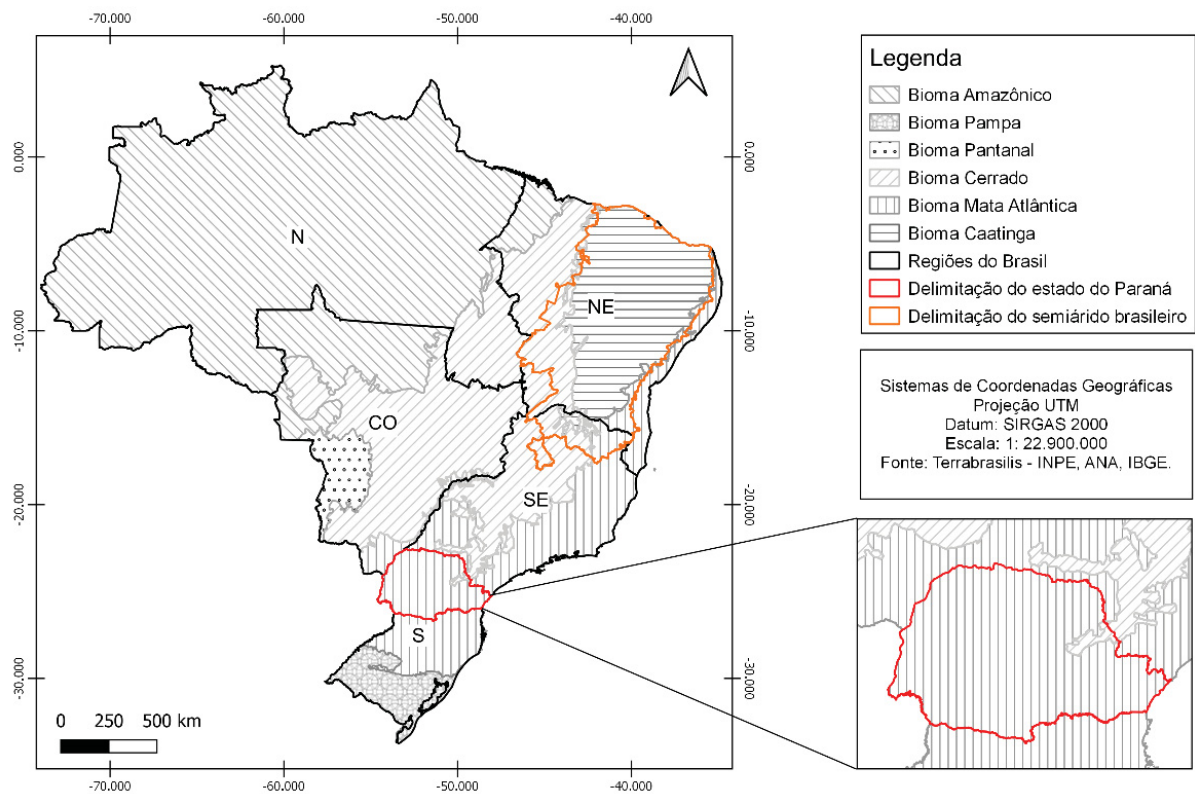
Além disso, há possíveis relação entre eventos climáticos e doenças de cunho climático, como transtornos mentais, desnutrição, aumento de casos de doenças transmitidas pelo *Aedes Aegypti* e surtos epidemiológicos de doenças infecciosas sensíveis ao clima, como cólera e malária (LAM *et al.*, 2019; MCGREGOR; EBI, 2018).

Apesar da grande influência do ENOS sobre a variabilidade pluviométrica em todo o globo, na escala do Brasil é importante entender que sua ocorrência explica apenas parte dos problemas relacionados a eventos extremos (MARENGO; TORRES; ALVES, 2016).

2.5 EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NO BRASIL: IMPACTOS E DESAFIOS

No Brasil os eventos pluviométricos são os fenômenos climáticos que mais causam impactos em escala regional e interestadual (SILVA *et al.*, 2020; SANTOS; MANZI, 2010). Devido a isto, este capítulo irá retratar algumas ocorrências e os impactos dos eventos extremos. Assim como também, as ações de previsão, controle e mitigação realizadas. Para tal discussão, optou-se por subdividir os tópicos conformem as regiões apresentadas na FIGURA 7, semiárido e nordeste brasileiro (NE), bioma amazônico, pantanal, cerrado e a região sudeste e sul do país.

FIGURA 7 - REGIÕES E BIOMAS BRASILEIROS



FONTE: A autora (2022)

a) Semiárido e nordeste brasileiro (NE)

Comumente associadas a longos períodos de estiagem tais regiões também passaram por períodos chuvosos que causaram diversos impactos, dentre eles, os anos de 1964, 1967, 1974, 1985, 1988, 1994, 2004, 2009, 2010-11 e no final de 2021. Tais eventos possuíram magnitudes e impactos diferentes em cada estado ou região, com intensificação a depender da vulnerabilidade locacional das pessoas (LACERDA *et al.*, 2010; ROCHA; ALMEIDA, 2020).

Durante os períodos chuvosos de 1973-75 e 1984-86 foi registrado no semiárido diversos danos sociais e ambientais, que deixou pessoas desabrigadas e causou prejuízos na agricultura. Anos de crises marcam também, o início de propostas de manejo e mitigação de impactos, de modo que o setor público, passa a desenvolver estratégias governamentais (SILVA, 2006).

Uma das características dos nordestinos é a forma adaptável e resiliente que vivem durante os períodos de seca que são datadas desde o século XVII. Os anos com as piores estiagem foram 1915, 1932, 1958, 1979-85, 1982-83, 1997-98, 2001 e 2012-17 (PENAFORTE, 2016). Tais períodos de seca acarretaram durante anos em perdas expressivas de produção agrícola, aumento de doenças, migração de pessoas e até mortes por fome e desidratação. Um problema que se agrava em diversas regiões do semiárido é o processo de desertificação, que além das características físicas da região, ocorre também devido aos recorrentes períodos de estiagens (CABRAL; LUCENA, 2020; MARENGO; ALVES; BESERRA; LACERDA, 2011; MARENGO; TORRES; ALVES, 2016; MARENGO, ALVES; ALVALA *et al.*, 2017).

Foi durante o governo imperial de D. Pedro II que as primeiras obras hidráulicas do país para mitigação dos impactos da seca foram planejadas. Data-se que após a seca de 1877 e 1879 foi dada a ordem para a construção do açude Cedro, o primeiro reservatório público do país, localizado no município de Quixadá-CE. Finalizado em 1906 após muitos percalços, tal obra serviu como base para o futuro dos reservatórios (CAMPOS, 2014; OTOCH *et al.*, 2019).

A partir disso, o entendimento da importância de se criar soluções antes dos eventos extremos tomou proporções maiores até que foi criado o Departamento Nacional de Obras Contra a Secas (DNOCS) em 1919, com sede no Ceará (OTOCH *et al.*, 2019).

Com o passar dos anos outras medidas estruturais foram sendo implementadas no sertão, como a construção de cisternas, perfuração de poços, abastecimento por carros pipas e a instalação de unidades de dessalinização da água.

Os eventos pluviométricos extremos no semiárido tendem a ser correlacionados ao EN, contudo Marengo (2017, p.38) reforça que menos da metade dos anos com a ocorrência de EN foram associados a fortes secas na região. O ENOS pode, portanto, influenciar no prolongamento de períodos secos e se correlacionar com eventos pluviométricos (COSTA, 2012; ROCHA; SILVA; DETZEL, 2021).

b) Bioma Amazônico

Na região amazônica, as secas e chuvas impactam aumentam os riscos de incêndios florestais, inundações e enchentes. Outros impactos ambientais e sociais é a redução da vazão dos rios, poluição dos corpos hídricos e prejuízos no transporte aquático e na distribuição de água potável (SANTOS *et al.*, 2017).

Marengo e Nobre (2009) relatam algumas secas severas que ocorreram nesta região durante os anos de 1997-98 e sua relação com a presença atípica do EN, período este marcado por incêndios e danos ecológicos devido à seca. Os anos de 2005 e 2015-16 também foram marcados por secas (MORAIS *et al.*, 2021; MEIR *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2017).

Os eventos extremos de chuvas são associados a presença da LN, como foi em 2012 na qual, houve o aumento dos níveis dos rios da região de forma tão abrupta que afetou as atividades pesqueiras e agricultura doméstica (MARENGO *et al.*, 2013). De acordo com Limberger e Silva (2016) há alta relação da variabilidade pluviométrica da região da bacia amazônica com a TSM e o ENOS.

Devido à extensão territorial da região Amazônica, não se tem uma malha bem representativa de estações hidrológicas. Devido à dificuldade de acesso para o suporte técnico, o que torna a disponibilidade de dados mais complexa e dificulta a gestão hídrica e a análise pluviométrica da região (GONÇALVES; BLANCO, 2020).

c) Pantanal

O Pantanal é uma das regiões com maior vulnerabilidade do país e é também, a maior área úmida do mundo e uma reserva de alta biodiversidade. É uma região de

extrema importância para atividades como pesca profissional e recreativa, ecoturismo, agricultura e pecuária. (ALHO *et al.*, 2019; THIELEN *et al.*, 2020)

Araújo *et al.* (2018) pesquisaram sobre a ocorrência de enchentes e secas no Pantanal e sua relação com os níveis de produção de gado durante o período de 1974 a 2012, no qual destacaram o período de 2009-12, que possuiu duas secas severas e relatos de inundações. Nos anos de 1973-74 houve chuvas intensas que provocaram a diminuição expressiva dos rebanhos. Thielen *et al.* (2020) associaram os eventos extremos na região do Pantanal às alterações da TSM.

d) Região Sul e Sudeste

Na região sul e sudeste a ocorrência de eventos de estiagens é mais ocasional e menos intensa que na região do semiárido, entretanto, suas estiagens podem causar prejuízos em diversas áreas econômicas. Cunha *et al.* (2019) lembraram que durante o verão de 2014 os principais centros urbanos do Brasil (São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte) passaram por forte escassez afetando cerca de 40 milhões de pessoas. Tal situação se estendeu e se intensificou em 2015 que provocou a diminuição dos níveis dos reservatórios do sistema Cantareira.

Para Soriano *et al.* (2016), a região Sudeste do Brasil passou por um dos piores eventos de secas durante 2014-2015. Tal situação fez o estado de São Paulo entrar em estado de alerta devido à a pouca disponibilidade de água superficial para o abastecimento, tendo em vista que a demanda na região é alta.

Em outros estados da região, o uso do solo, relevo e estruturação das cidades são fatores que podem causar os deslizamentos de terra. Como ocorreu na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 e 2022, após eventos extremos de chuva. Bem como na região da bacia do Rio Doce em que enchentes já assolaram cidades dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (AMORIM *et al.*, 2018; TORRES; CARMO; PALMEIRA, 2020).

Ávila *et al.* (2016) avaliam os desastres naturais em Santa Catarina e Rio de Janeiro e mostraram existir um aumento significativo de deslizamentos e enxurradas, as quais possuíram substancial correlação da precipitação com o ENOS.

2.6 EVENTOS EXTREMOS NO ESTADO DO PARANÁ

Conforme Grimm *et al.* (2020), a região Sul do Brasil vem apresentando chuvas abaixo da média desde o final dos anos 90. Este déficit foi se intensificando com o passar dos anos e afetando a disponibilidade hídrica desta região, o que resultou a longo prazo na seca de 2020 que teve como ápice os meses de fevereiro a abril. Neste período a seca, além de afetar diretamente o abastecimento da população e setores industriais, também causou a diminuição dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas que operam na região, encarecendo a produção de energia e deixando o sistema vulnerável. A estiagem de 2020 foi associada A combinações de oscilações climáticas em diferentes escalas de tempo e a ocorrência do ENOS.

A situação é reforçada no relatório do CEMADEN (2021), no qual foi analisada a situação pluviométrica do ano de 2021 na bacia hidrográfica do Paraná. O atual período crítico foi classificado como a pior seca desde janeiro de 1981, com previsão desfavorável para ocorrência de chuvas. Além disso, durante 2021 ocorreu seca hidrológica severa e excepcional que vinha com padrões de estiagem desde 2014. A

Outros períodos de estiagem marcaram o estado do Paraná como foi em 1985/86, 1990/91 e 1997/98 que resultaram em prejuízos no desenvolvimento agrícola, principalmente na redução da produtividade da soja (FERREIRA, 2007).

Salton, Morais & Lohmann (2021) relatam que na agricultura é necessário realizar o planejamento de safras com o auxílio de estudos climáticos de previsão de chuva. Além disto, em áreas rurais a intensificação do escoamento colabora no assoreamento e recursos hídricos (SILVA; GUETTER, 2003).

Quanto ao setor hidrelétrico, de acordo com Grimm *et al.* (2020) as bacias Iguaçu e Uruguai, são responsáveis por 80% do armazenamento de energia do Subsistema Sul. E tiveram impactos expressivos, pois os rios afluentes tiveram uma baixa significativa de suas vazões. Isso ocasionou uma diminuição dos níveis dos reservatórios.

Em 2020, as baixas precipitações no Paraná elevaram a quantidade de perfurações de poços artesianos em Curitiba e região metropolitana. De acordo com o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná (CREA-PR), houve um aumento de expressivo na perfuração em comparação de 2019 e 2021 a procura por esta solução continuou em alta (FILIPPIN, 2021).

As regiões norte e noroeste do estado aderiram a técnicas de manejo agrícolas específicas devido aos recorrentes eventos de seca (SALTON; MORAIS; LOHMANN, 2021). Além disso, outros projetos surgiram na crise como por exemplo, fazer chover em regiões específica, tal ideia foi realizada pela SANEPAR, de modo que um avião sobrevoa uma nuvem para inserir nela gotículas de água, até que ela fosse carregada e precipitasse em um local de interesse (VICENTE, 2021).

Quanto aos eventos de chuvas intensas, Santos & Carvalho (2021) relacionaram a ocorrência de alagamentos e enchentes na bacia do arroio na Ronda em Ponta Grossa a eventos extremos, com ênfase nos eventos dos anos de 1983 e 1998 que ocorreram sob a influência do EN. De modo geral, as ocorrências do ENOS no Paraná estão associadas a padrões de chuvas acima da média quando há EN e precipitações abaixo do esperado durante a fase LN. (CORREA, 2017)

Em Curitiba e região metropolitana, episódios pluviais extremos ocorrem nas regiões mais urbanizadas e provocam alagamentos (GOUDARD; MENDONÇA, 2017). Tais eventos ocorrem também, devido aos processos de urbanização que muitas vezes são formadas ao redor de rios, córregos e planícies (BRUWIER *et al.*, 2020; MENDONÇA; BUFFON; GOUDARD, 2015; MENDONÇA *et al.*, 2015; SILVA; GUETTER, 2003).

Silva & Guetter (2003) alertam para os impactos das mudanças climáticas no Paraná, relatando que desde a década de 70 o estado vem apresentando alterações no ciclo hidrológico com chuvas mais intensas e ocorrência de estiagens com maior duração.

Tais fatos revelam a importância da compreensão e previsão de eventos climáticos para auxiliar na mitigação de impactos. Cunha *et al.* (2019) abordam sobre a importância das instituições que monitoram eventos extremos e seus impactos, como o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN).

2.7 ÍNDICES DE SECA

Considerado um dos índices de identificação de seca mais utilizado e eficaz, o Índice de Precipitação Padronizada, do inglês *Standard Precipitation Index* - SPI é utilizado e recomendado por diversos por órgãos governamentais, entre eles a

Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization - WMO*) (SOUSA *et al.*, 2016) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Proposto inicialmente por McKee *et al.* (1993), o SPI utiliza dados mensais de precipitação e modelagem estatística para identificar e classificar padrões de precipitação. O índice quantifica o déficit ou o excesso de precipitação utilizando uma distribuição gama, com parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança (QUADROS, 2017).

Com o intuito de aperfeiçoar o SPI, Vicente-Serrano, Beguería & López-Moreno (2010) desenvolveram o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração, do inglês *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI* que, além da precipitação, utiliza como variável a temperatura e evaporação, permitindo que se tenha um balanço hídrico simplificado.

Ambos os índices trabalham com a premissa de defasagem temporal em meses, de modo que a defasagem escolhida depende do intuito da pesquisa. Tal metodologia colabora na análise temporal e espacial da distribuição das chuvas que por ser complexa e variável, possuem padrões irregulares (BOIN; ZAVATTINI, 2005).

Conforme Zuo *et al.* (2022) os resultados do SPI são mais confiáveis quando se tem uma série histórica de 30 anos e em locais com menores frequências de secas. No Brasil, têm-se pesquisas que utilizam o SPI por todas as regiões do país. O CEMADEN (2021) trouxe em seu relatório a situação atual e previsão Hidrometeorológica na bacia do Rio Paraná, utilizando o SPI como forma de identificar os padrões de chuva em 2021.

Parede-Trejo *et al.* (2021) utilizaram diversos índices de seca, incluindo o SPEI nas defasagens de 3 e 12 meses para caracterizar secas na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, durante 1980 a 2020. Concluíram que as condições de seca foram se intensificando ao decorrer da série e que o aporte de água subterrânea diminuiu devido ao aumento da captação de água para irrigação.

Santos *et al.* (2021) utilizaram os SPI nas defasagens de 1, 3 e 12 meses para analisar a variabilidade espaço-temporal de eventos de chuvas na Bacia do Rio Paraná e sua correlação com o ENOS durante os anos de 1982 a 2016. No estudo, concluíram que a correlação com o ENOS é baixa, muito embora eventos mais intensos e com maior cobertura espacial foram de modo geral observados em anos com ocorrência de ENOS.

Terassi *et al.* (2018) utilizaram o SPI a fim de analisar a variabilidade da seca na região norte do estado do Paraná durante 1976 a 2015. Ainda, correlacionaram os eventos pluviométricos ao ENOS e concluíram que possuem relações pouco significativas. Para determinar as correlações, usaram os coeficientes de Kendall, Spearman e Pearson.

Choudhury *et al.* (2021) aplicou o SPEI na região da Índia continental com um conjunto de dados climáticos de grades espaciais (1905-2015) nas defasagens de 1, 3, 6 e 12 meses, indicando de modo geral que houve o aumento da vulnerabilidade à seca na região. Outras pesquisas, também utilizaram o SPEI como o de Bevacqua *et al.*, (2021) e Yang *et al.* (2016).

2.8 ÍNDICES CLIMÁTICOS

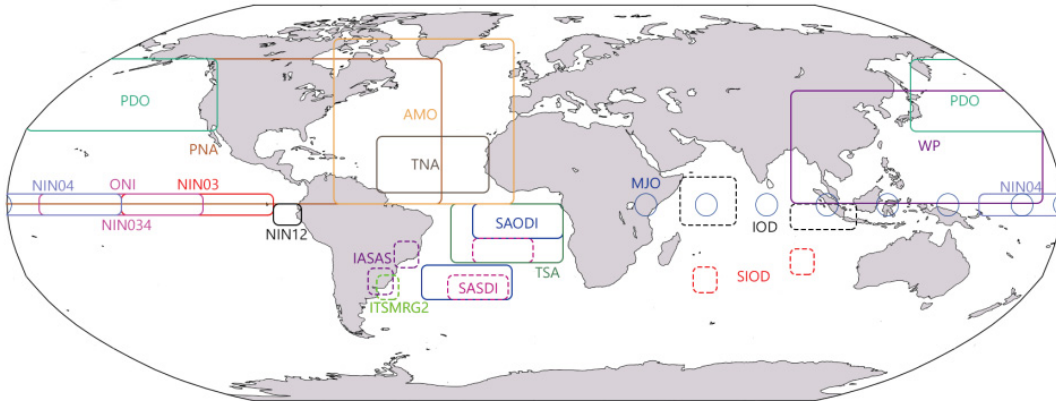
Como forma de compreender a ocorrência, magnitude e frequência de fenômenos e sistemas climáticos, têm-se os índices climáticos. Eles se baseiam em modelos com diversas variáveis e classificações com o intuito de melhor descrever e apontar a ocorrência dos eventos. A identificação de um dado fenômeno pode ocasionar a formulação de diversos índices com versões de diferentes métodos, conjuntos de dados, variáveis, critérios e períodos de amostragens, que de forma geral envolvem modelos estatísticos e físicos (MCGREGOR, 2017).

As anomalias (teleconexões) nas circulações oceânicas e atmosféricas, podem estar interligadas com alterações climáticas e a ocorrência de outros eventos climáticos. Devido a isto, há diversas metodologias de índices que consideram o local de ocorrência, variáveis e outros fatores (CAVALCANTI; OLIVEIRA, 2021; ZHANG *et al.*, 2022; ZHANG; PATHAK; PARKER *et al.*, 2021).

Souza & Reboita (2021) citam a Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão (FMPT), um portal online que compila e disponibiliza diversos índices, dos quais estão mostrados na FIGURA 8.

Entre eles o Índice Oceânico do Niño nas cinco regiões (ONI), Índice do Atlântico Norte Tropical (TNA, acrônimo em inglês), Índice da Oscilação de Madden-Julian (MJO, acrônimo em inglês) e outros que não estão mostrados na figura abaixo, como o índice da Oscilação Antártica (AAO, acrônimo em inglês) e o Padrão Pacífico-América do Sul (PSA1, acrônimo em inglês).

FIGURA 8 - REGIÕES DE OCORRÊNCIA E ÁREAS DE IDENTIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE TELECONEXÃO.



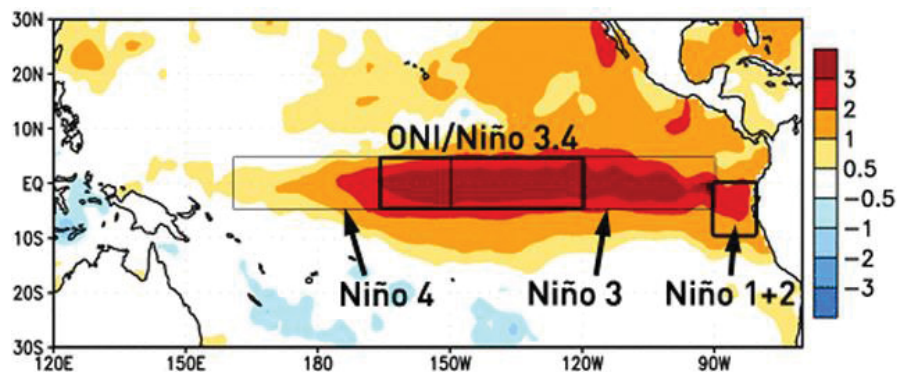
FONTE: Souza e Reboita (2021).

Optou-se neste trabalho por utilizar os índices ONI 3.4, PSA1 e o AAO por serem eventos citados na literatura como atuantes na América do Sul.

2.8.1 Índice Oceânico do Niño (ONI)

Disponibilizado desde 1950, o Índice Oceânico do Niño (*Oceanic Niño Index - ONI*) é diferenciado de acordo com sua região de referência, sendo o ONI 3.4 o índice comumente utilizado por melhor representar as temperaturas médias no Oceano Pacífico Oriental e Central e as alterações da TSM (TRENBERTH, 1997).

FIGURA 9 - REGIÕES DO EN DO OCEANO PACÍFICO ORIENTAL E CENTRAL



FONTE: Adaptado de Wolter e Timlin (2011).

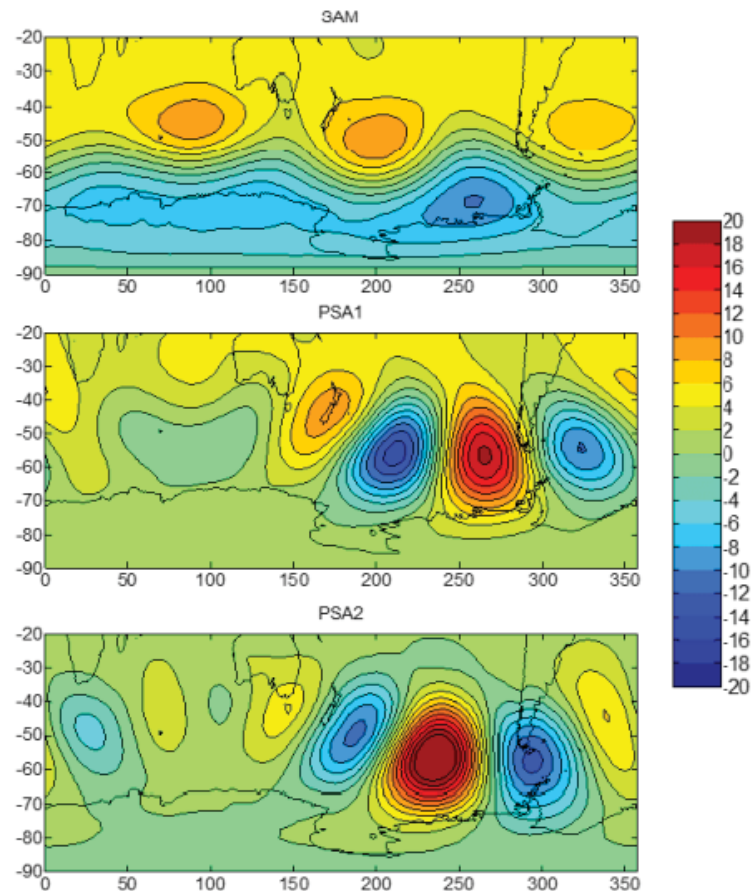
A obtenção do índice ocorre de acordo as anomalias na TSM da região 3.4. O índice é disponibilizado em escala trimestral e pode ser classificado da seguinte

forma: Quando maior que $0,5^{\circ}\text{C}$ o evento é EN, quando menor que $-0,5^{\circ}\text{C}$ LN evento neutro e quando o valor do índice estiver entre $0,5^{\circ}\text{C}$ e $-0,5^{\circ}\text{C}$ (LAM *et al.*, 2019; SOUZA; REBOITA, 2021).

2.8.2 Padrão Pacífico-América do Sul (PSA)

O Padrão Pacífico-América do Sul, do inglês *Pacific South American Pattern* – PSA) foi observado pela primeira vez por Mo e Ghil (1987). É um sistema de interações oceano-atmosfera caracterizado por um trem de onda que ocorre na região do pacífico e se encaminha até o Atlântico Sul. Sua análise ocorre através de funções ortogonais empíricas, aplicadas às anomalias de altura geopotencial, sendo encontrado três modos de variabilidade o PSA1, PSA2 e o SAM, (FIGURA 10) (MO, 2000; SILVA; SILVA, 2020; SOUZA; REBOITA, 2020).

FIGURA 10 - FASE POSITIVA DOS PADRÕES PSA1, PSA2 E SAM.



FONTE: Souza e Reboita (2020)

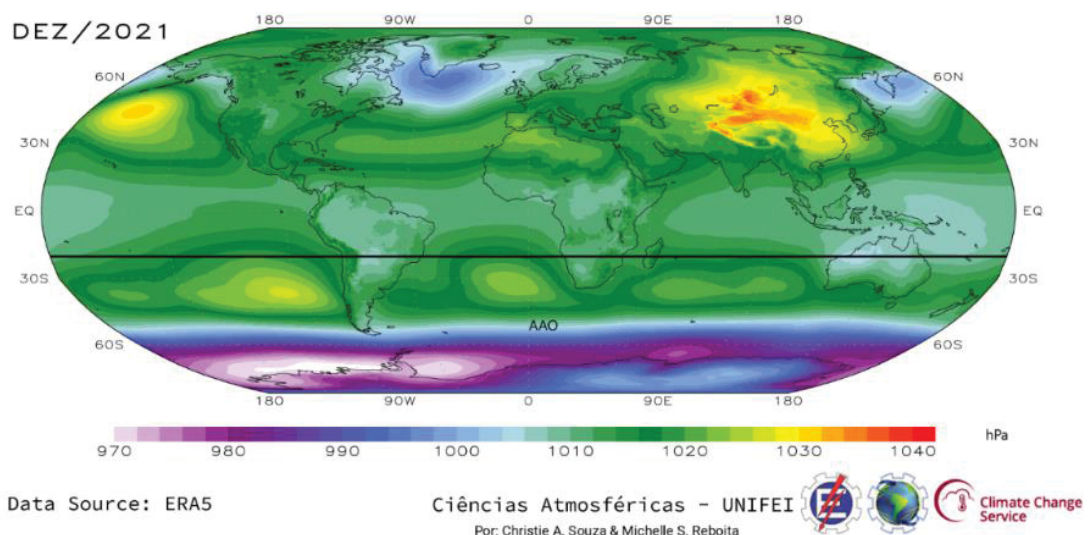
A PSA é descrita em trabalhos como um dos eventos que influenciam na ocorrência do ENOS. De modo que, em fase positiva há o favorecimento do EN. Ocorrendo a diminuição de chuvas na região Norte e Nordeste e maiores precipitações na região Sul e Sudeste do Brasil (HILL; TASCHETTO; ENGLAND, 2009; SILVA; SILVA, 2012).

A metodologia da obtenção do índice de PSA1¹ e PSA2 se encontra detalhada no trabalho de Souza e Reboita (2021) e sua classificação e identificação se dá a partir do desvio padrão de sua série histórica, no qual a fase positiva (negativa) é identificada por valores maiores de 0.12 (menores que -0.12).

2.8.3 Oscilação Antártica (AAO) ou Modo Anular Sul (SAM)

O Modo Anular Sul, do inglês *Southern Annular Mode* (SAM), também conhecido como *Antarctic Oscillation* (AAO) é o principal evento climático associado à circulação extratropical do Hemisfério Sul (FIGURA 11), sendo caracterizado por anomalias da altura geopotencial (MARSHALL *et al.*, 2018; THOMPSON; WALLACE, 1998).

FIGURA 11 - ÁREA DE INFLUÊNCIA DO SAM E SUA INTENSIDADE DURANTE DEZ/2021.



FONTE: Sistema FMPT - Ciências Atmosféricas (2022)

¹ Link do FMPT: <https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes/indice.php?id=psa1>

O SAM é um sistema não comumente associado à anomalias de chuva no Brasil, contudo Gillett, Kell e Jones (2006) avaliaram a influência do SAM sobre todo o Hemisfério Sul e seus resultados mostraram que durante a positiva se têm tendências de com secas no sul da América do Sul.

De acordo com Reboita, Ambrizzi e Rocha (2009) durante a fase positiva do SAM há anomalias negativas de precipitação sobre o sul da América do Sul e na costa sudeste da América do Sul. Vasconcellos, Pizzochero e Cavalcanti (2019) analisaram em escala mensal a influência do SAM e concluíram que as regiões do Sudeste e Centro-Oeste do Brasil são as mais afetadas. Ademais, durante as fases positiva (negativa) do SAM há chuvas abaixo (acima) da média nas regiões citadas.

A obtenção e identificação do SAM se dá através do índice AAO disponível no NOAA e FMPT com série inicial datada em 1979 e está classificado em fases positivas (maior que 0,98) e negativos (menor que -0,98), valores entre -0.98 e 0.98 indicaram a fase neutra do evento (NOAA, 2022; THOMPSON; WALLACE, 1998).

2.9 TRANSFORMADA WAVELET

O processamento e análise de sinais conta com diversas ferramentas matemáticas que ao decorrer dos anos vem se destacando em diversas áreas, como no processamento de imagens, na geofísica, engenharia, climatologia, hidrologia etc. Tais sinais podem representar séries temporais de dados de frequências e amplitudes que ao serem transformadas do domínio tempo para frequência auxiliam na extração de informações e na compreensão dos padrões de ocorrência de séries (DOMINGUES *et al.*, 2016; NOURANI *et al.*, 2014; SILVA, 2021).

Dentre os métodos mais conhecidos, tem-se a Transformada de Fourier (TF), mostrada na Equação 1, na qual se procede com a integração de uma equação real periódica em função do tempo com a soma infinita de senos e cossenos de diferentes frequências, sendo t = tempo, ω = frequência, f = sinal analisado no domínio tempo e F = sinal no domínio frequência (MALLAT, 2009).

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

A limitação de tal método é que resulta na identificação de sinais de frequências em uma escala de tempo unidimensional, não realizando uma correlação entre os intervalos de tempo e as frequências, pois a transformada integra a mesma função para o cálculo de cada frequência. Com isso, o método de Fourier pode ser inadequado para a análise de dados que tenham variações temporais, ou seja, dados não estacionários (BIANCHI, 2006; SANTOS; FREIRE; TORRENCE, 2013).

Portanto, um dos desafios da representação de frequência e amplitude no tempo de séries de eventos naturais é lidar com a não estacionariedade dos fenômenos, uma vez que alterações nas escalas de tempo e magnitude podem resultar em uma análise de sinais complexa e não representativa (DETZEL; FERNANDES; MINE, 2016; SANTOS; FREIRE; TORRENCE, 2013).

Foi então que, Dennis Gabor em 1964 adaptou a TF para Transformada por Janelas de Fourier (TJF), onde há o deslocamento dos sinais por janelas no domínio tempo, de modo que os sinais são calculados para cada janela de tempo e frequência. Contudo, tais janelas são de tamanho constantes e não conseguem captar as variações de sinais menores ou maiores (SILVA, 2020). Com isto, a utilização da transformada Wavelet surgiu como uma alternativa para lidar com a análise de sinais, na qual as janelas temporais podem variar de tamanho.

E foi em 1982, que Jean Morlet buscou desenvolver uma função matemática que pudesse ser finita e que pudesse resolver o problema da janela fixa de TFJ. Então, juntamente com Alex Grossman, estudaram funções que formassem pequenas ondas, a qual chamaram de “*Ondelette*”, no inglês “*Wavelets*”, que foi posteriormente chamada de Transformada de *Wavelet* (TW) (BARBOSA; BLITZKOW, 2008).

A TW por definição possui dimensões variadas, sendo representada por uma função limitada por um intervalo finito, na qual consegue restringir um sinal de frequência no tempo em que ocorre e, então, decompor sinais em diferentes tamanhos de janela e subséries. De modo geral, a transformada se desloca por toda a série analisando os sinais de forma pontual e proporcional à escala (BIANCHI, 2016; SILVA, 2014).

A transformada é definida por equações chamadas de *wavelet*-mãe, representada por ψ e descrita pela Equação 2.

$$F(a, b) = \int f(t)\Psi_{(a,b)}(t)dt \quad (2)$$

Na qual os parâmetros a e b representam a dilatação e a translação, que fica definida pela Equação 3.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3)$$

A chamada, *wavelet* mãe Ψ deve satisfazer as propriedades a seguir (SILVA, 2014):

i. Sua integral deve ser igual a zero, admitindo formato de onda e assumindo a condição de admissibilidade (Equação 4). Isso representa funções nas quais, em meio a variações na escala e no tempo, os sinais têm seus componentes captados em todo seu espectro BARBOSA; BLITZKOW, 2008).

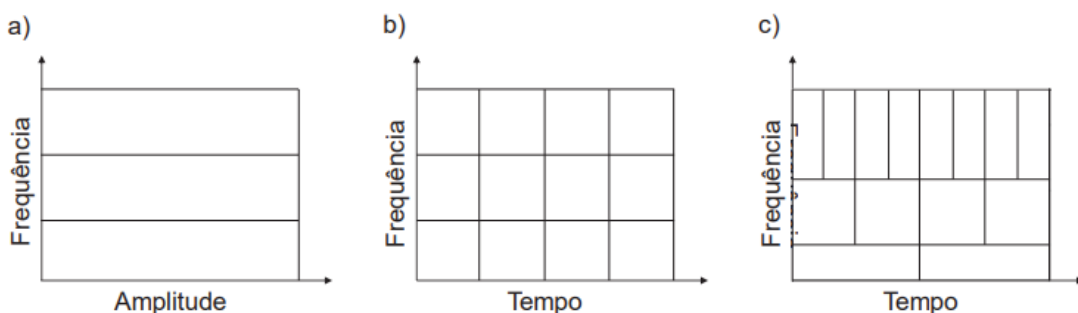
$$\int \Psi_{(t)}(t) dt = 0 \quad (4)$$

ii. A função deve possuir energia finita/unitária (Equação 5).

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(t)|^2 dt = 1 \quad (5)$$

A FIGURA 12 mostra as diferenças entre as transformadas supracitadas. Observa-se que na *wavelet* a sua forma produz ondas de diferentes frequências, não havendo perda de resolução no tempo.

FIGURA 12 - COMPARAÇÃO ENTRE A) TRANSFORMADA FOURIER, B) JANELA DE FOURIER E C) WAVELET



FONTE: SILVA (2020)

A TW possui classificações dentre elas, tem-se a Transformada *Wavelet* Contínua (TWC) utilizada geralmente para determinar as frequências dos sinais e a variação no tempo de séries não estacionárias. Nesse caso, a *wavelet*-mãe escolhida

realiza o escalonamento (dilatação e compressão) dos sinais e gera as janelas das séries (CÉSAR, 2018; DOMINGUES *et al.*, 2016).

A Equação 6 mostra a TWC definida. As famílias de funções $\Psi_{a,b}(t)$ são geradas a partir do deslocamento e escalonamento da função da janela da *wavelet*-mãe $\Psi(t)$.

$$W_f = \Psi_w(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\Psi_{(a,b)}^*(t)dt = \{\Psi_{(a,b)}, t\} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} \Psi_{(a,b)}^* \left(\frac{t-b}{a} \right) f(t)dt \quad (6)$$

Onde, a = escala (controla a dilatação/contração da função), b = tempo, Ψ^* = conjugado complexo de $\Psi(t)$ e $\Psi_{(a,b)}(t) = \text{wavelet}$, obtidas através do escalonamento e deslocamento da *wavelet*-mãe ($\Psi(t)$). As funções *wavelet*-mãe mais conhecidas são a *Morlet*, o Chapéu Mexicano e Paul (BOLZAN, 2006; RHIF *et al.*, 2019).

Adaptando e simplificando a TW a valores amostrais específicos surgiu a Transformada *Wavelet* discreta (TWD). Nela, as frequências estão correlacionadas com as escalas que percorrem a série no domínio tempo e, assim, tem-se que $a = a_0^m$, representando a discretização do parâmetro de dilatação, e $b = nb_0 a_0^m$. O deslocamento está em função da escala, largura da escala e a translação, sendo que $m \in Z$ e $a_0 > 1$ e $b_0 > 0$ (DAUBECHIES, 1992; REGIOTA, 2007; SILVA, 2021). De modo geral, substituindo tais condições na Equação 6, pode-se dizer que a TWD é descrita pela Equação 7.

$$\Psi_{m,n}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \Psi \left(\frac{t - nb_0 a_0^{-m}}{a_0^m} \right) = a_0^{-\frac{m}{2}} \Psi(a_0^{-m}t - nb_0) \quad (7)$$

Na qual m está associado a escala, n às variações de translação, onde a_0 = escala e b_0 = deslocamento, parâmetros que variam para cada função *wavelet*. A utilização da TWD admite que a variação dos parâmetros possui propriedade diática, ou seja, são baseadas em potência de 2, definindo que $a_0 = 2$ e $b_0 = 1$, sendo representada pela Equação 8.

$$\Psi_{m,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}} \Psi(2^{-m}t - n) \quad (8)$$

As funções da TWD mais conhecidas são a *wavelet* Haar que é a mais comum e simples, compacta e simétrica, a Daubechie, Biorthogonal, Symlet, Meyer e Coiflet.

As funções admitem propriedades de ortogonalidade, simetrias e suavidade (BOLZAN, 2006; RHIF *et al.*, 2019; SILVA, 2020).

A TWD é comumente utilizada para identificação de tendências e a TWC para analisar componentes periódicos de um sinal. A TW por ser aplicável a séries de sinais não estacionários pode ser utilizada na área de geociências, geofísica, finanças, medicina e outros, permitindo compreender padrões, frequências e temporariedade (JOSHI *et al.*, 2016; RHIF *et al.*, 2019)

Na hidrologia a TW é aplicável em séries pluviométricas e fluviométricas. Sharma & Goyal (2020) utilizaram a TW com séries do SPI de estações da Índia e concluíram que há uma tendência crescente e decrescente de secas em diferentes regiões, determinando também o período em anos dessas tendências.

Nourani *et al.* (2014), reafirmam a importância da TW na modelagem e análise da precipitação, tendo em vista que a duração e a quantidade de eventos de precipitação interferem na qualidade e disponibilidade de água, além de poder causar diversos impactos. De modo que, implementar técnicas na gestão dos recursos hídricos que colaborem na previsão das chuvas é uma das formas de lidar com complexidade da variabilidade espaço-temporal das precipitações.

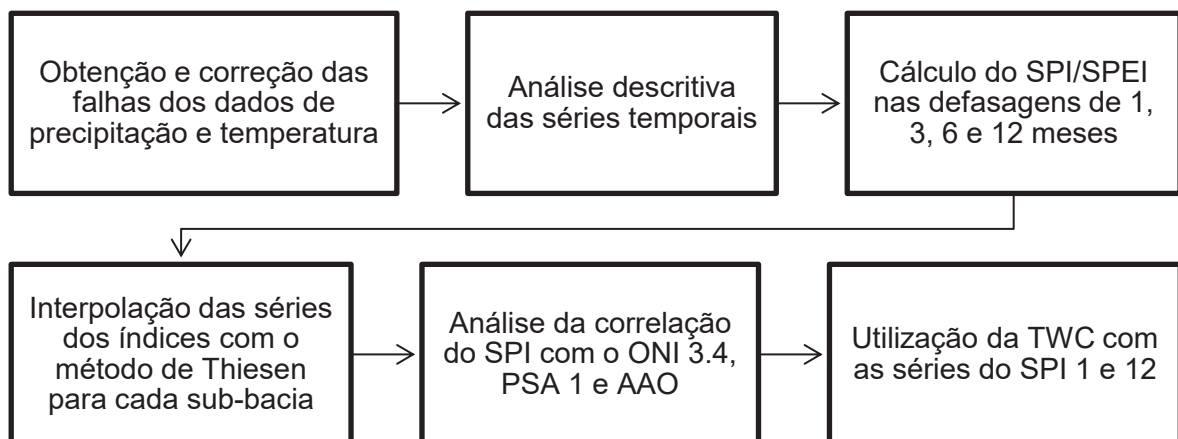
Chen *et al.* (2016) utilizaram a TWC com a função de Morlet e a TWD com a Daubechie em séries mensais, sazonais e anuais de precipitação e vazão em uma bacia hidrográfica na China. E concluíram que existem tendências decrescentes apenas nas séries de vazão. Além disso, com a TWC foi identificado que há periodicidades nos eventos de chuvas em escala decadal, sendo influenciados por eventos ENOS.

Yerdelen, Abdelkader & Eris (2021) realizaram o estudo da seca em bacias hidrográficas na Turquia com a aplicação da TWC com a função de morlet em séries de SPI e determinaram tendências e periodicidade de seca de curto prazo.

3 MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados a área de estudo e os métodos aplicados na pesquisa. O fluxograma da FIGURA 13 mostra a ordem da metodologia realizada para a aplicação dos índices e da transformada *wavelet*.

FIGURA 13 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA



3.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Iguaçu está localizada entre as latitudes 25°05'S a 26°45'S e longitudes 48°57'W a 54°50'W. Ao total, sua área ocupa cerca de 70.800 km², sendo 80,4% (54.820 km²) no estado do Paraná, 16,5% em Santa Catarina e 3% na Argentina. A área de drenagem no estado do Paraná abrange 111 municípios, cerca de 43% do total do estado (IAT, 2020; UDA, 2016; SOUSA, 2013).

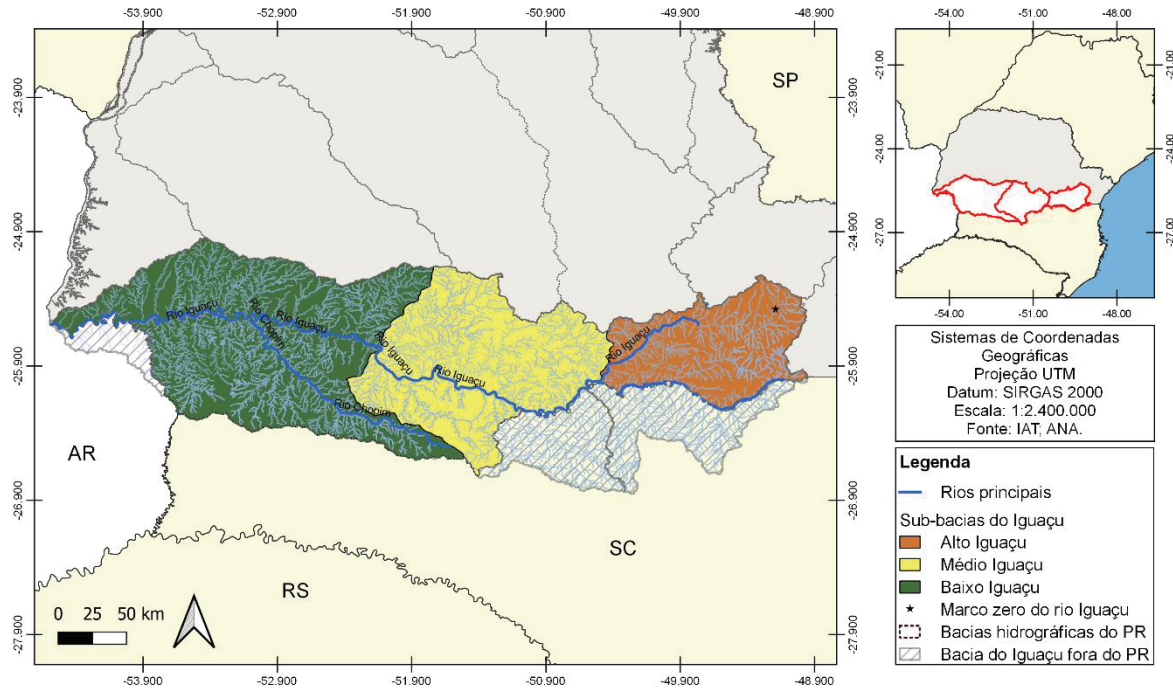
A nascente do rio Iguaçu está localizada na Serra do Mar entre os municípios de Pinhais e Curitiba e percorre cerca de 1320 km até sua foz no Rio Paraná (oeste do estado). É formado pelos encontros dos rios Atuba e Iraí e seus principais afluentes são o rio Barigui, Verde, Chopin, Palmital, Passaúna e outros.

O rio Iguaçu possui grande importância para a geração de energia hidrelétrica, devido ao desnível da bacia que favoreceu a instalação de usinas importantes durante seu curso como, a de Foz de Areia e Segredo (UDA, 2016).

De acordo com a divisão das unidades hidrográficas realizada pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento

Ambiental (SUDERHSA, 2006) a bacia do Rio Iguaçu possui três sub-bacias principais: Alto, Médio e Baixo Iguaçu (LEITHOLD, 2017), que serão representadas neste trabalho, respectivamente, pelas siglas SBA, SBM e SBB (FIGURA 14).

FIGURA 14 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO IGUAÇU



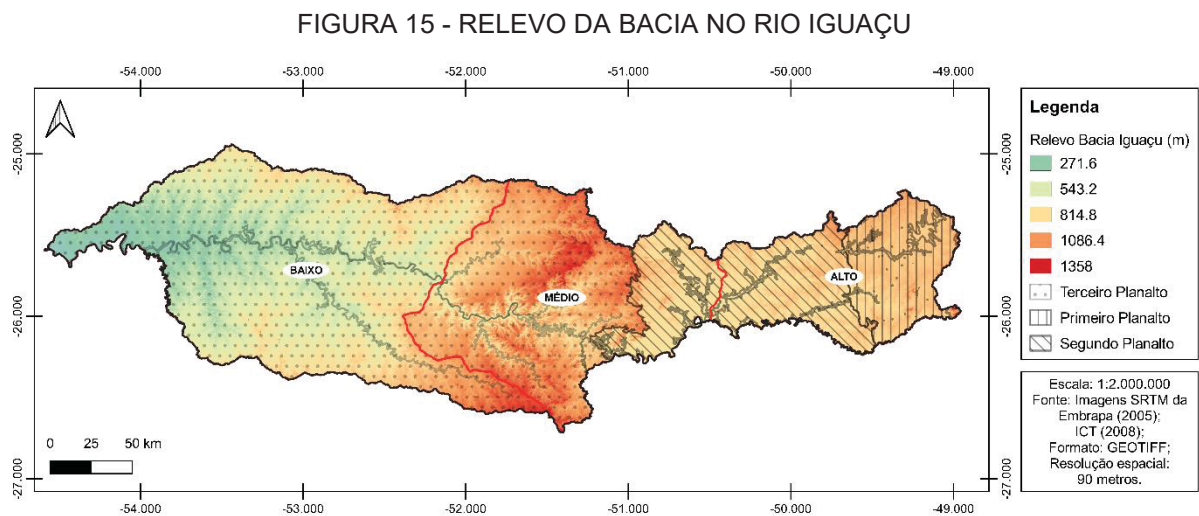
A unidade hidrográfica do Alto Iguaçu tem como agregado a bacia do Ribeira, com limites que compreendem a bacia do Rio Iguaçu até a jusante da confluência com o Rio Negro, a do Médio Iguaçu tem seus limites na jusante da confluência do Rio Iguaçu e Rio Negro até a jusante da foz do Rio Jordão e a sub-bacia do Baixo Iguaçu compreende a área desde a jusante na foz do Rio Jordão até a sua foz no Rio Paraná (PESSOA FILHO, 2013; SUDERHSA, 2006).

As características geomorfológicas, morfodinâmicas e o relevo variado da bacia colaboram para a alta diversidade ecológica e formam rios e cachoeiras da região (BAUMGARTNER *et al*, 2012). Além disso, as formas de relevo definem as características climáticas, geológicas, de uso e ocupação do solo e outras na bacia, fazendo a definição das áreas de contribuição pluviométrica e caracterizando a área quanto à sua susceptibilidade de enchentes ou secas.

Em regiões mais baixas e próximas a rios e ribeirões, com características originais de várzeas há maior chances de ocorrer inundações durante eventos de chuva intensa, assim como também nos vales rodeados por regiões montanhosas. Já

em regiões montanhosas e com planaltos há formação de barreiras naturais, o barlavento e o sotavento. No barlavento devido a fatores de pressão de altitude ocorre as chuvas orográficas, enquanto a região do sotavento tende a ser a ser mais árida, quente e com menos precipitação.

O relevo da área de estudo apesar de variado é bem definido, de modo que os planaltos se apresentam de forma sucessiva. A FIGURA 15 mostra o relevo e a delimitação dos três principais compartimentos geomorfológicos os três planaltos do estado.

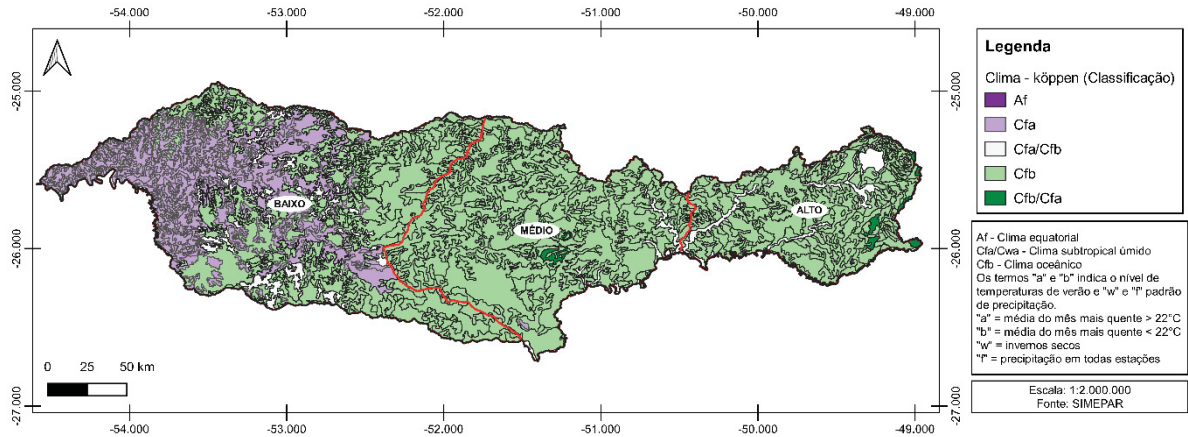


O Primeiro Planalto se inicia nas encostas da Serra do Mar; o Segundo Planalto forma a região dos Campos Gerais e o Terceiro Planalto vai até a foz do Rio Paraná (SANTO JR; SILVEIRA, 2007). O rio Iguaçu inicia-se no Primeiro Planalto e desagua no Terceiro.

A SBA está inserida no Primeiro e Segundo Planalto sua altitude varia entre 850 a 950 metros. A região da SBM varia de 1.300 a 700 metros e está majoritariamente inserida no Terceiro Planalto e outra parte no Segundo Planalto. Por fim, a SBB está inserida inteiramente no Terceiro Planalto com altitude média de 170 metros (AZEVEDO; ANDRADE; NERY, 2004; SANTO JR; SILVEIRA, 2007).

A FIGURA 16 mostra a divisão climática da região de acordo com a classificação de Köppen. A região da SBA e SBB estão inseridas na classificação do clima oceânico que possui verão mais úmido e fresco e inverno com chuvas fortes e bem distribuídas durante todo o ano. A SBB, além do clima “Cfb” tem em sua região oeste o clima subtropical úmido, que tem verão úmido e maiores temperaturas (ITCG, 2008).

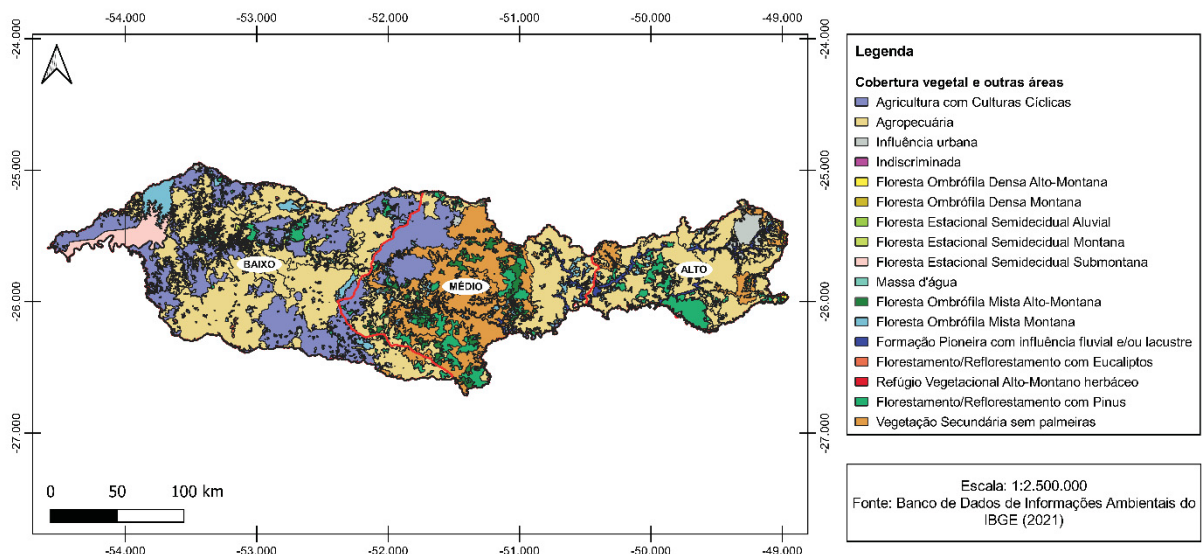
FIGURA 16 - CLIMA NA BACIA DO RIO IGUAÇU



As características de relevo, clima e localização favorecem diversas características na Bacia do Rio Iguazu, de modo que quanto mais à oeste maior a umidade e a temperatura devido à presença de grandes rios, baixa altitude e da distância do litoral que favorece maiores circulações de massas de ar, tais características favorecem a ocorrências de chuvas localizadas.

A FIGURA 17 mostra o uso e ocupação do solo, onde na SBA observa-se que há agropecuária, reflorestamento e ocupação de área urbana em Curitiba e região metropolitana. Na SBM destaca-se a presença de vegetação secundária, enquanto na SBB grande parte do solo tem seu uso voltado para a agricultura e agropecuária, na qual se destaca o cultivo de soja e trigo (BAUMGARTNER *et al*, 2012).

FIGURA 17 - COBERTURA VEGETAL E OUTROS USOS DO SOLO NA BACIA DO RIO IGUAÇU



3.2 DADOS UTILIZADOS

3.2.1 Precipitação e Temperatura

Os dados de precipitação foram obtidos através da rede hidrometeorológica disponível na ANA. Foram selecionadas todas as estações com dados entre os anos de 1950 a 2021 e o período com menores falhas definido foi de 1976 a 2021, seguindo a recomendação de que séries longas e representativas precisam conter no mínimo 30 anos consecutivos (OMM, 1989).

Com as estações definidas, o levantamento de dados foi feito através do Instituto Água e Terra (IAT) em escala mensal. Ao total foram selecionadas 121 estações (listadas no APÊNDICE A). As séries com mais de 5% de falhas foram descartadas. Por fim, as estações foram separadas de acordo com sua localização, resultando 58 estações na SBB, 28 na SBM e 10 na SBA.

A correção das falhas foi realizada com o método da regressão linear simples e múltipla, conforme metodologia de Tucci (2002) as estações com falhas são correlacionadas com os dados de estações próximas, sendo feito a estimação dos parâmetros da Equação 9 por meio de métodos gráficos ou através do método dos mínimos quadrados.

$$Yc = x_{1i} + a_1 \cdot x_{2i} + \dots + a_{n-1} \cdot x_{ni} + a_n \quad (9)$$

Onde, n é o número de postos considerados, a_0, a_1, \dots, a_n são os coeficientes a serem estimados e $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}$ os valores pluviométricos dos postos vizinhos.

A definição das estações vizinhas seguiu dois critérios principais: estar dentro do raio de 30 km e possuir a mesma classificação quanto à altitude das estações. A OMM recomenda que em uma região com similaridades físicas e geológicas a área de abrangência e representatividade de uma estação climatológica deve ser com um raio de até 100 km (BLAINSKI; GARBOSSA; ANTUNES, 2012).

Os dados de temperatura (máxima, mínima e média) para a aplicação do SPEI foram obtidos através do Sistema de Atributos de Bacia e Meteorologia para Estudos de Amostras Grandes (CAMELS-BR), o qual dispõe de dados hidrológicos e meteorológicos de 30 anos (CHAGAS *et al.*, 2020). Foi escolhido 17 estações que estão expostas no APÊNDICE B. A FIGURA 18 e a FIGURA 19 a localização das

estações pluviométricas e meteorológicas escolhidas, juntamente com os seus valores médios anuais.

FIGURA 18 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS COM OS VALORES DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL.

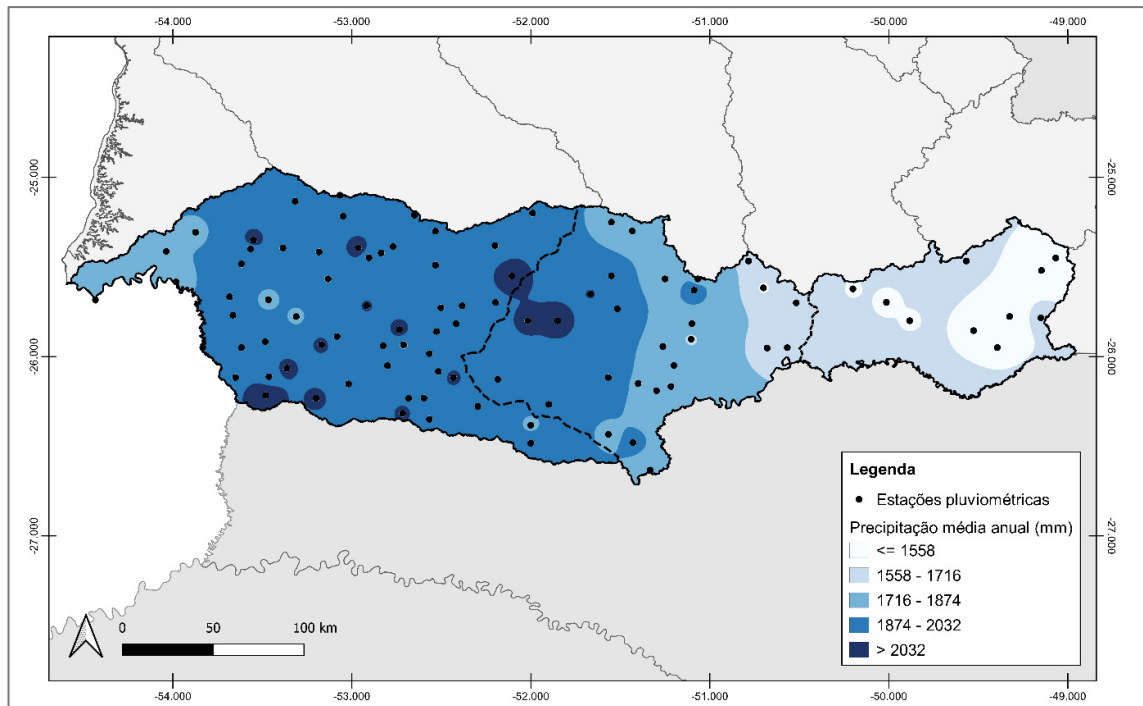
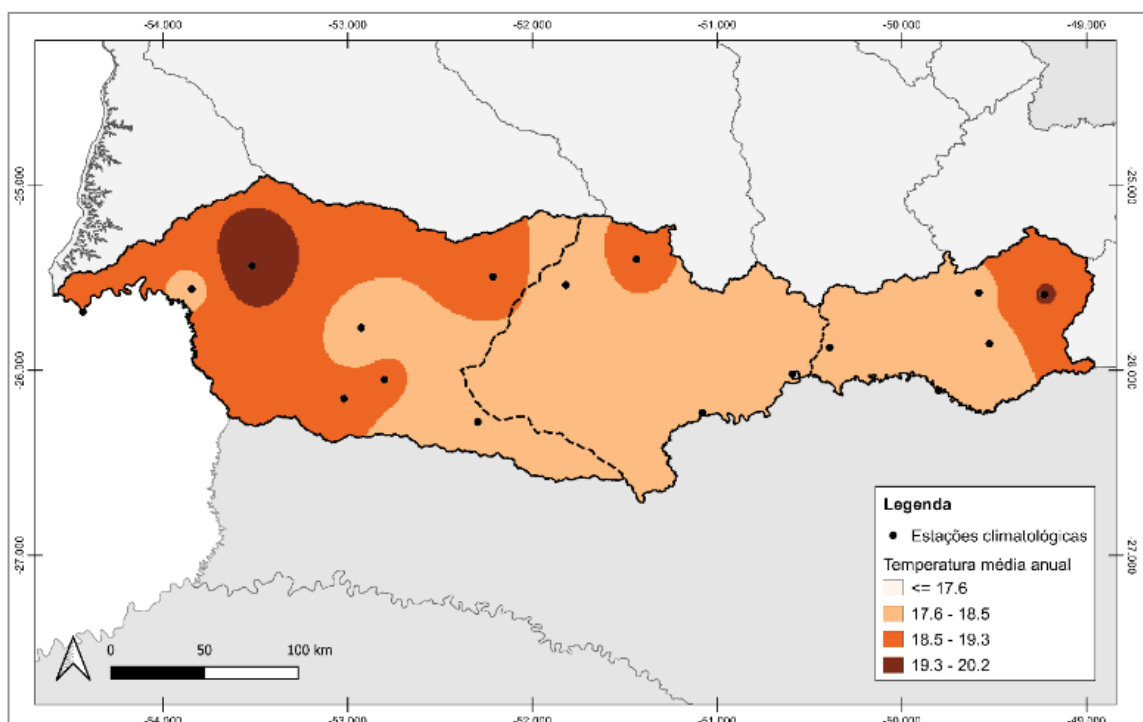


FIGURA 19 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS COM OS VALORES DE TEMPERATURA MÉDIA ANUAL.



3.2.2 Séries de índices climáticos

Os índices climáticos escolhidos foram obtidos do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e no sistema Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão (FMPT), conforme descrito no Quadro 2.

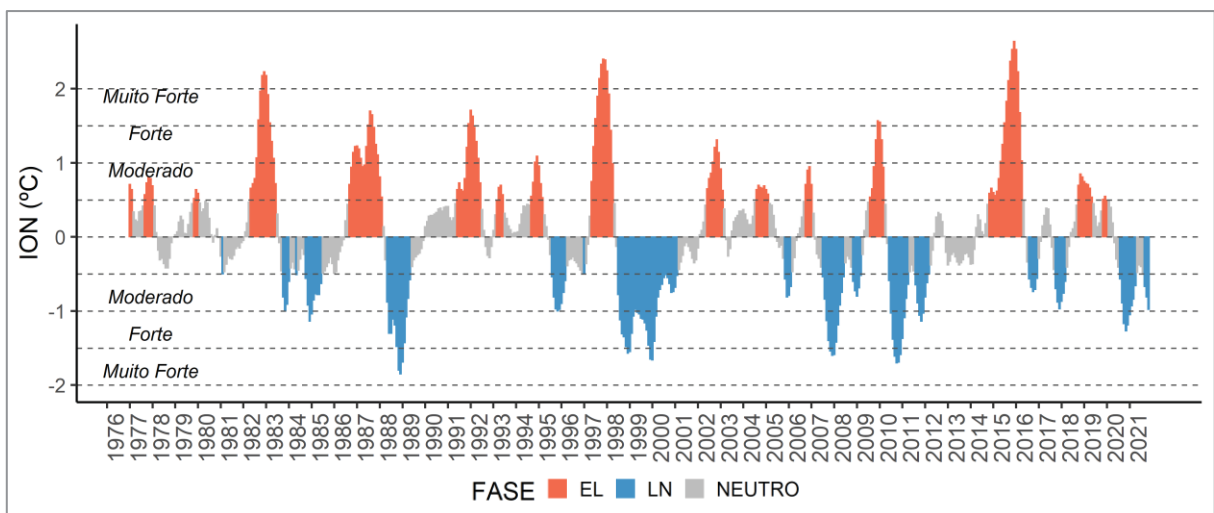
QUADRO 2 - ÍNDICES UTILIZADOS

Índices	Fonte	Classificação	Série histórica
ONI 3.4	NOAA	EN > 0,5° LN < - 0,5° N = [-0,5°, 0,5°]	1950 - atual
SAM/AAO	NOAA	Eventos significantes: Positivo > 0,12 Negativo < - 0,12	1979 - atual
PSA 1	FMPT	Eventos significantes: Positivo > 0,98 Negativo < - 0,98	1979 - atual

FONTE: NOAA e FMPT (2022)

As FIGURA 20 a 22 mostram as séries do ONI 3.4, PSA 1 e AAO, respectivamente.

FIGURA 20 - SÉRIE TEMPORAL DO ÍNDICE OCEÂNICO DO NIÑO 3.4 (1976 - 2021)



LEGENDA: EL = EL NIÑO; LN = LA NINÃ.

FIGURA 21 - SÉRIE TEMPORAL DO ÍNDICE PADRÃO PACÍFICO-AMÉRICA DO SUL (1979 - 2021)

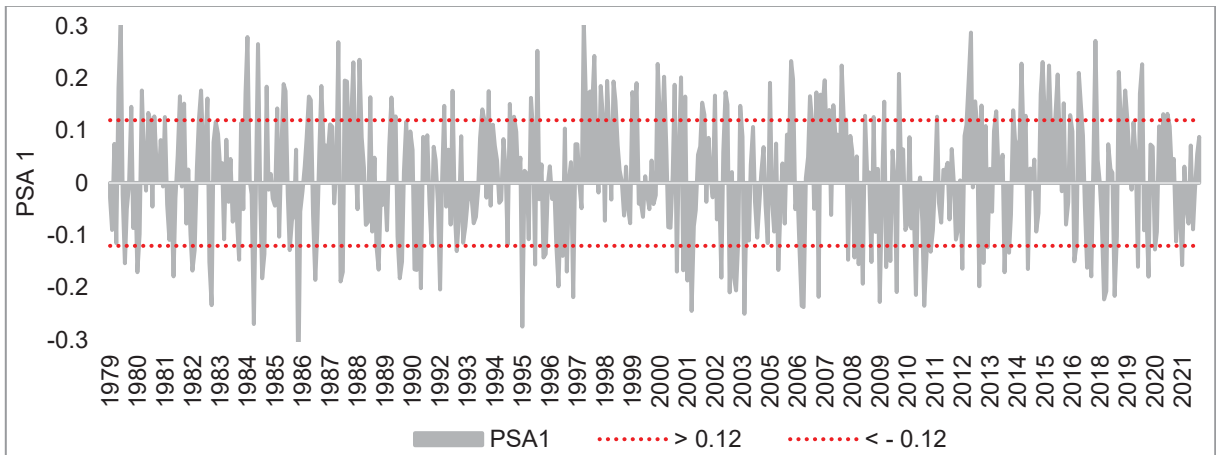
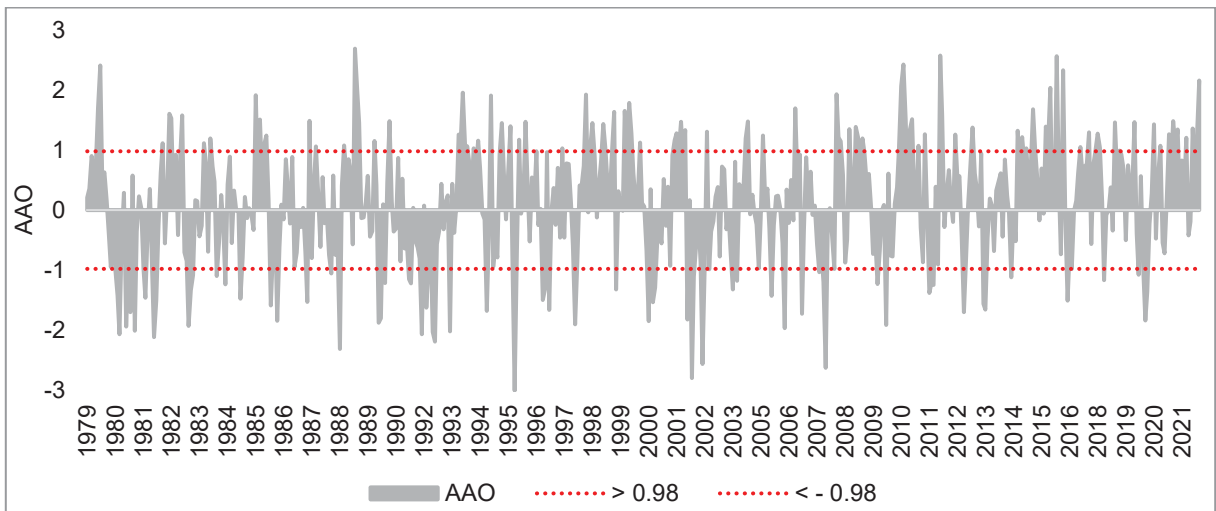


FIGURA 22 - SÉRIE TEMPORAL DO ÍNDICE OSCILAÇÃO ANTÁRTICA (1979-2021)



3.3 CÁLCULO DOS VALORES MÉDIOS NA BACIA

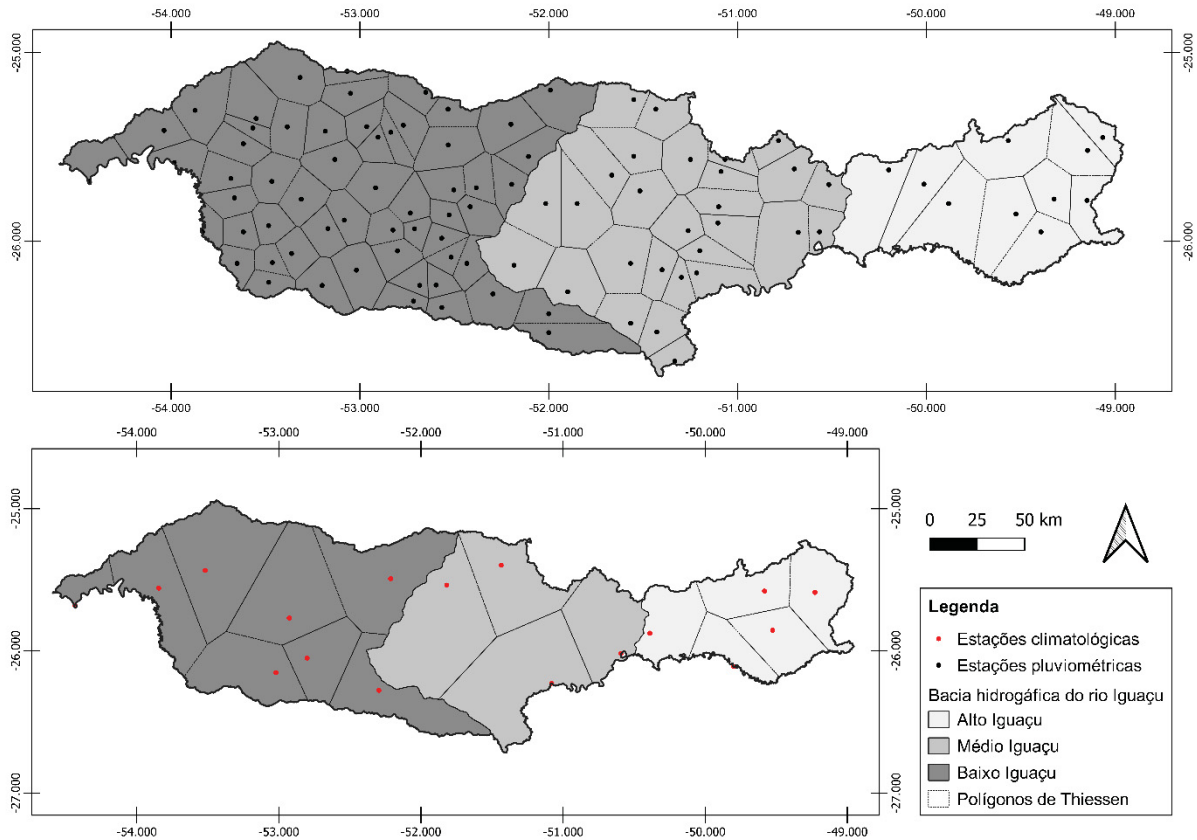
Para o cálculo dos valores médios de precipitação, temperatura e índices climáticos, empregou-se o método dos polígonos de Thiessen. Método que consiste basicamente em construir uma série de subdivisões em um dado plano com um conjunto de pontos, objetivando determinar polígonos com áreas de influência ponderadas pela representatividade de cada ponto no plano.

Com o auxílio do software *QGIS* os polígonos de Thiessen foram definidos para as estações escolhidas (FIGURA 23). Na sequência, tais polígonos foram utilizados para interpolar dados de precipitação, temperatura e dos resultados dos índices de seca através da Equação 10.

$$P_m = \sum A_i P_i / \sum A_i \quad (10)$$

Onde, P_m = Precipitação média na área (mm), A_i = Área de influência das estações (áreas dos polígonos) e P_i = Precipitação registrada nas estações.

FIGURA 23 - POLÍGONOS DE THIESSEN DAS ESTAÇÕES ESCOLHIDAS



3.4 ÍNDICES DE SECA

3.4.1 SPI

De acordo com McKee *et al.* (1993) o SPI se baseia inicialmente na determinação da função densidade de probabilidade calculada mês a mês, a depender da escala temporal em meses. Sendo necessário utilizar uma distribuição de probabilidade da família gama (as distribuições de Pearson III) e então, para obter a probabilidade acumulada, a série é ajustada a uma função densidade de probabilidade gama, definida pela Equação 11 (BATISTA JR, 2012).

$$g(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x\beta^{-1}}; x > 0 \quad (11)$$

Sendo: $\alpha > 0$ o parâmetro de forma (adimensional); $\beta > 0$ o parâmetro de escala (mm), x o total de precipitação (mm) e $\Gamma(\alpha)$ a função gama.

Para estimar os parâmetros α e β utiliza-se as Equações 12 e 13:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (12)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (13)$$

Onde, \bar{x} é média da série em questão e A é obtido pela Equação 14:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x) \quad (14)$$

Onde, n é o número de observações. Importante ressaltar que os parâmetros α e β , são estimados para cada mês e escala temporal.

Os resultados dos parâmetros de forma são utilizados para encontrar a equação de probabilidade cumulativa (Equação 15) de um evento de precipitação em uma determinada escala de tempo, sendo ela estimada através da função gama $g(x)$ incompleta e indeterminada em $x = 0$, ou seja, admitindo a presença de precipitações igual a 0.

$$H(x) = q + (1 - q)g(x) \quad (15)$$

$$q = \frac{m}{n + 1} \quad (16)$$

Onde $H(x)$ é a distribuição de probabilidade cumulativa; q a probabilidade de ocorrência de valores nulos; $g(x)$ a distribuição cumulativa teórica; m o número de ordem dos valores zero em uma série e n o tamanho da amostra.

Os valores do SPI são encontrados através da normalização da Equação 15, que ocorre por meio seguindo as equações de relação entre as distribuições de probabilidade Gama e Normal desenvolvidas por Abramowitz e Stegun (1965) aplicando técnicas de aproximação, obtendo as Equações 17 e 18 (NEVES; VILANOVA, 2021; SIQUEIRA, NERY, 2015).

$$SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1t + c_2t^2}{1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3}\right); t = \sqrt{\ln \frac{1}{(H(x))^2}}; 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (17)$$

$$SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1t + c_2t^2}{1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3}\right); t = \sqrt{\ln \frac{1}{(1 - H(x))^2}}; 0.5 < H(x) < 1 \quad (18)$$

Sendo, os parâmetros de aproximação: $c_0 = 2,515517$, $c_1 = 0,802853$, $c_2 = 0,010328$, $d_1 = 1,432788$, $d_2 = 0,189269$ e $d_3 = 0,001308$ e $t =$ variável de aproximação determinada por Abramowitz e Stegun (1965).

3.4.2 SPEI

Desenvolvido por Vicente-Serrano, Beguería & López-Moreno (2010), o *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI* têm como intuito aperfeiçoar o SPI, pois a sua metodologia insere outros parâmetros além da precipitação como as variações de temperatura e evaporação. Seu cálculo depende basicamente da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (PET).

A PET pode ser encontrada por diferentes métodos. Neste trabalho é utilizado o método de Thornthwaite (Equação 19) que, assim como os outros, representa o balanço hídrico de forma simplificada, calculado para diferentes escalas temporais usando a Equação 20.

$$PET = 16 \left(\frac{10T}{I}\right)^\mu \quad (19)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (20)$$

Onde, $T =$ temperaturas médias mensais e $I =$ Índice de calor anual. Onde, $\mu =$ polinômio de terceira ordem que varia de acordo com o índice de calor I , sendo ele $675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0.49239$.

Ainda, para o cálculo da evapotranspiração é necessário encontrar o coeficiente de correção (K) que é calculado em função da latitude de cada estação (Equação 21).

$$K = \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{NDM}{30}\right) \quad (21)$$

Onde, N = número máximo médio de horas de sol para o mês sob análise e NDM = número de dias do mês, sendo este calculado com a Equação 22, onde W_s = média mensal do ângulo horário do nascer do sol (Equação 23).

$$N = \left(\frac{24}{\pi}\right) W_s \quad (22)$$

$$W_s = \arccos(-\tan\phi \tan\delta) \quad (23)$$

Sendo, ϕ = latitude em radianos e δ = declinação solar, também em radianos. O parâmetro δ varia com a média mensal dos dias julianos (J) que são definidos em escala mensal com a Equação 24.

$$\delta = 0.4093 \sin\left(\frac{2\pi J}{365} - 1.405\right) \quad (24)$$

Na sequência, os dados são compilados na Equação 25, a qual representa o déficit ou superavit de água mensal (mm), encontrando a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (25)$$

Onde, P_i = Precipitação acumulada. A diferença entre precipitação e evapotranspiração em diferentes escalas é dada pela Equação 26.

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1-i} - PET_{n-1-i}), n \geq k, \quad (26)$$

Onde, k = escala temporal (meses) e n = frequência de cálculo. A série de SPEI é obtida através da normalização da densidade de probabilidade realizada por uma distribuição de probabilidade log-logística de 3 parâmetros (Equação 27).

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} * \left(\frac{x - \gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x - \gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right)^{-2} \quad (27)$$

Onde, α , β e γ são parâmetros de escala, forma e origem para valores D .

Existem diferentes procedimentos para obter os parâmetros, entre eles o método dos momentos-L que ao ser calculado os momentos L, os parâmetros α , β e

γ podem ser encontrados com as Equações 28 a 30 (SINGH; GUO; YU, 1993; YANG *et al.*, 2016).

$$\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2} \quad (28)$$

$$\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma(1 + 1/\beta) \Gamma(1 - 1/\beta)} \quad (29)$$

$$\gamma = w_0 - \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \quad (30)$$

De modo que, $\Gamma(\beta)$ é a função gama de β . Vicente-Serrano, Beguería & López-Moreno (2010) utilizaram o método dos momentos ponderados de probabilidade (PWMs) baseado no método de Hosking (1990) para encontrar w_s ($s = 0, 1, 2, \dots$) com a Equação 31.

$$w_s = \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{j - 0.35}{n}\right)^s D_i \quad (31)$$

Onde, n = quantidade de dados; j = intervalo de observações em ordem crescente; e D_i = Diferença entre a precipitação e a evapotranspiração do mês i .

Assim, a distribuição de probabilidade de D é calculada com a função de distribuição log-logística de 3 parâmetro, obtendo a a função de densidade de probabilidade da Equação 32.

$$F(x) = \left(1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma}\right)^\beta\right)^{-1} \quad (32)$$

Onde, α, β e γ são os parâmetros de forma e escala supracitados. Seguindo a mesma metodologia do cálculo do SPI, têm-se com as equações de aproximação de Abramowitz e Stegun (1965) os valores da função da função $F(x)$ (Equação 32) normalizada. Deste modo os valores do SPI são obtidos com a Equação 33.

$$SPEI = t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}; t = \begin{cases} \sqrt{-2 \ln(1 - P)}; & P > 0.5 \\ \sqrt{-2 \ln(P)}; & P \leq 0.5 \end{cases} \quad (33)$$

Onde “t” representa os momentos ponderados por probabilidade de aproximação. Além disso, $P = 1 - F(x)$ e os parâmetros de aproximação são iguais ao do SPI: $c_0 = 2,515517$, $c_1 = 0,802853$, $c_2 = 0,010328$, $d_1 = 1,432788$, $d_2 = 0,189269$ e $d_3 = 0,001308$.

3.4.3 Classificação e escolha das defasagens dos índices de seca

Os índices de seca foram classificados por McKee, Doesken e Kleist (1993) de acordo com a frequência e magnitude das secas (TABELA 1). Terassi *et al.* (2019) utilizaram tal classificação no SPI em análise da pluviometria em bacias hidrográficas do Paraná e Luo *et al.* (2016) para classificação do SPEI.

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DO SPI/SPEI

SPI/SPEI	CATEGORIA
$\leq - 2,0$	Seca extrema
-1,99 a -1,50	Seca severa
-1,49 a -1,00	Seca moderada
- 0,99 a 0,99	Normal
1,00 a 1,49	Chuva moderada
1,50 a 1,99	Chuva severa
$\geq 2,0$	Chuva extrema

FONTE: Adaptado de McKee, Doesken e Kleist (1993)

Valores positivos (negativos) da TABELA 1 indicam que a precipitação é maior (menor) do que a média da série (ZHOU *et al.*, 2021). Como dito anteriormente, ambos os índices podem ser calculados com diferentes defasagens de meses. Por convenção, o numeral posterior à sigla do índice indica quantos meses foram escolhidos para a defasagem.

O SPI 1 descreve eventos de precipitação de curto período que ocorrem em escala mensal. O SPI-3 descreve eventos de média duração, podendo representar as estações do ano e, por exemplo, períodos de cultivos assim como utilizado por Batista Jr (2012) que avaliou secas meteorológicas em atividades de agricultura.

O SPI 6 melhor representa eventos de duração média, evidenciando períodos de sazonalidade e o SPI 12 é utilizado para representar eventos pluviométricos de longo prazo, considera-se que as mesmas condições representam o SPEI. A FIGURA 24 detalha a escolha da defasagem, que ocorreu de forma similar à metodologia de An *et al.* (2020).

FIGURA 24 - FLUXOGRAMA DA ESCOLHA DAS DEFASAGENS DOS ÍNDICES DE SECA



Portanto, as defasagens escolhidas para esta pesquisa foram em escala mensal (SPI/SPEI 1), trimestral (SPI/SPEI 3), semestral (SPI/SPEI 6) e anual (SPI/SPEI 12). Na defasagem de 3 meses foi considerado os meses das estações do ano, assim como na pesquisa de Terassi *et al.* (2019). Por sua vez, na defasagem de 6 meses, escolham-se os meses da subdivisão do ano em período mais e menos chuvosos (período seco e chuvoso).

3.5 TRANSFORMADA WAVELET

Com o intuito de analisar as séries e os sinais do SPI em escalas de tempo e frequência, optou-se por aplicar a Transformada Wavelet Contínua (TWC) com a *wavelet*-mãe de Morlet, que foi utilizada por Yerdelen, Abdelkader & Eris (2021) por ser eficiente em representar sinais de séries hidrológicas. Labat *et al.* (2004), Sousa (2010), Joshi *et al.* (2016) e Goulart *et al.* (2015) e outros, também utilizaram a *wavelet* de Morlet em dados hidrológicos.

A *wavelet* de Morlet se caracteriza por ser uma função de onda plana modulada por uma função Gaussiana (Equação 34), na qual o valor de “ ω_0 ” faz com que seja satisfeita a condição de admissibilidade, mantendo o equilíbrio e a relação entre o plano de tempo e frequência, representado por σ (DOMINGUES *et al.*, 2016).

$$\Psi(t) = \exp\left(\frac{-t^2}{2\sigma^2}\right) \exp(j\omega_0 t) \quad \omega_0 > 5 \quad (34)$$

Torrence & Compo (1998), consideram que $\omega_0 = 6$ um valor adequado. Contudo, para este trabalho adotou-se $\omega_0 = 5$, tal como Lee *et al.* (2019) que implementaram o pacote computacional utilizado (*pywavelet* em linguagem Python). A relação entre tempo e frequência é dada por σ , para o qual valores menores indicam uma boa resolução temporal, enquanto os maiores mostram uma maior resolução da frequência, foi adotado $\sigma = 1$ conforme Lee *et al.* (2019).

Realizou-se a análise dos sinais do SPI nas defasagens de 1 (SPI 1) e 12 (SPI 12) meses. Para o SPI 12, utilizou-se o mês de dezembro de cada ano como base. As escalas escolhidas foram respectivamente, de 12 meses e 15 anos. A justificativa para esses valores é que a frequência é inversamente proporcional à escala. Assim, escalas menores detalham melhor componentes de altas frequências e produzem janelas mais estreitas que melhor caracterizam os eventos mensais. Por sua vez, escalas maiores produzem janelas de frequências, melhor representando eventos de longa duração e trazendo uma visão mais abrangente da série (CÉSAR, 2018).

3.6 COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E TESTE ESTATÍSTICOS

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), a definição de correlações entre variáveis hidrológicas e outras variáveis associadas parte inicialmente da análise simultânea dessas variáveis com diagramas de dispersão, que são representados por coeficientes de correlação adimensionais que variam de -1 a +1. Para isto, propôs-se correlacionar os índices climáticos com os índices de seca usando os coeficientes de correlação de Pearson.

O nível de significância da correlação foi estabelecido de acordo com a Equação 35.

$$t_0 = \frac{\hat{\rho}_1 \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\hat{\rho}_1^2}} \quad (35)$$

$$\hat{\rho}_1^2 = \frac{t_0^2}{[(n-2) + t_0^2]}$$

Onde t_0 = valor retirado da distribuição t de Student e n = tamanho da amostra. Para o estudo de caso aqui apresentado, o valor do t_0 para $\alpha = 5\%$ e $n - 2$ graus de liberdade ($gl = 43$) é 2,021. Com isto, o valor mínimo para que o coeficiente de correlação seja considerado estatisticamente significativo é de 0,301. Como está

sendo considerando que a amostragem é bicaudal a significância fica entre $-0,301 < r < 0,301$.

Proposto por Sneyers (1975) o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall foi utilizado para avaliar se as séries de precipitação possuem tendência temporal estatisticamente significativa, o teste se baseia nas hipóteses que a série temporal é estável, independente e aleatória (TERRASI, 2019).

4 RESULTADOS

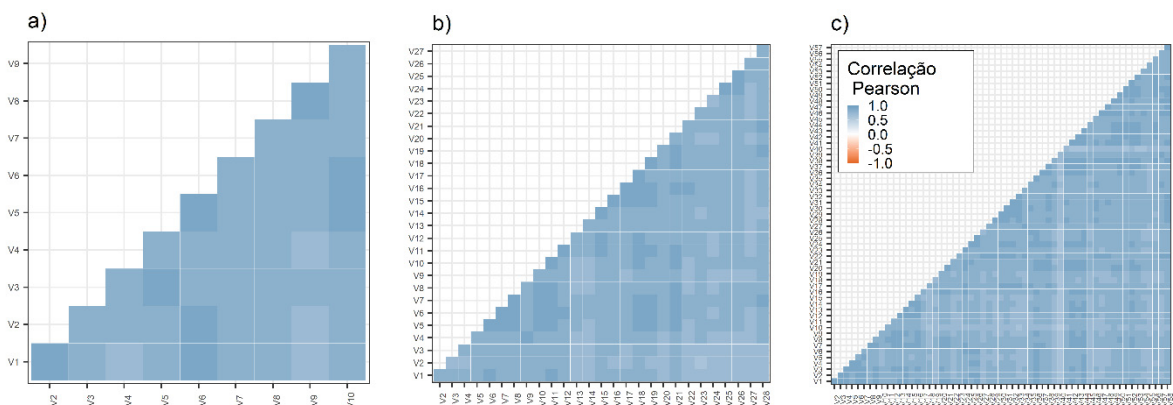
Este capítulo traz a análise descritiva das séries de precipitação e temperatura, detalha os resultados da aplicação do SPI e SPEI, bem como sua relação com os eventos climáticos identificados nos índices. Por último, mostra os resultados das Transformadas *wavelet*, a fim de enfatizar os eventos extremos e os períodos de ocorrência.

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DAS SÉRIES

Os parâmetros obtidos com a análise descritiva dos dados mensais das estações foram a média, desvio padrão, máximos e mínimos e os coeficientes de variação, assimetria e curtose dos dados mensais de cada sub-bacia. Os elementos importantes na análise são explorados na sequência, os resultados completos estão reunidos no APÊNDICE C.

Para verificar a consistência dos dados entre as diferentes estações foi plotado o diagrama de correlação de Pearson com todos os postos em cada sub-bacia. A FIGURA 25 mostram uma alta correlação, onde as cores mais escuras indicam valores próximos de 1.

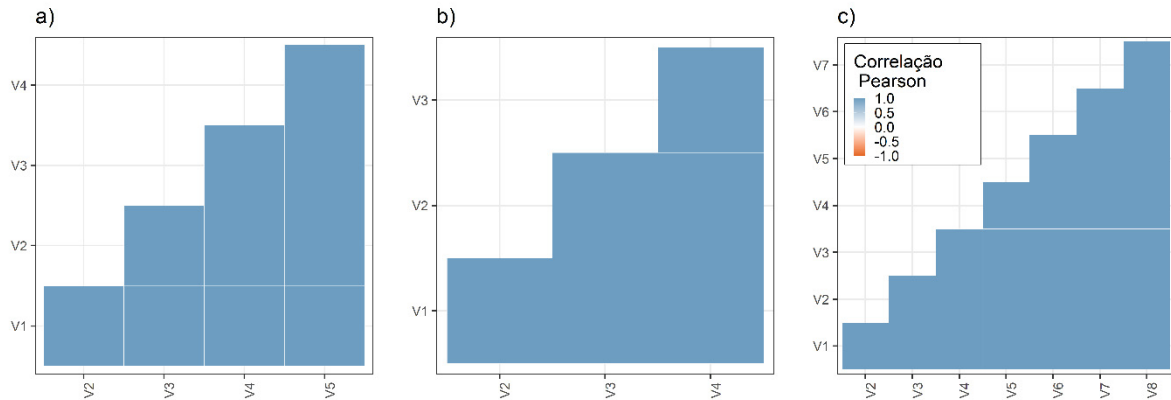
FIGURA 25 - DIAGRAMA DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO DAS SUB-BACIAS DO A) ALTO, B) MÉDIO E C) BAIXO IGUAÇU.



Fonte: A autora (2022).

O mesmo procedimento foi aplicado para os dados de temperatura média mensal, obtendo-se os resultados mostrados pela FIGURA 26.

FIGURA 26 - DIAGRAMA DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES MENSAIS DE TEMPERATURA MÉDIA DAS SUB-BACIAS DO A) ALTO, B) MÉDIO E C) BAIXO IGUAÇU.



Fonte: A autora (2022).

A análise preliminar da pluviometria nas sub-bacias foi realizada com as precipitações médias mensais obtidas por meio dos polígonos de Thiessen (FIGURA 27). A SBA apresentou as menores médias mensais de chuvas e a SBB as maiores, enquanto a SBM teve valores médios mensais mais próximos aos da SBB. De modo geral, a bacia do Rio Iguaçu não apresenta uma sazonalidade marcante de períodos secos e chuvosos, pois durante todos os meses do ano há chuvas com volumes similares.

Ainda assim, pode-se observar que o período entre os meses de abril a setembro é mais chuvoso, enquanto entre outubro a março menos chuvoso. Esse resultado corrobora os mostrados por Terrasi *et al.* (2019). O mês de agosto apresentou as menores médias mensais nas três sub-bacias, com pluviometria de 105,9 mm na SBB, 104,0 mm na SBM e 83,8 mm na SBA. Por outro lado, outubro foi o mês com maiores pluviometrias médias, com 234 mm na SBB, 204,7 mm na SBM e 183,8 mm na SBA.

A baixa variação sazonal é reafirmada ao observar os meses de maio e junho, que possuem maiores precipitações em relação ao mês anterior (abril) e posterior (julho), sendo eles inseridos no período mais seco. As menores precipitações foram registradas durante os meses julho, agosto e setembro.

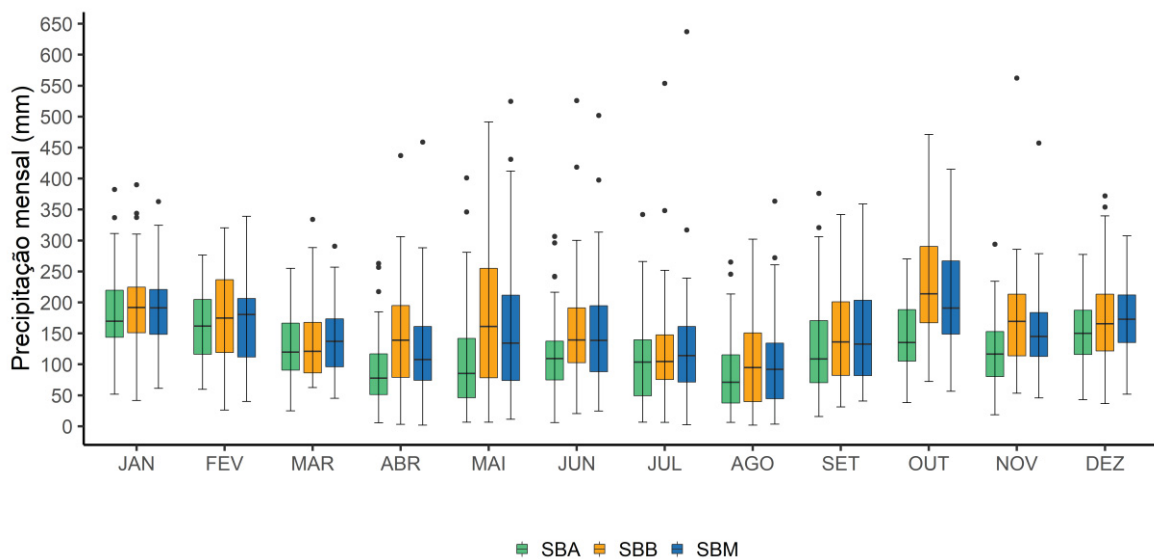
FIGURA 27 - MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS MENSAIS DAS ESTAÇÕES DAS SUB-BACIAS



Fonte: A autora (2022).

Os boxplots mensais mostrados na FIGURA 28 mostraram que a SBM teve o maior valor extremo de chuva com 637 mm em julho/1983, seguido de 562,3 mm em novembro/1982 na SBB. Desconsiderando os outliers, as maiores precipitações mensais foram na SBB em maio/1992 (491,4 mm) e outubro/1996 (471,3 mm). Por sua vez, a menor foi registrada na SBB em agosto/2012 (1,7 mm). Observando as amplitudes, as precipitações mensais da SBA variaram menos.

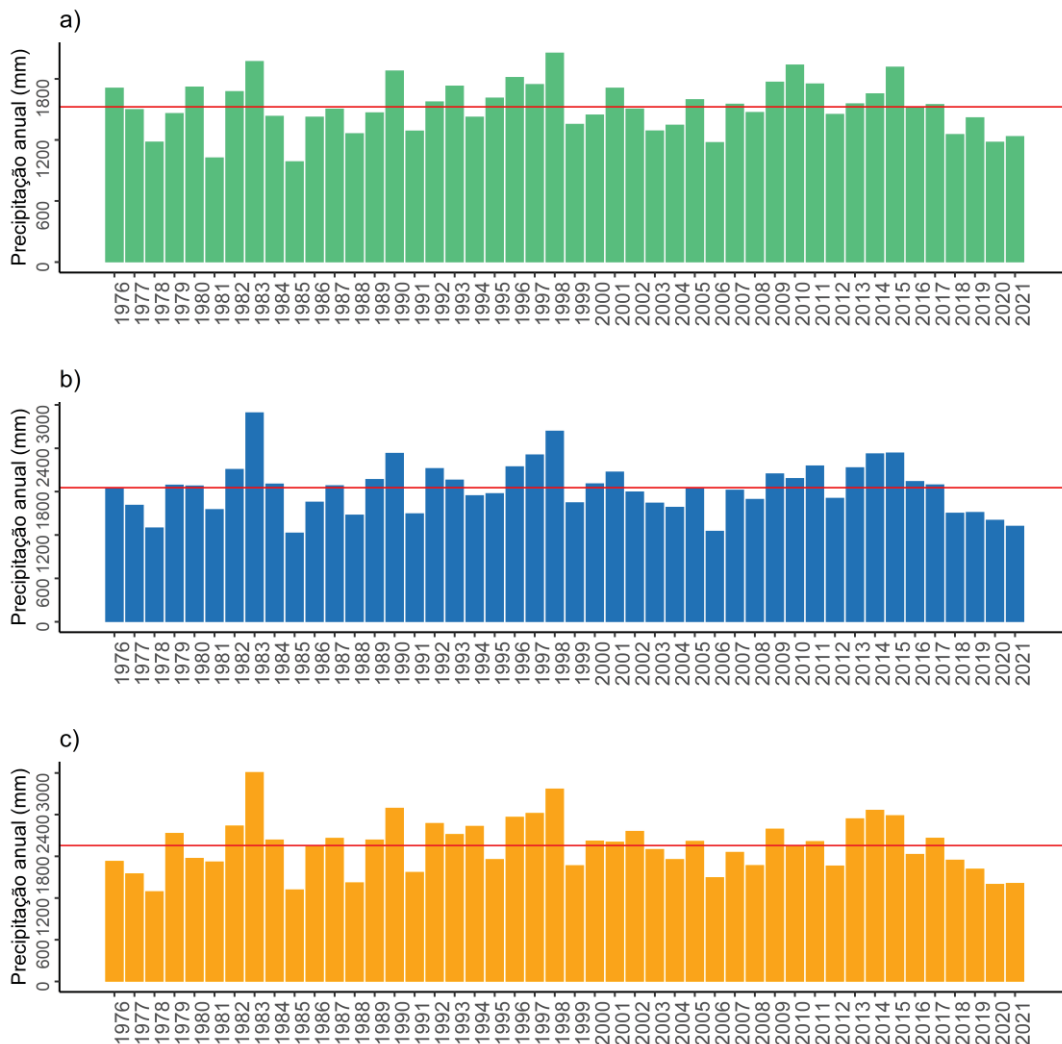
FIGURA 28 - BOX PLOT DAS SÉRIES MENSAIS DAS SUB-BACIAS OBTIDAS PELO POLIGONO DE THIESSEN



Fonte: A autora (2022).

Quanto aos valores anuais a FIGURA 19 mostra que a precipitação média anual da SBB de 1.956,5 mm, da SBM de 1.856,1 mm e da SBA de 1.524,6 mm. Observa-se que em todas as sub-bacias o período de 2018 a 2021 foi marcado por quatro anos seguidos de pluviometria abaixo da média. Outros períodos similares foram observados de 1976 a 1978 na SBB e de 1984 a 1988 na SBM. Há também a presença de períodos com precipitações acima da média durante 1996 a 1998 e 2013 a 2015 nas três sub-bacias.

FIGURA 29 - PRECIPITAÇÃO ANUAL DAS SUB-BACIAS DO A) ALTO, B) MÉDIO E C) BAIXO IGUAÇU



Fonte: A autora (2022).

Motivado pelos baixos registros de chuva nos anos mais recentes, fez-se uma verificação adicional na tendência de longo termo nas séries com o teste de Mann-Kendall, com intensidade da tendência indicada pelo coeficiente não paramétrico (φ).

Os resultados estão dispostos na TABELA 2 e indicam uma eventual tendência negativa ao longo do tempo na SBB e SBA. Entretanto, o teste admite como H_0 (hipótese nula) que não há tendência significativa nos dados se $p\text{-valor} < 0,05$. Indicando que as séries não possuem tendências significativas.

TABELA 2 - TESTE DE MANN-KENDALL DA SÉRIES MÉDIAS MENSAIS (1976-2021)

Mann-Kendall	p-valor	φ (mm/ano)
BAIXO	0.7475	-0.0338
MÉDIO	0.9095	0.0126
ALTO	0.9698	-0.0048

Fonte: A autora (2022).

Os dados de temperatura estão plotados na FIGURA 30 com médias mensais da temperatura. As temperaturas médias mais baixas foram entre maio a agosto, sendo julho o mês mais frio e as maiores temperaturas foram entre outubro a março. Na maioria dos meses a SBB apresentou maiores temperaturas e a SBM as menores. As temperaturas apresentam um comportamento homogêneo entre as sub-bacias durante os meses.

FIGURA 30 - TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS ESTAÇÕES DAS SUB-BACIAS



Fonte: A autora (2022).

4.2 RESULTADO DOS ÍNDICES DE SECA

O SPI e SPEI foram aplicados para todas as estações selecionadas e posteriormente submetidos ao método de Thiessen para obtenção das séries

representativas para cada sub-bacia. Os resultados estão explanados separadamente da seguinte forma: a) anual (SPI 12), b) semestral (SPI 6), c) trimestral (SPI 3), d) mensal (SPI 1) e e) SPEI.

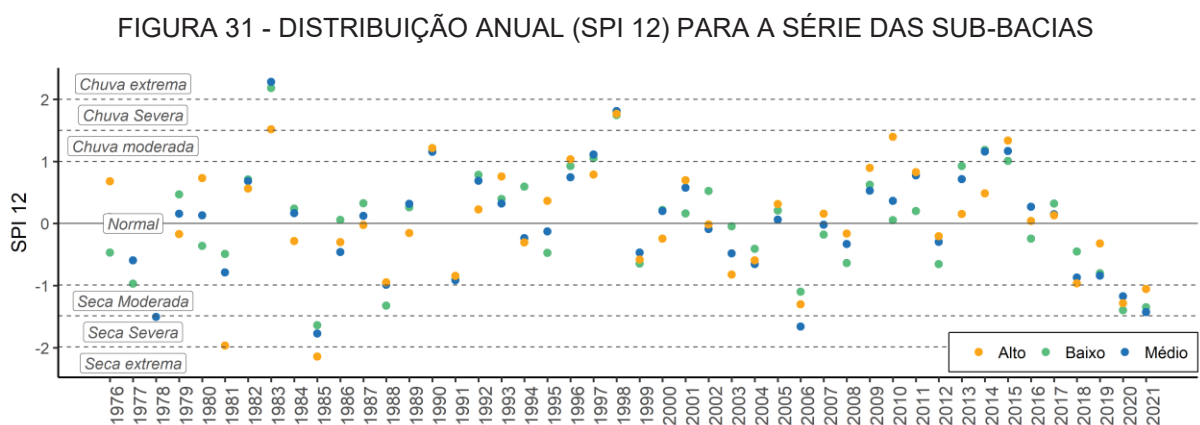
Adiante serão considerados como eventos categorizados como secos a soma das classificações de seca (SPI/SPEI < -1 eventos de seca moderada, severa e extrema) e de eventos categorizados como chuvosos como a soma dos eventos chuvosos (SPI/SPEI > 1 eventos de chuva moderada, severa e extrema). Devido à similaridade entre os resultados da SBA e SBM, a seguir será apresentado a análise do SBB e SBA. Os resultados da SBM estão no APÊNDICE D.

a) Anual (SPI 12)

A FIGURA 31 mostra os resultados do SPI 12 que em maioria são classificados como normais. A SBB e SBA tiveram 6 anos categorizados como secos e chuvosos. Na SBM houve 5 anos categorizados como secos e 6 como chuvosos.

Eventos extremos aconteceram na SBA no ano de 1985 (-2,14) e na SBB e SBM em 1983 (2,18, 2,28). O ano de 1983 na SBA foi considerado de chuva severa. Enquanto o período de 2018 a 2021 marcou uma sequência de índices negativos, sendo que 2020 e 2021 foram classificados como seca moderada.

O período de 2018 a 2021 se assemelhou aos eventos de seca da década de 80 e provocou a diminuição volumétrica dos reservatórios e mananciais de modo que, foi decretado estado de emergência no estado do Paraná, ocasionando rodízios de abastecimento na capital e região metropolitana (FOGGIATO, 2020).



Fonte: A autora (2022).

Quanto ao ano atípico de 1983, vale ressaltar que os eventos chuvosos causaram enchentes e alagamentos em cidades da SBM, entre elas União de Vitória e Porto Vitória que sofreram grandes impactos da cheia do Rio Iguaçu que aumentou cerca de 7 metros em relação ao seu nível. Os eventos de chuvas aconteceram no mês de julho e duraram cerca de duas semanas (NUNES, 2017).

A TABELA 3 mostra a frequência relativa das classificações do SPI 12, estando cerca de 75% dos eventos classificados como normais. Dos eventos classificados como secos, houve seca extrema (2,17%; 1 ano) somente na SBA. Os eventos de seca severa ocorreram em menores frequências que as secas moderadas e a SBM apresentou as maiores frequências de tais eventos.

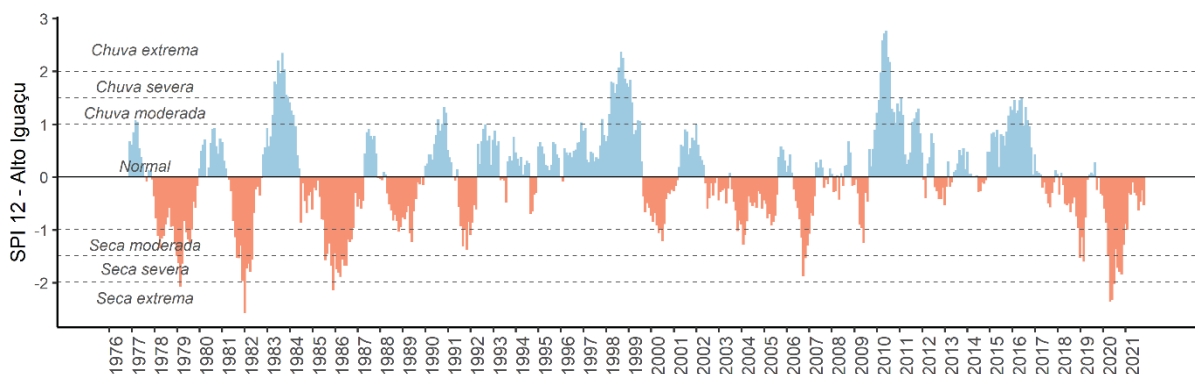
TABELA 3 - FREQUÊNCIA RELATIVA DO SPI-12

SPI_12	Seca extrema	Seca severa	Seca moderada	Normal	Chuva moderada	Chuva severa	Chuva extrema
Baixo	0,00%	4,35%	8,70%	73,91%	8,70%	2,17%	2,17%
Médio	0,00%	6,52%	4,35%	76,09%	8,70%	2,17%	2,17%
Alto	2,17%	2,17%	8,70%	73,91%	8,70%	4,35%	0,00%

Fonte: A autora (2022).

Dos eventos chuvosos a SBA teve a maior frequência de eventos de chuva severa (4,35%; 2 anos), mas nenhum de chuva extrema. Por sua vez, as SBB e SBM tiveram as mesmas frequências de eventos de chuva extrema (2,15%; 1 ano). A FIGURA 32 e a FIGURA 33 mostram os resultados do SPI 12 nas defasagens mensais da SBA e SBB, respectivamente.

FIGURA 32 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 12 DA SBA



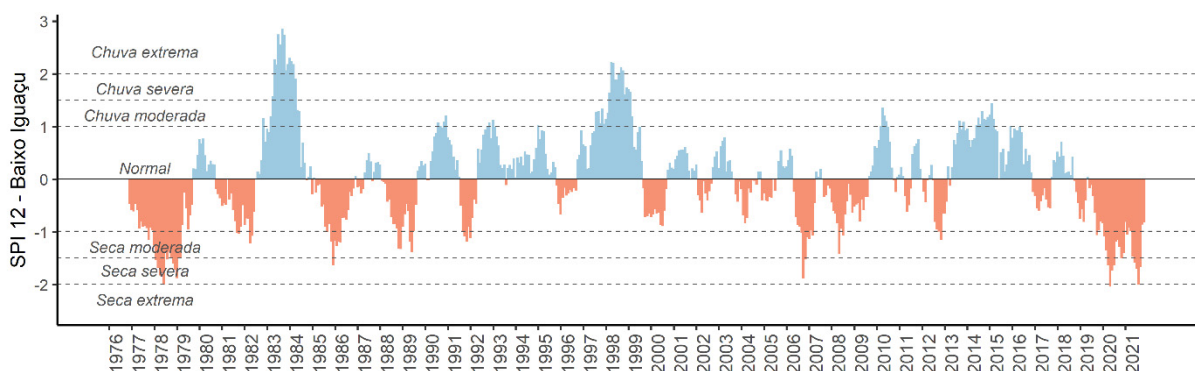
Fonte: A autora (2022).

É possível ver que há diferentes resultados quanto à intensidade dos eventos, de modo que a SBB teve períodos mais marcantes com SPI negativo durante os períodos de 1977-79 e 2019-21 e SPI positivo durante 1982-84 e 2014.

Por outro lado, na SBA o período de 1984-86 teve SPI negativo com valores maiores. Observa-se que a maioria dos períodos mais secos tiveram menores durações, enquanto os chuvosos tiveram maiores durações como foi em 1995-99, 2010-12 e 2015-17 em que houve eventos de chuva extrema.

Eventos chuva em 2010 em Curitiba e região metropolitana, causaram alagamentos, quedas de árvores e outros impactos que afetaram cerca de 12 mil pessoas, onde muitas ficaram desabrigadas e desalojados (G1, 2010).

FIGURA 33 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 12 DA SBB



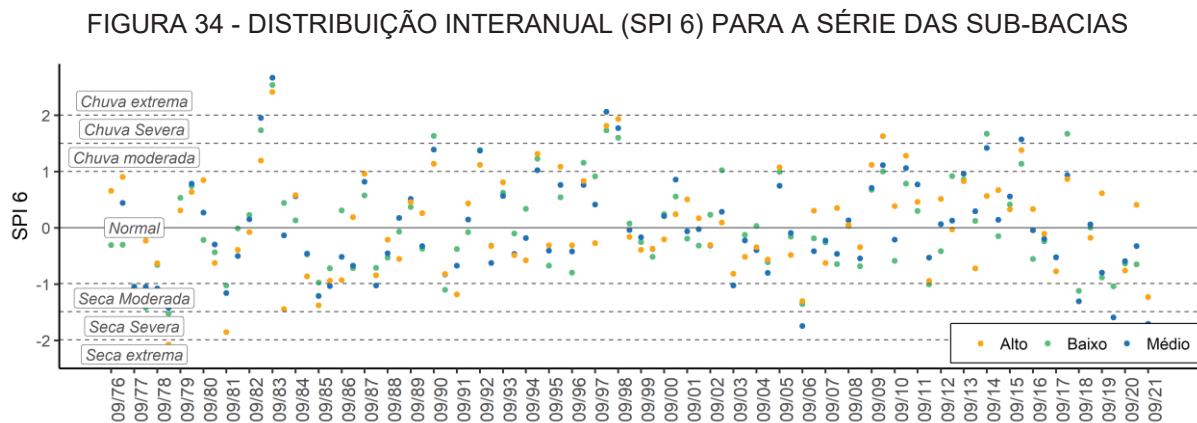
Fonte: A autora (2022).

Tais resultados mostram as condições diferentes de persistências de períodos de seca entre as sub-bacias, na SBB o período de 2018 a 2021 e 1976 a 1979, tiveram a mesma duração, contudo os impactos da seca do último período podem ter causado maiores prejuízos na distribuição de água e energia devido ao aumento da demanda das últimas décadas. Enquanto o período de 1996 a 1999 representou a maior persistência mensal de eventos chuvosos.

Tal persistência, pode levar a maior susceptibilidade de em um período ter uma maior frequência de eventos extremos ou severos, tendo em vista o desequilíbrio e sensibilidade já existente durante o período.

b) Semestral (SPI 6)

O SPI 6 foi subdividido em dois períodos pré-definidos: seco (setembro de cada ano) e chuvoso (março de cada ano). A FIGURA 34 mostra a distribuição dos resultados, os quais estão inseridos em grande maioria na categoria de eventos normais. Os eventos extremos de seca ocorreram na SBA durante o período chuvoso de 1979 (-2,07) e no período seco de 2018 (-2,1).



De acordo com a análise da SIMEPAR (2018) agosto de 2018 foi marcado por diferentes padrões pluviométricos nas regiões do Paraná, de modo que houve eventos de chuvas fortes fora do padrão no norte do Paraná, enquanto na porção sul do estado e em Curitiba os índices de chuva foram menores que a média histórica.

Quanto aos eventos extremos de chuva foram registrados no período seco de 1983 nas três sub-bacias e no período chuvoso de 1998 (2,06) na SBM. Março de 1998 foi de acordo com a SIMEPAR (2018) um mês chuvosos em todo estado, de modo que em Curitiba só houve 9 dias sem chuvas, o que ocasionou vários pontos de alagamentos pela cidade.

A TABELA 4 mostra os resultados das frequências de ocorrência do SPI 6, na qual o período seco da SBM apresentou a maior quantidade de eventos categorizados como secos (17,4%) e na SBA ocorreu maior frequência de eventos categorizados como chuvosos (13%). Para o período chuvoso, a SBB e SBM apresentaram a maior quantidade de eventos secos (10,9%) e a SBB e SBA de eventos chuvosos (15,2%).

TABELA 4 - FREQUÊNCIA RELATIVA DO SPI 6

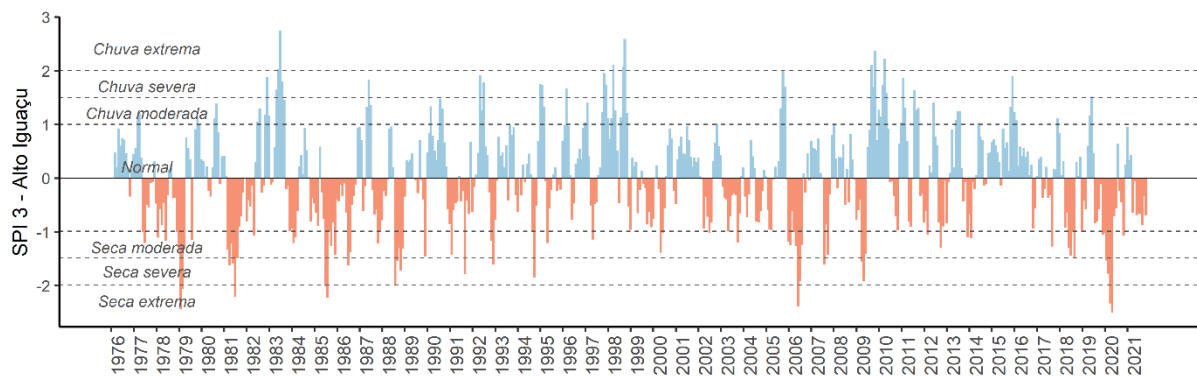
Sub-bacia	Período	Seca extrema	Seca severa	Seca moderada	Normal	Chuva moderada	Chuva severa	Chuva extrema
BAIXO	Seco	0,0%	2,2%	10,9%	76,1%	2,2%	6,5%	2,2%
		0,0%	2,2%	8,7%	73,9%	8,7%	6,5%	0,0%
MÉDIO	Seco	0,0%	4,3%	13,0%	71,7%	6,5%	2,2%	2,2%
		0,0%	2,2%	8,7%	76,1%	6,5%	4,3%	2,2%
ALTO	Seco	2,2%	2,2%	10,9%	71,7%	8,7%	2,2%	2,2%
		2,2%	2,2%	2,2%	78,3%	10,9%	4,3%	0,0%

Fonte: A autora (2022).

Não houve chuva extrema no período chuvoso da SBA e SBB. Houve seca extrema nos dois períodos da SBA, ambos os resultados com frequência de 2,2% (1 evento). Portanto, durante os períodos de seca houve quantidades maiores ou iguais de ocorrências de eventos de chuva do que de seca durante os períodos chuvosos, mostrando que há tendências maiores de eventos chuvosos do que de secos.

As FIGURAS 35 e 36 mostram o resultado do SPI 6 na SBA e SBB, respectivamente, sendo possível ver que na SBA os valores dos índices de seca tiveram mais valores negativos.

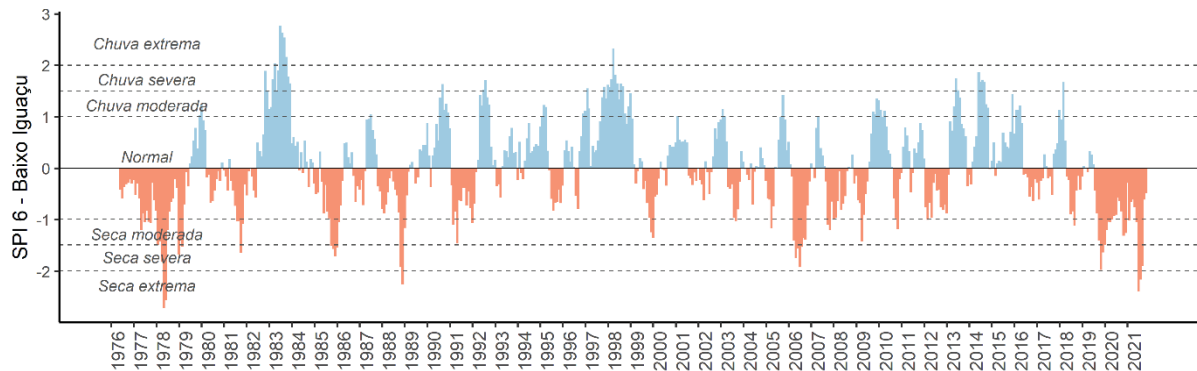
FIGURA 35 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 6 DA SBA



Fonte: A autora (2022).

A SBA apresentou índices positivos em datas nas quais a SBB teve índices negativos, como entre 1976-77, 1980-81 e 2010 a 2012 em que os eventos de chuvas tiveram classificações maiores. Na SBB destaca-se como eventos de chuva os meses de julho/83 (2,76), abril/98 (2,32) e junho/14 (1,87). E dentre os meses mais secos, destacam-se maio/78 (-2,72), dezembro/1988 (-2,25), julho/06 (-1,93) e julho/21 (-2,39).

FIGURA 36 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 6 DA SBB



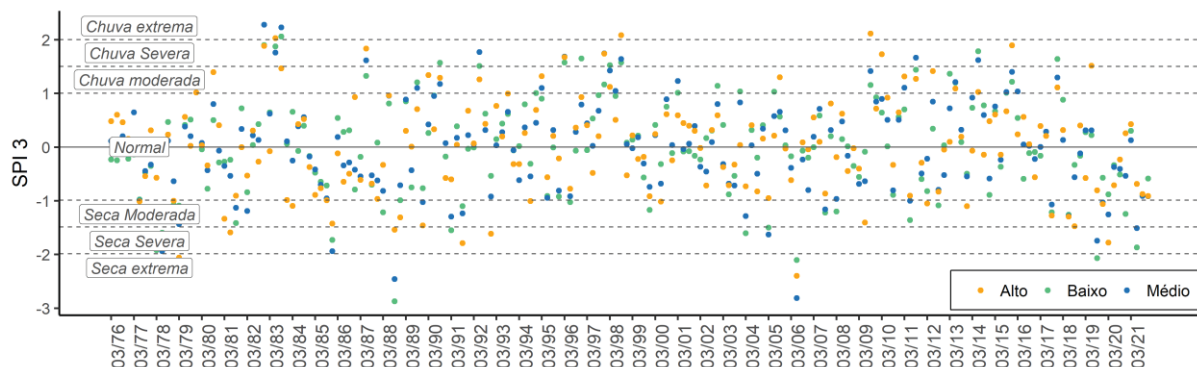
Fonte: A autora (2022).

c) Trimestral (SPI 3)

O SPI 3 foi aplicado a fim de classificar e analisar os eventos durante as estações do ano, utilizando as defasagens dos meses de março, junho, setembro e dezembro que representaram, respectivamente as estações do verão, outono, inverno e primavera.

A FIGURA 37 mostra a distribuição do SPI 3, da qual se observa que os eventos de seca extrema ocorreram nas três sub-bacias no outono de 2006. E também, no inverno de 1988 (-2,87) e 2019 (-2,06) na SBB e SBM. Os eventos de chuva extrema ocorreram no inverno de 1983 das sub-bacias e também, na primavera de 1982 (2,27) na SBM e no inverno de 2009 (2,11) e 1998 (2,02) na SBA.

FIGURA 37 - DISTRIBUIÇÃO TRIMESTRAL (SPI 3)



Fonte: A autora (2022).

Na TABELA 5 mostram-se as frequências relativas de cada evento, sendo possível observar que em todas as sub-bacias os eventos em sua maioria foram classificados como normais. A SBB teve as primaveras mais chuvosas das séries, período no qual 19,6% dos eventos foram classificados como moderados e severos. Por sua vez, no verão e no inverno houve a mesma frequência de eventos categorizados como secos (15,2%).

TABELA 5 - FREQUÊNCIA RELATIVA DO SPI 3

Sub-bacia	Estação	Seca extrema	Seca severa	Seca moderada	Normal	Chuva moderada	Chuva severa	Chuva extrema
BAIXO	verão	0,0%	8,7%	6,5%	76,1%	4,3%	4,3%	0,0%
	outono	2,2%	4,3%	6,5%	73,9%	6,5%	6,5%	0,0%
	inverno	4,3%	0,0%	10,9%	69,6%	8,7%	4,3%	2,2%
	primavera	0,0%	2,2%	6,5%	71,7%	13,0%	6,5%	0,0%
MÉDIO	verão	0,0%	2,2%	13,0%	71,7%	10,9%	2,2%	0,0%
	outono	2,2%	4,3%	4,3%	76,1%	4,3%	8,7%	0,0%
	inverno	2,2%	2,2%	8,7%	71,7%	8,7%	4,3%	2,2%
	primavera	0,0%	2,2%	4,3%	82,6%	6,5%	2,2%	2,2%
ALTO	verão	2,2%	2,2%	6,5%	73,9%	10,9%	4,3%	0,0%
	outono	2,2%	2,2%	10,9%	69,6%	8,7%	4,3%	2,2%
	inverno	0,0%	4,3%	6,5%	73,9%	10,9%	0,0%	4,3%
	primavera	0,0%	2,2%	13,0%	73,9%	4,3%	6,5%	0,0%

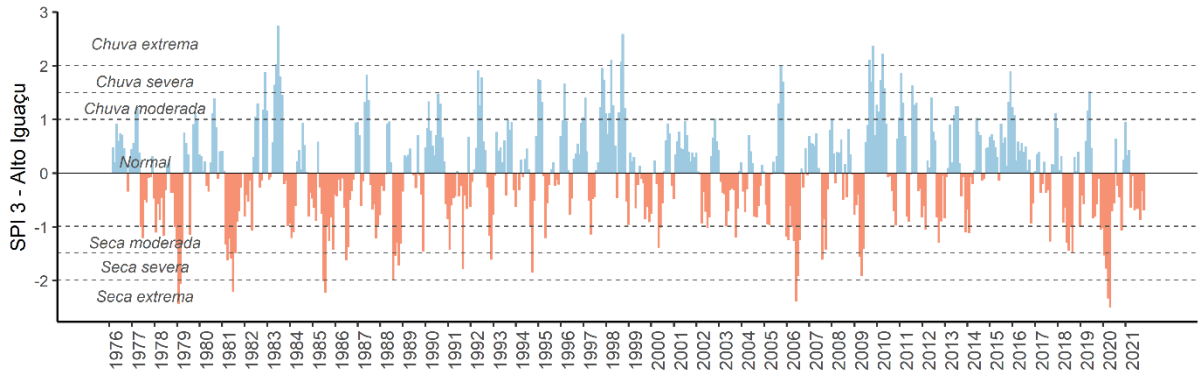
Fonte: A autora (2022).

Quanto aos eventos extremos, na SBA houve chuva extrema no outono (2,2%; 1 evento) e inverno (4,3%; 2 eventos) e secas extremas no verão e outono (2,2%; 1 evento). Na SBB, houve chuva extrema no inverno (2,2%; 1 evento) e secas extremas no outono (2,2%; 1 evento) e na primavera (4,3%; 2 eventos). Na SBM, ocorreram eventos de seca extrema no outono e inverno e de chuva extrema no inverno e primavera (2,2%; 1 evento).

Sendo assim, houve maior quantidade de secas extremas na SBB no inverno e outono e de chuvas extremas na SBA, nas mesmas estações. De modo geral, as frequências dos eventos categorizados como secos e chuvosos tiveram valores similares em todas as estações das sub-bacias.

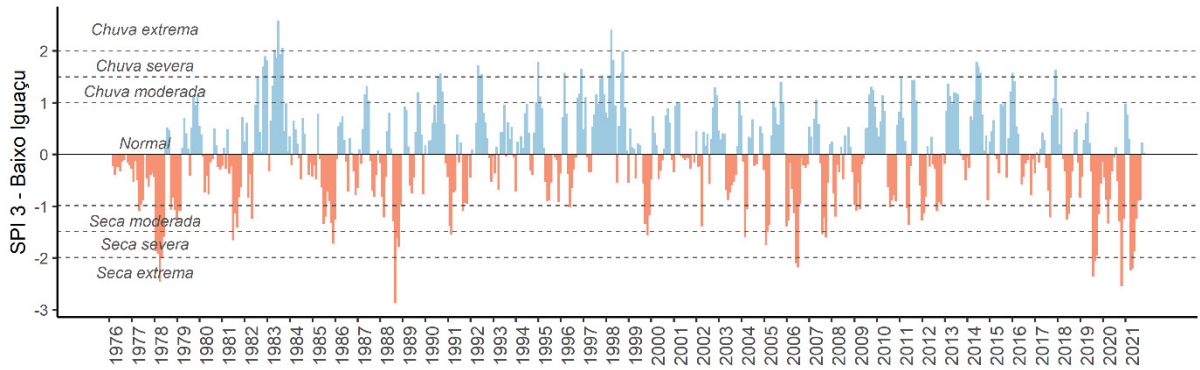
As FIGURA 38 e 39 mostram os resultados do SPI 3 da SBA e SBB. Nesta defasagem, as parcelas de precipitação influenciaram nas defasagens mensais entre 2020 e 2021, ocasionando SPI positivo na SBB.

FIGURA 38 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 3 DA SBA



Fonte: A autora (2022).

FIGURA 39 - DEFASAGENS DE TODOS OS MESES DO SPI 3 DA SBB

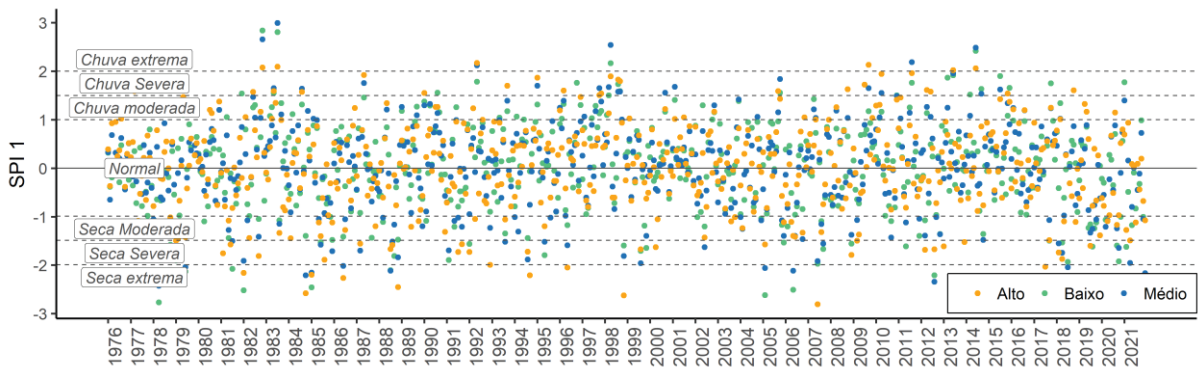


Fonte: A autora (2022).

d) Mensal (SPI 1)

A FIGURA 40 mostra os resultados do SPI em escala mensal.

FIGURA 40 -DISTRIBUIÇÃO MENSAL (SPI 1) DAS SUB-BACIAS DO IGUAÇU.



Fonte: A autora (2022).

Na TABELA 6 mostra-se que houve mais meses classificados como normais, a SBM teve mais meses categorizados como secos e a SBA como chuvosos.

TABELA 6 - FREQUÊNCIA RELATIVA DO SPI 1

SPI 1	Seca extrema	Seca severa	Seca moderada	Normal	Chuva moderada	Chuva severa	Chuva extrema
Baixo	2,17%	4,17%	7,61%	73,73%	8,15%	3,44%	0,72%
Médio	2,36%	4,17%	8,88%	72,46%	8,15%	2,90%	1,09%
Alto	2,17%	4,35%	8,15%	72,28%	7,61%	4,17%	1,09%

Fonte: A autora (2022).

Chuvas extremas ocorreram com menor frequência do que as secas extremas em todas as bacias. A SBM apresentou a maior frequência (2,36%) de secas extremas. A SBM e SBA apresentaram 6 (1,09%) meses de chuva extrema e a SBB 4 (0,72%) meses. Observa-se que apesar da SBA ter exibido as menores médias anuais e mensais de precipitação, sua região apresenta maior frequência de eventos de chuva.

A TABELA 7 compila todos os resultados de eventos extremos identificados, a chuva extrema foi em julho/83 (3,00) na SBM, em seguida na SBB em novembro/82 (2,84). Os meses de novembro/82, julho/83 e junho/14 marcaram eventos de chuvas.

TABELA 7 - MESES CLASSIFICADOS COMO EXTREMOS

Seca extrema						Chuva extrema					
SBB		SBM		SBA		SBB		SBM		SBA	
DATA	SPI 1	DATA	SPI 1	DATA	SPI 1	DATA	SPI 1	DATA	SPI 1	DATA	SPI 1
abr-78	-2,766	jul-17	-2,433	jun-07	-2,808	abr-98	2,170	jul-83	2,995	mai-92	2,172
fev-05	-2,619	abr-78	-2,422	nov-98	-2,623	jun-14	2,422	nov-82	2,659	set-09	2,137
jan-82	-2,516	ago-12	-2,343	out-84	-2,578	jul-83	2,811	abr-98	2,544	jul-83	2,098
mai-06	-2,506	fev-21	-2,222	nov-88	-2,453	nov-82	2,844	jun-14	2,488	nov-82	2,081
jan-85	-2,459	out-84	-2,208	mar-20	-2,371			ago-11	2,188	jun-14	2,060
dez-21	-2,318	dez-21	-2,162	jun-86	-2,263			mai-92	2,124	jun-13	2,024
abr-21	-2,291	jan-85	-2,153	jul-18	-2,244						
jul-17	-2,230	jul-88	-2,117	set-94	-2,208						
ago-12	-2,209	mai-06	-2,115	jan-85	-2,199						
jun-79	-2,133	fev-05	-2,061	jan-82	-2,158						
jul-88	-2,106	jul-18	-2,043	mai-96	-2,046						
jul-81	-2,078	jun-79	-2,035	jul-17	-2,032						
		jun-86	-2,0165								

Fonte: A autora (2022).

Os eventos chuvosos entre 1982 e 1983, colaboraram para os eventos extremos que marcaram o ano de 1983 no sul do Paraná. Em junho de 2014 as chuvas no Paraná deixaram sob estado de emergência 77 municípios, no total cerca de 55.659 pessoas foram afetadas por temporais que alagaram cidades, interditaram vias e destelharam casas, houve também registros de óbitos (DIONÍSIO, 2014).

Quanto aos eventos de seca extrema, o mais forte foi na SBA em junho/07 (-2,80) em seguida em abril/78 (-2,77) na SBB. Nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro e dezembro não houve eventos de chuvas extrema. No geral, houve maior quantidade de meses de extrema seca na SBM.

Os meses de abril a julho de 2007 foram períodos de estiagem que marcaram o norte do Paraná, causando diversos danos na agricultura local (G1, 2007). O mesmo se estendeu para o sul do estado, mas com menor magnitude. Estudos mostraram que o segundo trimestre de 2006 e 1978 na região de União de Vitória foram os mais secos dentre a série história de 1931 a 2006 (UFPR, 2006).

Os resultados do último período da série de chuvas abaixo da média (2018 a 2021) foram explanados no QUADRO 3, com os índices mensais do SBA e SBB. Observa-se que em ambas as bacias houve a mesma quantidade de meses considerados de extrema seca e nenhum de chuva extrema. Contudo, a SBB apresentou a maior quantidade de meses classificados como de seca moderada e severa, de modo que em 2019 e 2020 não houve nenhum mês classificado como de chuva (tons de azul).

QUADRO 3 - RESULTADO DO SPI 1 DURANTE 2017-2021 NA SBB E SBA

MÊS		2017	2018	2019	2020	2021		2017	2018	2019	2020	2021
JAN	BAIXO IGUAÇU	-0,40	0,75	-0,25	-0,22	1,77	ALTO IGUAÇU	0,94	0,78	-0,62	-0,62	0,70
FEV		0,20	-0,41	0,53	-0,30	-1,62		0,11	-1,74	0,17	-0,78	-1,27
MAR		0,10	1,34	0,46	-1,06	-0,49		-0,42	1,01	-0,41	-2,37	0,94
ABR		0,17	-1,54	0,45	-1,07	-2,29		-0,06	-1,87	1,33	-1,09	-1,49
MAI		0,66	-0,61	0,85	0,28	-1,17		0,39	-1,10	1,16	-0,97	0,09
JUN		-0,13	-0,02	-1,23	0,17	-0,09		0,42	0,27	0,60	0,67	0,04
JUL		-2,23	-1,93	-1,16	-0,35	-0,83		-2,03	-2,24	-1,60	-0,51	-1,12
AGO		0,46	0,09	-1,61	0,70	-0,44		0,56	-0,31	-0,77	1,15	0,09
SET		-1,49	0,57	-1,24	-1,60	-0,32		-1,48	-0,57	0,40	-1,17	-0,44
OUT		1,75	0,49	-1,12	-1,92	0,99		1,25	1,61	-0,67	-0,97	0,20
NOV		0,98	0,10	0,26	-1,00	-1,00		0,48	-1,11	0,26	0,52	-0,67
DEZ		0,17	-0,90	0,05	0,56	-2,32		0,57	-0,01	-1,39	0,80	-1,08

Fonte: A autora (2022).

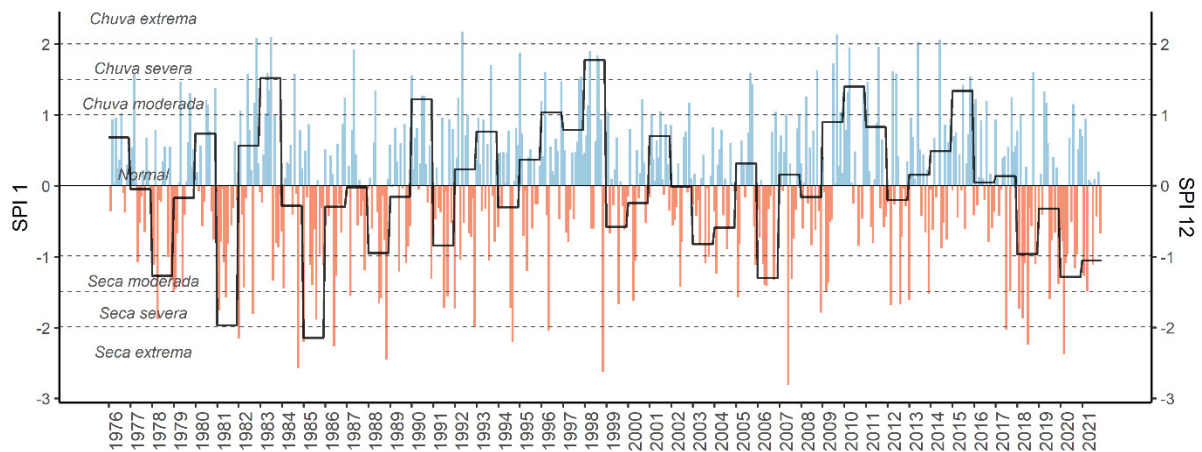
Legenda: Escala de cor varia do tom mais forte para o mais franco. Tons de laranja: Seca extrema, severa e moderada. Tons de azul: Chuva extrema, severa e moderada. Cor cinza: Eventos normais.

Tais resultados corroboram com os impactos noticiados, na qual o período de estiagem entre 2020 e 2021 deixou a bacia do rio Paraná em estado de emergência hídrica, sendo uma das crises mais fortes do último século. Os baixos índices pluviométricos causaram seca grave no estado do Paraná afetando 40% do território e causaram a diminuição expressiva nos níveis do rio Iguaçu, de modo as Cataratas foram diretamente afetadas (COSTA, 2021; PARANÁ PORTAL, 2021).

Além do impacto direto sob a distribuição de água nas cidades do estado, a pesca local foi afetada e o fornecimento de energia ficou sob estado de alerta, tendo em vista que as usinas hidrelétricas localizadas na bacia do rio Paraná representam 53% da capacidade do energética do país (COSTA, 2021).

Com o intuito de analisar e mostrar como o os resultados mensais (SPI 1) podem ter colaborado para os resultados das defasagens de dezembro (SPI 12), foi plotado as FIGURAS 41 e 42 que mostram a distribuição mensal do SPI 1 e SPI 12 na SBA e na SBB. Em resumo, na SBA os anos mais secos foram 1985, 1981 e 2020 e os mais chuvosos em 1998, 1983 e 2010.

FIGURA 41 - SPI 1 E SPI 12 DA SBA



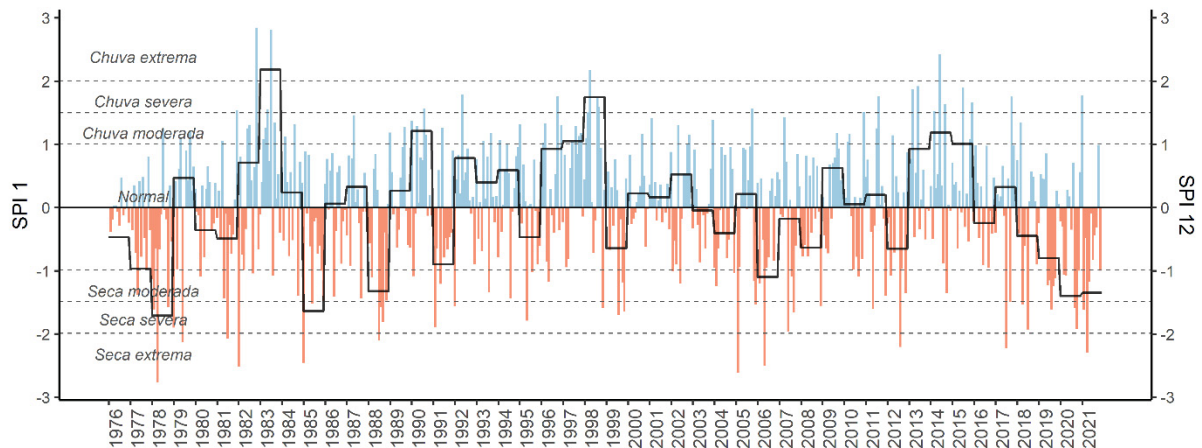
Fonte: A autora (2022).

Sendo possível observar que eventos extremos mensais, não configuram que um ano pode ser considerado como extremo, mas sim a continuidade mensal de eventos de seca ou chuva e também, se a classificação dos índices for alta, como em 1998. E também, que o fato de um ano ser classificado como seco ou chuvoso não significa que não possa haver meses classificados como extremos chuvosos ou

secos, como no caso de 2018 (ano seco) em que houve eventos de chuva severa e 2007 (ano úmido) em que houve secas extremas.

Na SBB (FIGURA 42) os anos mais secos foram 1978, 1985 e os anos mais chuvosos 1983, 1998 e 1990. Os anos de 1981 e 2018 foram anos mais secos na SBA do que na SBB.

FIGURA 42 - SPI 1 E SPI 12 (DEZEMBRO) DA SBB



Fonte: A autora (2022).

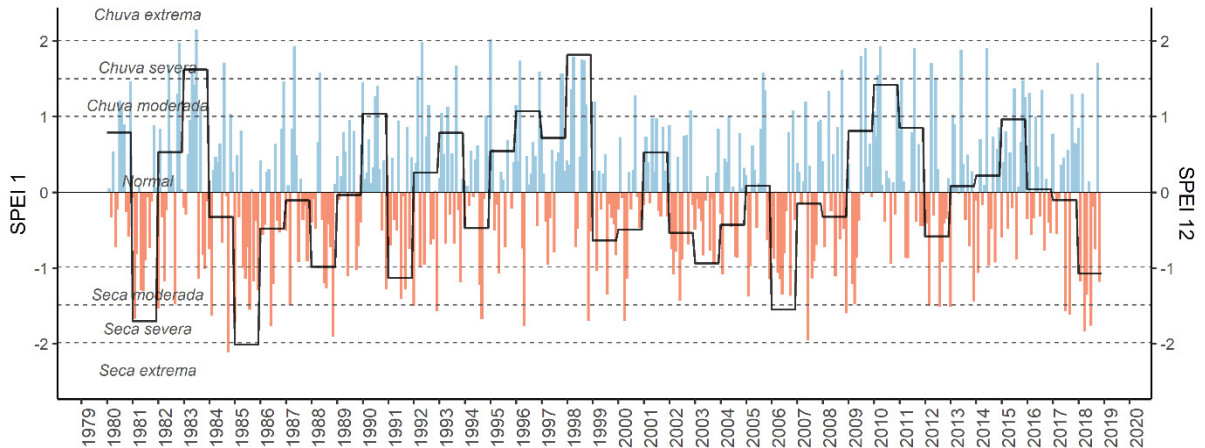
Durante o século 21 em Curitiba, os anos de 2006 e 2020 foram secos, de modo que nos últimos anos têm-se intensificado os impactos decorrentes da estiagem devido ao aumento do consumo de água. Os anos de 1981 e 1985 foram considerados os anos com uma das piores secas da capital e região metropolitana, que resultaram em crises hídricas e energéticas (FOGGIATO, 2020).

No APÊNDICE E está o quadro resumo dos resultados do SPI na defasagem de 1,3, 6 e 12 meses, considerando respectivamente o tamanho amostral de 552, 184, 91 e 45 meses das três sub-bacias.

e) SPEI

As FIGURAS 43 e 44 mostram os resultados do SPEI 1 e 12 das SBA e SBB, respectivamente. Os anos mais extremos nas sub-bacias foram 1983, 1985, 1998 e 2006. O ano de 1994 e o período de 2016 a 2015 na SBB tiveram maiores valores positivos do SPEI 1 e SPEI 12, indicando períodos mais úmidos.

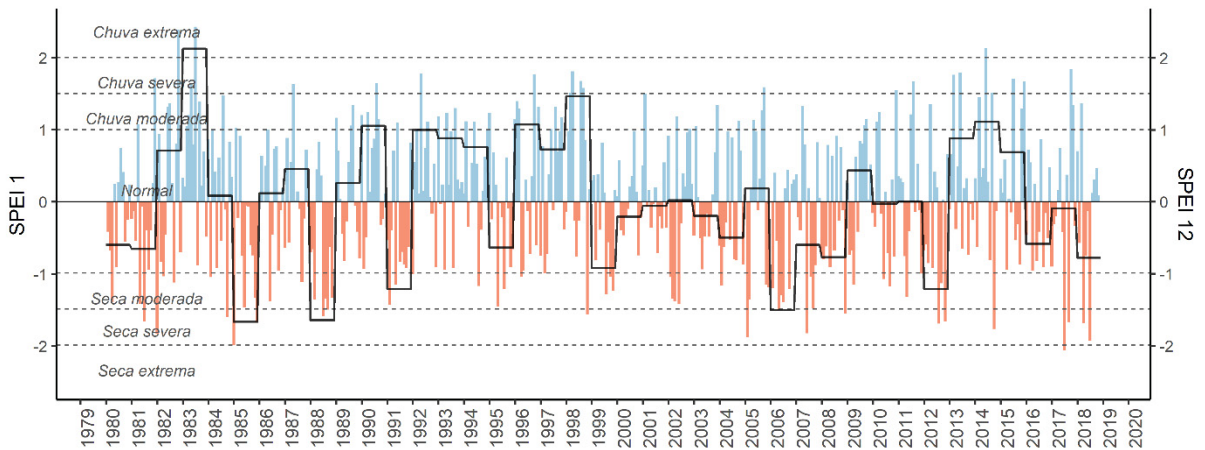
FIGURA 43 - SPEI 1 E SPEI 12 (DEZEMBRO) DA SBA



Fonte: A autora (2022).

A SBB, o ano de 2016 teve índices mais negativos que a SBA, porém ambos os anos foram classificados com pluviosidade normal. O resultado para a SBM é mostrado no APÊNDICE F.

FIGURA 44 - SPEI 1 E SPEI 12 (DEZEMBRO) DA SBB



Fonte: A autora (2022).

Optou-se por não discutir os resultados dos SPEI nas defasagens de 6 e 3 meses, pois os padrões de resultados do SPI e SPEI são similares, sendo possível ver na TABELA 8 que os resultados dos índices em todas as defasagens e sub-bacias apresentaram alta correlação, todas significativas ao nível de 5%.

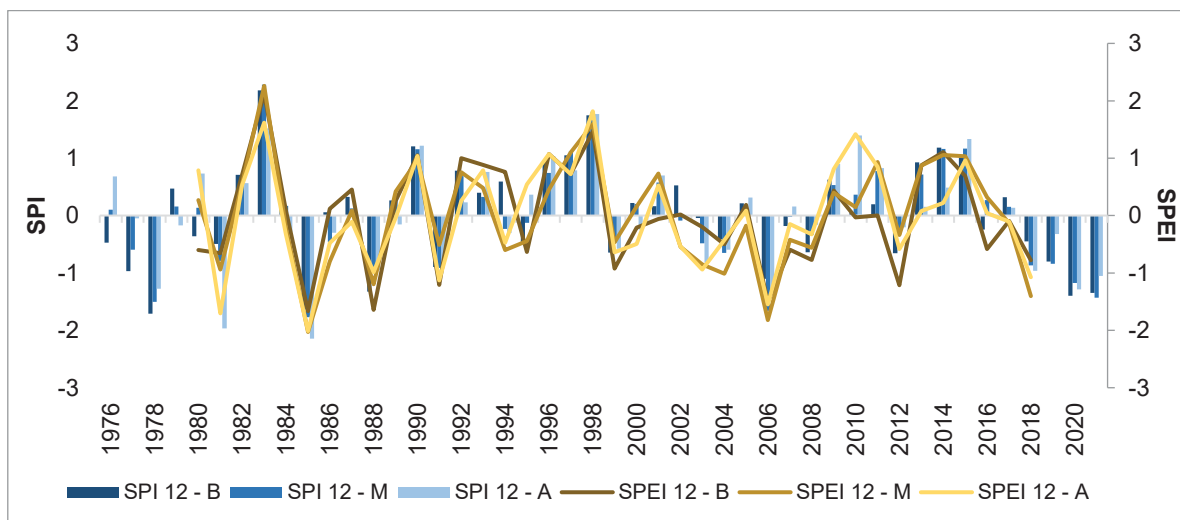
TABELA 8 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O SPI E SPEI NAS DEFASAGENS DE 1, 3, 6 E 12 MESES (1980- 2018).

SPI/SPEI	SBB	SBM	SBA
12	0,972	0,976	0,982
6	0,971	0,965	0,988
3	0,973	0,970	0,984
1	0,969	0,966	0,976

Fonte: A autora (2022).

Utilizando como amostragem o SPI/SPEI 12 da SBB é possível observar na FIGURA 45 que os índices possuem o mesmo comportamento durante a maioria dos anos.

FIGURA 45 - SPEI 12 E SPI 12 DA SBB



Fonte: A autora (2022).

Sendo assim, as análises e os resultados a seguir irão ser apresentadas utilizando apenas o SPI que além da similaridade com o SPEI, também uma série temporal maior.

4.3 CORRELAÇÕES DOS ÍNDICE DE SECA E DE TELECONEXÕES

Inicialmente determinou-se qual defasagem do SPI melhor se correlaciona com os índices de teleconexões, utilizando a correlação de Pearson (TABELA 9). As correlações mais significativas do ONI foram com o SPI 3 nas SBM e SBA e com o SPI 6 na SBB. No PSA 1 e AAO foram com o SPI 1 em todas as sub-bacias.

TABELA 9 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O SPI NAS DEFASAGENS DE 1, 3, 6 E 12 MESES E OS ÍNDICES ONI *, PSA 1 E AAO

SUB-BACIA Pearson	BAIXO			MÉDIO			ALTO		
	ONI	PSA1	AAO	ONI	PSA1	AAO	ONI	PSA1	AAO
SPI 1	0,175	0,0864	-0,1277	0,17	0,1185	-0,1173	0,163	0,1811	-0,0831
SPI 3	0,25	0,0594	-0,0782	0,219	0,0815	-0,0753	0,209	0,1070	-0,0283
SPI 6	0,26	0,0701	-0,0451	0,192	0,0709	-0,0142	0,174	0,0642	0,0098
SPI 12	0,158	0,0546	-0,0237	0,06	0,0487	0,0164	0,04	0,0392	0,0368

* A correlação do ONI foi durante o período de 1976 a 2021 e do PSA1 e AAO de 1979 a 2021.

Fonte: A autora (2022).

A TABELA 10 mostra a correlação dos índices em anos considerados como extremos da série, sendo eles 1981, 1983, 1985, 1998, 2006, 2015, 2020 e 2021. Observa-se que houve correlações maiores na maior parcela dos resultados em comparação a TABELA 09. O ONI e o PSA 1 melhor se correlacionou com os valores mensais do SPI 1 e o AAO com o SPI 6.

TABELA 10 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O SPI NAS DEFASAGENS DE 1, 3, 6 E 12 MESES EXTREMOS COM OS ÍNDICES ONI, PSA 1 E AAO

SUB-BACIA Pearson	BAIXO			MÉDIO			ALTO		
	ONI	PSA1	AAO	ONI	PSA1	AAO	ONI	PSA1	AAO
SPI 1	0,33	0,13	-0,015	0,33	0,09	-0,005	0,32	0,13	0,002
SPI 3	0,31	0,07	0,004	0,32	0,10	-0,014	0,31	0,13	0,091
SPI 6	0,28	0,11	-0,05	0,27	0,11	0,056	0,24	0,11	0,15
SPI 12	0,21	0,05	-0,047	0,19	0,05	0,022	0,22	0,01	0,0368

Fonte: A autora (2022).

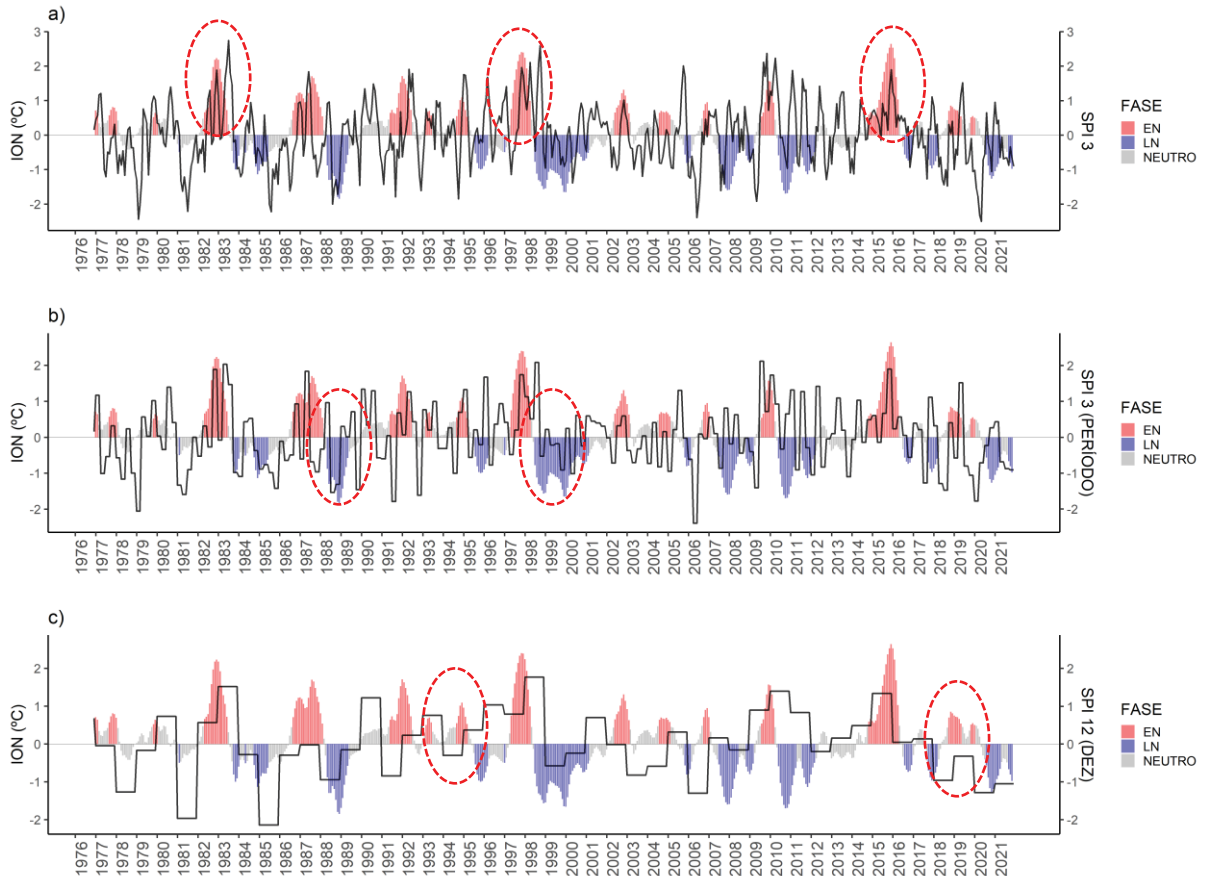
4.3.1 SPI E ONI

As FIGURAS 46 e 47 mostram os gráficos das séries temporais do ONI 3.4 e do SPI para as SBA e SBB, respectivamente. Os eventos mais fortes do ENOS ocorreram em dezembro e novembro (2,64; 2,53) de 2015 na fase EN e em dezembro e novembro (-1,84; -1,8) na fase LN. Outros períodos com ENOS também marcam a série na fase EN em 1982-83, 1986-87, 1997-98 e 2014-16, e na LN em 1988-89, 1998-2000, 2007-08, 2010-12 e 2021.

A FIGURA 46 mostra o gráfico do ONI 3.4 com o SPI na SBA, no qual utilizou-se a defasagem de 3 meses na plotagem da Figura 46A. É possível observar que nos períodos de 1984-85, 1999-20 e 2008 houve a presença da LN e do SPI negativo. O

EN ocorreu simultaneamente com SPI positivo nos períodos de 1982-83, 1997-98, 2014-16.

FIGURA 46 - PLOTAGEM TEMPORAL DO ONI 3.4 COM O SPI DA SBA NAS DEFASAGENS DE A) SPI 3 B) SPI 3 - PERÍODOS DAS ESTAÇÕES DO C) INTERANUAL (DEZEMBRO).

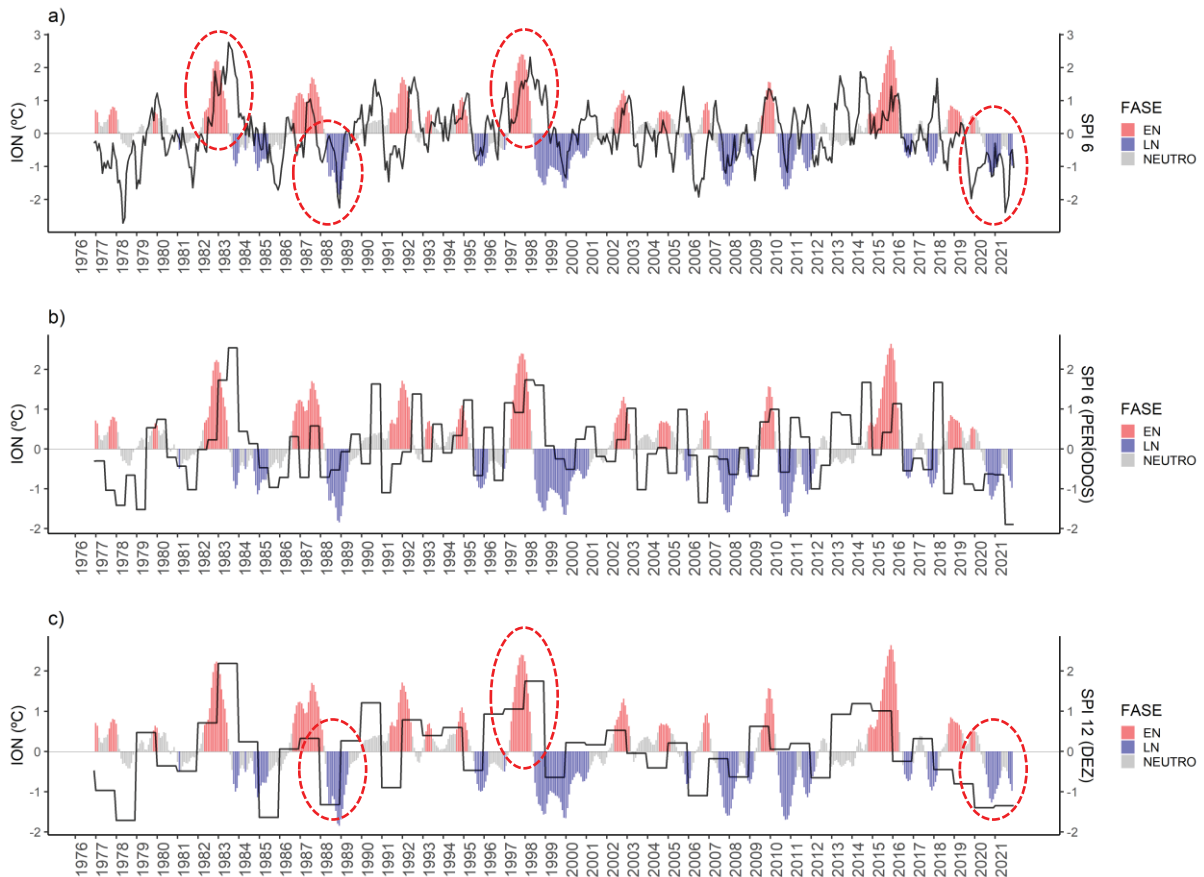


Fonte: A autora (2022).

Os padrões do ENOS e SPI se mantêm na Figura 46A e B, contudo na defasagem de 12 meses alguns padrões perdem a simultaneidade, como em 1995 e 2019. Da mesma forma, o ano de 1985 resultou em um SPI bem mais negativo do que a intensidade do evento LN, não representando, portanto, correlação evidente.

Na SBB (FIGURA 47), os anos em que se observou simultaneidade o SPI e eventos ENOS foram 1983, 2014 e 2021 durante a fase em, e 1988, 1998, 2014 e 2021 na fase LN. Os valores do SPI em escala anual parecem ter uma resposta maior ao ENOS, de modo que os eventos em 1988, 1983, 2002 e 2020-21 tiveram valores maiores. A fase EN pareceu influenciar no SPI positivo do período entre 2015-16, resultados esses que na defasagem anual não pode ser visualizada, pois o ano de 2016 foi classificado com SPI negativo.

FIGURA 47 - PLOTAGEM TEMPORAL DO ONI 3.4 COM O SPI DA SBB NAS DEFASAGENS DE A) 6 MESES B) PERÍODOS SECOS (SETEMBRO) E CHUVOSOS (MARÇO) DO SPI 6 E C) INTERANUAL (DEZEMBRO).



Fonte: A autora (2022).

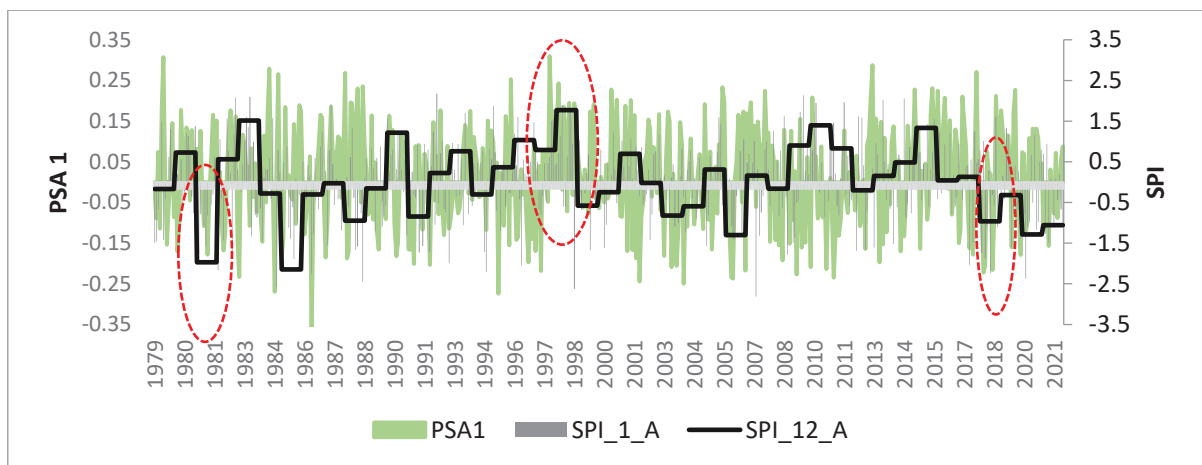
Em ambas sub-bacias os resultados do SPI entre os anos de 1976 a 1978 não apresentaram relação com o ENOS, pois a fase do EN foi relativamente fraca, não possuindo relação com eventos de seca. Por outro lado, nos anos de 2010 a 2012 a LN possuiu provável relação e significância, de modo que tais anos ficaram na classificação de eventos normais. No APÊNDICE G estão os resultados gráficos da SBM.

Tais resultados mostram padrões e ciclos correlacionados dos eventos ENOS e do índice SPI, sendo possível inferir que a ocorrência dos eventos pode causar ocasionar períodos chuvosos extremos e alterar padrões de precipitação, portanto podem tais análises podem auxiliar na previsão de eventos pluviométricos.

4.3.2 SPI E PSA1

Nas FIGURAS 48 e 49 estão plotadas as séries do PSA 1 com SPI 1 e 12 da SBA e SBB, respectivamente. Em vermelho estão os períodos e anos em que o PSA 1 positivo (negativo) ocorreu juntamente com o SPI positivo (negativo). Nos períodos de 1982-84 e 1997-98 se observou a ocorrência de PSA1 e SPI positivos, assim como a presença do EN. Durante 1995-96 e 2017-18 houve PSA1 e SPI negativos.

FIGURA 48 - PLOTAGEM DO SPI 1 E 12 COM O PSA 1 NA SBA

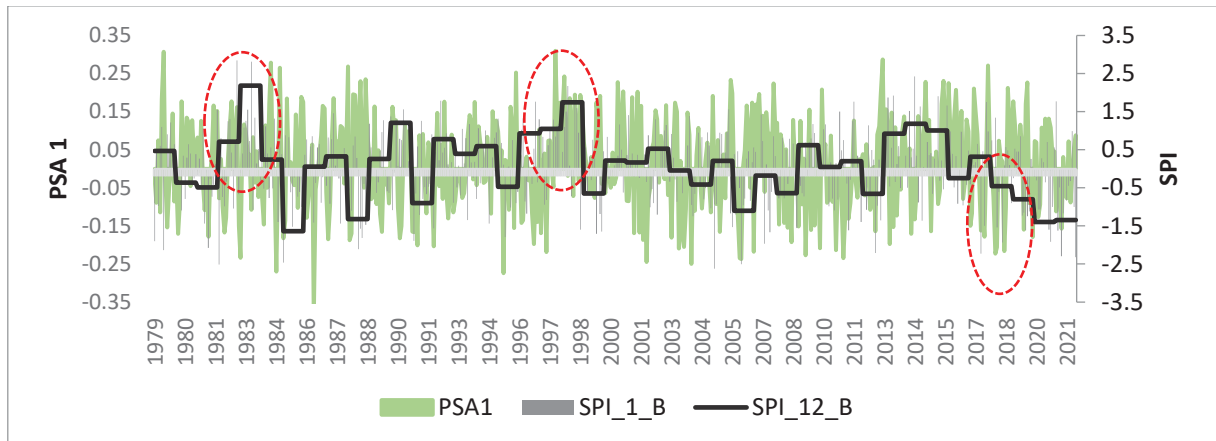


Fonte: A autora (2022).

É possível observar na FIGURA 49 que há uma concordância entre o PSA 1 positivo (negativo) com a ocorrência de eventos chuvosos mais (menos) significantes. Por exemplo, em 1982-84 e 1997-98 houve PSA 1 positivo, sendo que nesses anos também houve a presença de EN. Também, em 1995-96 e 2017-18 ocorreu PSA1 negativo juntamente com eventos de com SPI negativo.

Em outros períodos, como 1995-97 e 2008-10, observa-se que o PSA1 negativo não se correlacionou com o SPI, que foram classificados em sua maioria como eventos pluviométricos normais. Da mesma forma, entre 1980-81 houve PSA1 positivo com SPI classificando tais anos como de precipitações normais.

FIGURA 49 - PLOTAGEM DO SPI 1 E 12 COM O PSA 1 NA SBB



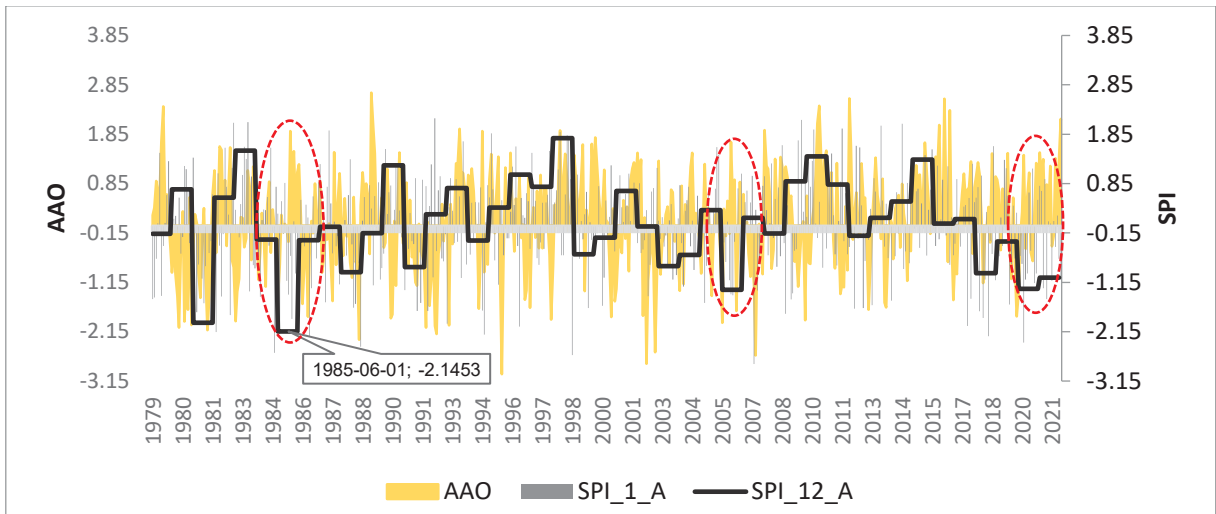
Fonte: A autora (2022).

Portanto, houve em alguns períodos simultaneidade entre os índices, sugerindo uma provável resposta à ocorrência de chuvas, pois conforme Silva e Silva (2020), a correlação alta entre o ONI e PSA1 pode ser justificada pelo fato de o PSA1 representar uma resposta ao ENOS. Portanto, se há ENOS, existe também a probabilidade de ocorrer o PSA1. No APÊNDICE H estão os resultados gráficos da SBM.

4.3.3 SPI E AAO

Nas FIGURAS 50 e 51 estão plotadas as séries do AAO com SPI 1 e 12 da SBA e SBB, respectivamente. Em vermelho estão os períodos e anos em que o AAO positivo (negativo) ocorreu juntamente com o SPI negativo (positivo). Lembra-se que esta é a relação descrita por Aquino (2012) e Reboita, Ambrizzi e Rocha (2009) para região sul do Brasil. A FIGURA 50 mostra que durante os anos 1985, 2006 e 2020-21 ocorreram AAO positivo (negativo) juntamente com o SPI negativo (positivo).

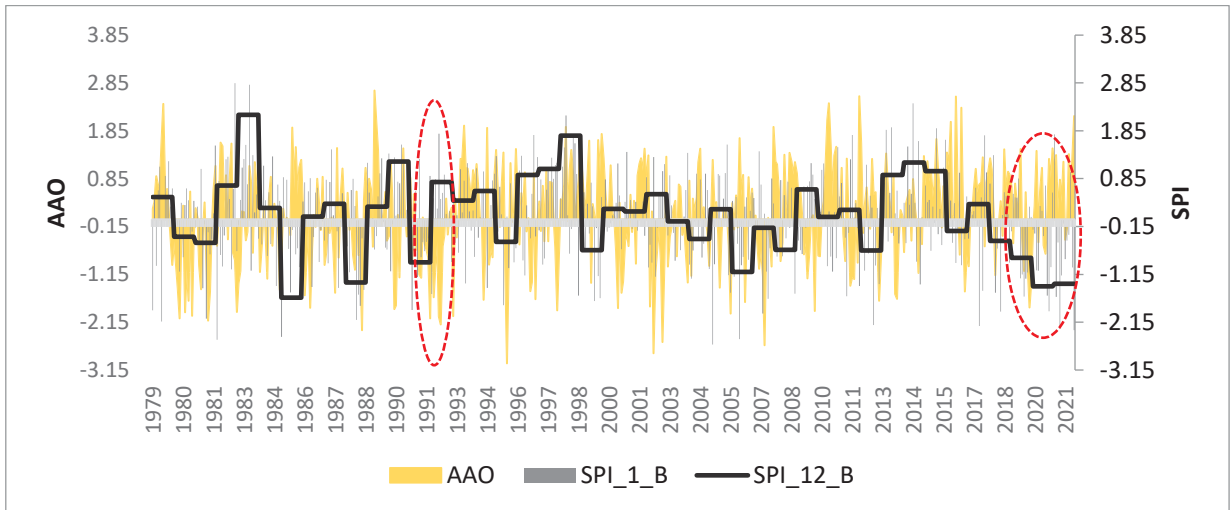
FIGURA 50 - PLOTAGEM DO SPI 1 E 12 COM O AAO NA SBA



Fonte: A autora (2022).

A FIGURA 51 mostra que há períodos em que durante o AAO negativo (positivo) houve a presença do SPI-1 e SPI 12 positivo (negativo), como em 1992 e 2019-21. Em outros períodos, como 1982-84, 1996-98 e 2013-15, ambos os índices foram positivos, o que não representaria uma correlação e causa e efeito.

FIGURA 51 - PLOTAGEM DO SPI 1 E SPI 12 COM O AAO NA SBB



Fonte: A autora (2022).

De acordo com Reboita, Ambrizzi e Rocha (2009) os índices AAO/SAM estão correlacionados com anomalias de chuva no sul da América do Sul, o que pode indicar uma relação com os eventos pluviométricos no sul do Brasil. No APÊNDICE I estão os resultados gráficos da SBM.

4.3.4 RESUMO DOS EVENTOS

Devido à estas interações, a análise conjunta dos resultados dos índices pode trazer respostas à variabilidade pluviométrica da área de estudo. Nesse sentido, a TABELA 11 traz os meses com secas e chuvas extremas obtidas com o SPI-1 durante 1976 a 2021, bem como os valores dos índices ONI, PSA1 e AAO durante o mês avaliado. Os valores dos índices em negrito são os significantes de acordo com seus limites; marcados em azul estão os eventos de LN e em vermelho de EN.

TABELA 11 - VALORES DOS ÍNDICES DOS EVENTOS DE EXTERMOS DE SECAS E CHUVAS DURANTE 1976 A 2021

SECAS EXTREMAS							CHUVAS EXTREMAS							
MÊS	ANO	BACIA	SPI 1	ONI	PSA 1	AAO	MÊS	ANO	BACIA	SPI 1	ONI	PSA 1	AAO	
JAN	1982	BAIXO	-2,52	-0,05	-0,08	-0,55	JAN	-	-	-	-	-	-	
		ALTO	-2,16				FEV	-	-	-	-	-	-	
	1985	BAIXO	-2,46				MAR	-	-	-	-	-	-	
		MÉDIO	-2,15	-1,04	-0,18		ABR	1998	BAIXO	2,17		0,99	-0,02	1,93
FEV	2005	MÉDIO	-2,15				MAI	1992	MÉDIO	2,12		1,06	0,06	-2,03
		ALTO	-2,20			ALTO			2,17					
	2021	MÉDIO	-2,22	-0,93	-0,04	1,34	JUN	2014	BAIXO	2,42				
MAR	-	-	-	-	MÉDIO	2,49			0,23	-0,13	0,84			
1978	BAIXO	-2,77	-0,18	*	*	ALTO			2,06					
ABR	2021	ALTO	-2,37	-0,66	-0,16	0,83	2013	ALTO	2,02	-0,34	-0,15	-0,27		
		BAIXO	-2,29				JUL	1983	BAIXO	2,81				
MAI	1996	ALTO	-2,05	-0,31	0,03	0,98			MÉDIO	3,00	0,31	-0,11	1,11	
		BAIXO	-2,51	-0,05	-0,24	1,70			ALTO	2,10				
JUN	1979	BAIXO	-2,13	0,05	0,31	1,70	2014	MÉDIO	2,49	0,07	-0,06	0,25		
		MÉDIO	-2,03				AGO	2011	MÉDIO	2,19	-0,65	0,13	-1,20	
	1986	MÉDIO	-2,02	-0,04	-0,39	-0,62	SET	2009	ALTO	2,14	0,65	-0,02	-0,02	
JUL	2007	ALTO	-2,81	-0,41	-0,06	-1,20	OUT	-	-	-	-	-	-	
		ALTO	-2,03	0,38	-0,04	0,55	NOV	1982	BAIXO	2,84				
	1988	BAIXO	-2,11	-1,30	0,12	0,58			MÉDIO	2,66		2,18	0,16	-0,85
		MÉDIO	-2,12				ALTO	2,08						
1981	BAIXO	-2,08	-0,30	-0,18	-0,99	DEZ	-	-	-	-	-	-		
	BAIXO	-2,23	0,16	-0,16	0,73	AGO	2012	BAIXO	-2,21	0,33	-0,16	0,49		
2017	MÉDIO	-2,43						MÉDIO	-2,34					
2018	ALTO	-2,24	0,11	0,02	0,38	SET	1994	ALTO	-2,21	0,55	-0,12	-0,95		
	MÉDIO	-2,04				OUT	1984	MÉDIO	-2,21	-0,56	0,02	-0,01		
NOV	1988	ALTO	-2,45	-1,80	0,24	0,40	NOV	1998	ALTO	-2,62	-1,48	0,19	0,82	
		MÉDIO	-2,06						DEZ	2021	BAIXO	-2,32	-0,99	0,09

Fonte: A autora (2022).

LEGENDA: (-) meses sem eventos extremos; (*) período sem dados

A simultaneidade entre os eventos de seca de LN e PSA 1 negativo ocorreu em janeiro/85 nas três sub-bacias e em abril/21 na SBA e SBM. Outras simultaneidades são também identificadas para LN e AAO positivo em fevereiro/21 e dezembro/21, e de AAO positivo e PSA 1 negativo em maio/06. Ainda, em fevereiro/05

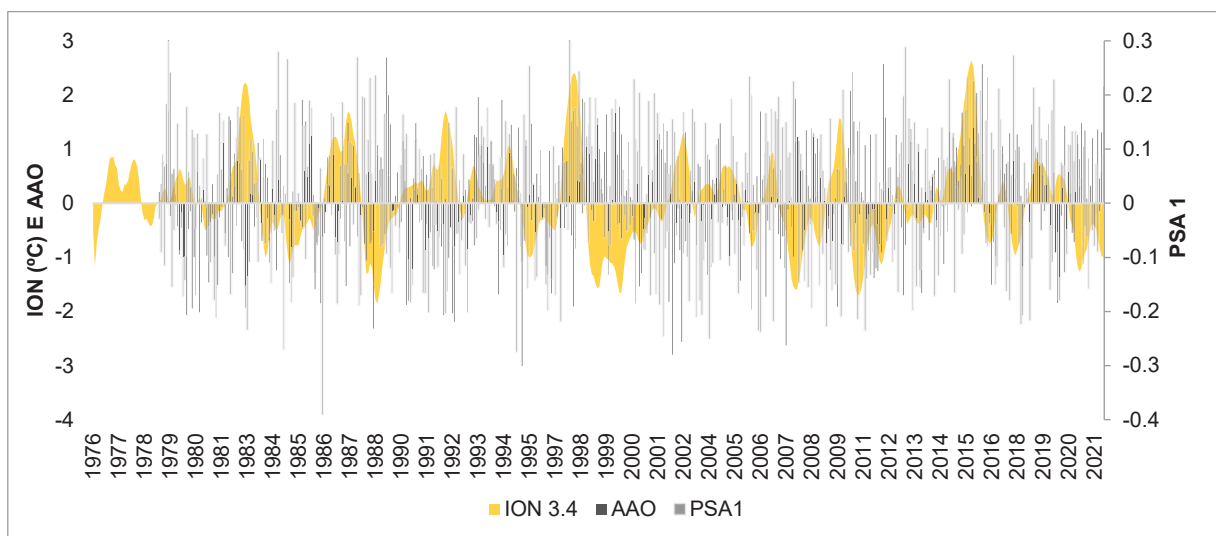
houve a presença de EN e AAO positivo, sugerindo uma correlação dos eventos com menores precipitações.

Os eventos de seca mais extrema, como em junho/07 e abril/1978 (SPI 1 marcados em negrito) não tiveram a presença significativa de nenhum evento climático, podendo estar relacionados a outras variações climáticas pontuais para o período.

Os valores do SPI 1 negativo dos meses de janeiro/82, julho/18 e setembro/94 não tiveram simultaneidade de forma significativa com nenhum índice climático. Em abril/78, uma das secas mais extremas, não houve presença significativa de LN. Os outros índices deste mesmo mês não foram determinados por falta de dados disponíveis. No mês de março não houve eventos de seca extrema.

Quanto aos eventos de chuva extrema, o SPI 1 mais negativo foi em julho/1983 na SBM com a presença do AAO positivo, o que não indica uma relação com a precipitação. Durante o mês de junho/2014, houve simultânea presença do PSA 1 negativo e AAO positivo, que também não representam influência dos eventos na chuva. Em abril/1998 e maio/1992 houve presença da LN e AAO negativo e em novembro/1982 ocorreu eventos de LN e do PSA 1 positivo. Não houve simultaneidade dos três índices de teleconexões em nenhum dos meses. A FIGURA 52 mostra a séries de todos os índices.

FIGURA 52 - PLOTAGEM DO ONI 3.4, AAO E PSA1



Fonte: A autora (2022).

A TABELA 12 mostra a correlação mensal entre o SPI-1 e o ONI, PSA1 e AAO, com as correlações significantes em negrito. O mês de maio foi o que se correlacionou de forma mais significativa com os índices climáticos nas três sub-bacias, com exceção do AAO na SBA que não obteve correlações significantes em nenhum mês. As maiores correlações do ONI ocorreram em novembro na três sub-bacias e do PSA 1 em abril na SBM e na SBA.

TABELA 12 - CORRELAÇÃO MENSAL DO SPI-1 DURANTE 1979 A 2021.

MÊS	BAIXO			MÉDIO			ALTO		
	ONI	PSA 1	AAO	ONI	PSA 1	AAO	ONI	PSA 1	AAO
JAN	-0,148	0,226	0,171	-0,031	0,218	0,202	-0,063	0,157	0,147
FEV	0,069	0,089	0,116	0,101	0,084	0,050	-0,076	0,043	-0,273
MAR	0,210	0,172	0,063	0,125	0,087	0,017	0,063	0,032	-0,057
ABR	0,142	0,280	0,018	0,140	0,398	-0,002	0,165	0,479	0,040
MAI	0,516	0,381	-0,407	0,496	0,374	-0,369	0,435	0,322	-0,295
JUN	0,149	-0,167	-0,249	0,120	-0,125	-0,148	0,179	0,004	0,057
JUL	0,327	0,090	0,043	0,200	0,097	0,034	0,076	0,208	-0,100
AGO	0,092	-0,094	-0,152	0,094	-0,079	-0,200	-0,009	-0,007	-0,221
SET	0,137	0,088	-0,196	0,077	0,185	-0,245	-0,017	0,310	-0,243
OUT	0,121	-0,105	-0,117	0,191	0,107	-0,028	0,243	0,203	0,019
NOV	0,638	0,022	-0,229	0,621	0,054	-0,256	0,595	0,149	-0,294
DEZ	0,156	0,086	-0,197	0,097	0,102	-0,147	0,196	0,161	-0,049

Fonte: A autora (2022).

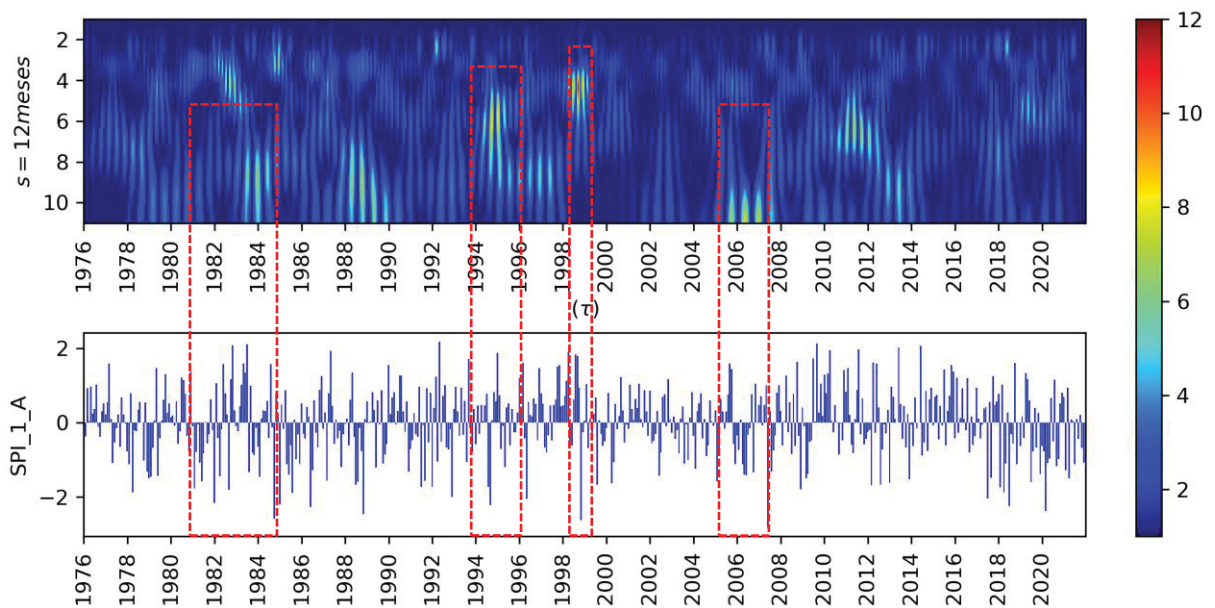
LEGENDA: Marcados em cinza os índices com maiores resultados durante o período. Em negrito os valores de correlação significantes a 95% de acordo com o teste t-Student e acima do valor crítico (0.301)

4.4 ANÁLISE DOS SINAIS POR TRANSFORMADA WAVELET

A fim de compreender o comportamento dos sinais do SPI das sub-bacias, foi aplicada a Transformada Wavelet com as séries do SPI 1 e SPI 12 da SBA e SBB. Os resultados gráficos da SBM estão nos APÊNDICES J e K.

A FIGURA 53 mostra o resultado da do SPI 1 na SBA com a escala de 12 meses. Os resultados evidenciam que energias maiores (escalas de 8 a 12) ocorrem a depender da variação e/ou persistência dos sinais do SPI 1 durante a série. Observam-se períodos com maior energia (destacado em vermelho) entre os anos de 1994-98 e 1998, nas escalas entres 4 a 6 meses em momentos que ocorrem variações abruptas nos sinais dos índices do positivo para o negativo.

FIGURA 53 - TRANSFORMADA WAVELET DO SPI 1 NA SBA A) TRANSFORMADA B) SPI -1



Fonte: A autora (2022).

O período entre 1988-89 teve energias maiores nas escalas de 10 meses, quando houve um declínio contínuo com SPI negativos. Observa-se que os momentos em que os índices não variam de forma tão abrupta as energias são menores.

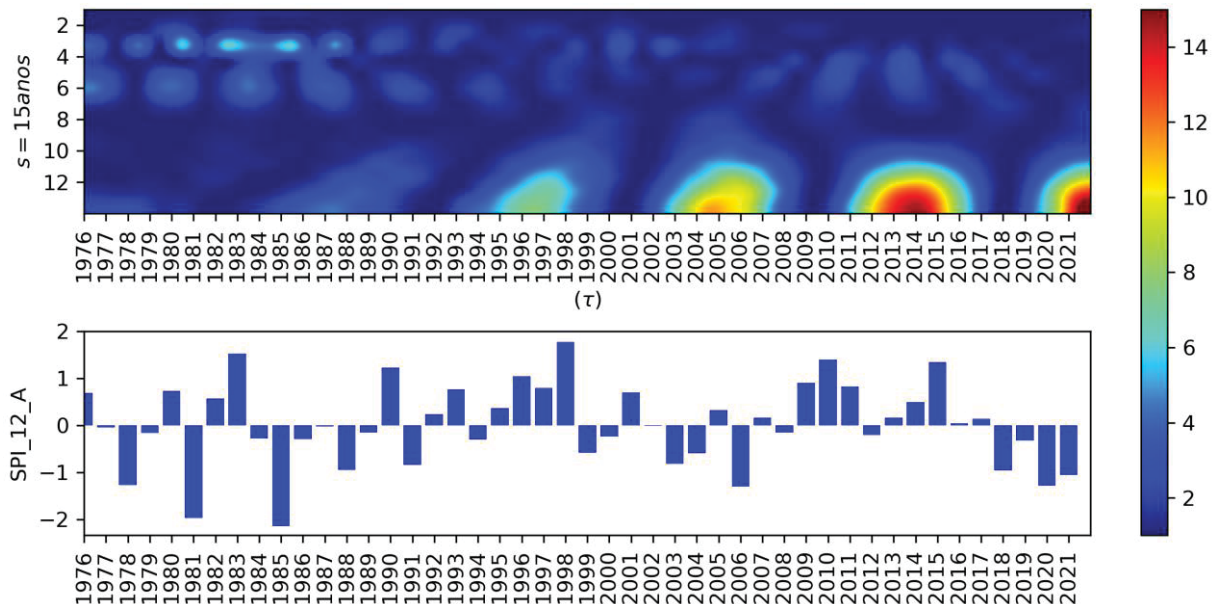
Entre os anos de 1984-86, período com eventos classificados como de extrema seca, nota-se baixa energia, indicando que os períodos de seca (SPI negativo) não foram tão altos a ponto de gerar uma alta energia durante a transição. Por outro lado, o período entre os anos de 1982-83, considerado um dos períodos mais chuvosos das sub-bacias, não mostrou energias altas, as quais ocorreram pouco depois na transição de 1983 para 1984.

Em escalas maiores a *wavelet* aumenta o tamanho da janela de análise, permitindo observar os sinais considerando eventos de mais longa duração. Sendo assim, a FIGURA 54 mostra a transformada *wavelet* dos resultados do SPI 12 da SBA em escala de 15 anos. As maiores energias foram no período de 2004-07, no qual o ano de 2006 (seca moderada) ocorreu entre anos com precipitações classificadas como normal. Sendo assim, sua ocorrência gerou altas energias na série por representar um evento abrupto.

O período de 2012-15 teve uma alta energia durante o crescimento da série de SPI a partir de 2011. Novo momento de alta energia foi observado entre 2020-21, para o qual observou-se uma queda contínua da série de SPI.

Os anos de 1981, 1985 e 1983, que também apresentaram valores altos dos índices, não tiveram alta energia na escala de 15 anos, muito provavelmente devido ao tempo de persistência dos sinais que foram baixos de baixa frequência.

FIGURA 54 - TRANSFORMADA *WAVELET* DO SPI 12 NA SBA A) TRANSFORMADA B) SPI -12

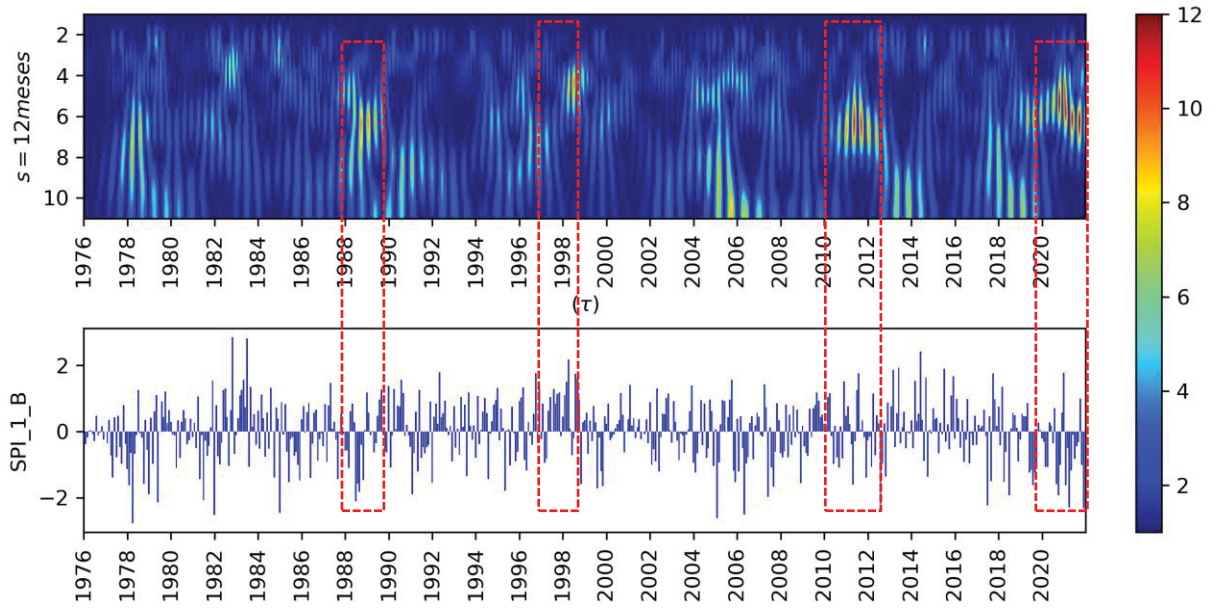


Fonte: A autora (2022).

A FIGURA 55 mostra os resultados da transformada *wavelet* com o SPI 1 da SBB. Nota-se maior quantidade de eventos de alta energia na série em comparação com os resultados da SBA. Durante o período de 2018 a 2021 foram identificados eventos de alta de energia, pois os valores do SPI negativo foram mais intensos e houve menos meses com SPI positivo.

O período entre 2011 e 2012, também produziu energias mais altas na escala de 8 a 6 meses, para a qual houve maior persistência de SPI negativo com valores mais baixos. Isso se refletiu na defasagem do SPI 12, para a qual o ano de 2012, apesar de classificado com pluviometria normal, teve seu valor mais próximo à classificação de seca moderada.

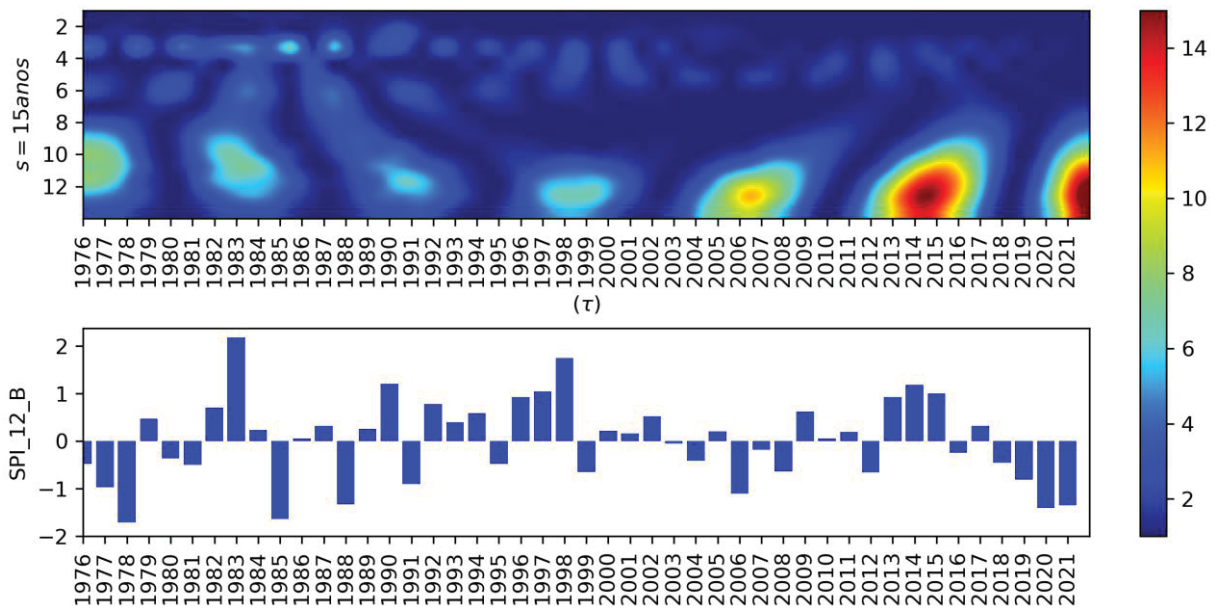
FIGURA 55 - TRANSFORMADA WAVELET DO SPI 1 NA SBB A) TRANSFORMADA B) SPI -1



Fonte: A autora (2022).

A FIGURA 56 traz o resultado da transformada do SPI 12 na SBB para a escala de 15 anos. Os valores dos sinais do SPI tiveram mais energia, principalmente entre os anos de 1976 a 2000, período no qual a SBA não exibiu eventos de energia alta.

FIGURA 56 - TRANSFORMADA WAVELET DO SPI 12 NA SBB A) TRANSFORMADA B) SPI -12



Fonte: A autora (2022).

Pode-se observar que houve períodos com energia mais relevante a partir do início da sequência de três anos seguidos de SPI negativo e depois nas mudanças dos sinais entre 1983 e 1985. Os períodos de 2013-16 e 2020-21 tiveram mais energias em baixa escala e valores dos índices maiores e mais constantes que a SBA.

Sendo assim, períodos de maiores escalas e energia ocorreram com mais recorrência a partir de 2000 em ambas as sub-bacias, mostrando que os eventos pluviométricos foram mais intensos e duradouros. Além disso, a periodicidade dos sinais negativos e positivos mostraram persistir por 3 a 4 anos, sendo possível ver nos resultados do SPI 12.

5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa analisou os padrões de precipitação de curto e longo prazos, a ocorrência de eventos extremos e a influência de eventos climáticos sob as anomalias de precipitação utilizando índices de seca e transformada *wavelet* aplicados às sub-bacias do rio Iguaçu, no Paraná. Em termos gerais, a SBA tem menores volumes de precipitações registrados e a SBB as maiores. A análise descritiva das precipitações mostrou que as características físicas e climáticas colaboram com os padrões de precipitações sejam diferentes a depender da região da bacia do rio Iguaçu.

De modo geral, houve maior frequência de eventos chuvosos ($SPI > 1$) do que secos ($SPI < 1$) em todas as sub-bacias. Com o SPI 3 foi identificado que eventos de seca extrema ocorreram em maior frequência na SBB e de chuva extrema na SBA. A depender da defasagem de análise a SBM foi considerada mais seca que a SBB.

Dentre os anos, períodos e meses que se destacam com eventos extremos, tem-se 1983 e 2020 em que houve em União de Vitória os eventos de chuvas que deixaram a cidade submersa e em 2020 a sequência de meses com precipitação abaixo da média causou na região da SBA, principalmente em Curitiba impactos diretos sob os níveis dos reservatórios prejudicando a distribuição de água.

Os impactos que envolvem os períodos de estiagem no estado do Paraná, impacta diretamente na agricultura e no setor elétrico do país. Eventos chuvosos deixaram milhares de pessoas desabrigadas, desalojadas e causaram percas de bens e prejuízos econômicos na sociedade e até óbitos.

As correlações do SPI com os índices climáticos foram de modo geral baixas, com resultados maiores quando analisado somente períodos extremos. Foi identificado padrões de causa e efeito, principalmente com os eventos ENOS. O AAO foi o evento climático que menos se correlacionou com mudanças dos padrões de chuva ou com a ocorrência de eventos extremos nas sub-bacias.

Por fim, a análise dos sinais por *wavelet* se mostrou como uma ferramenta para melhor caracterizar os períodos e a forma com que os índices podem representar padrões de chuva local. Evidenciou os eventos com durações mais persistentes, além de eventos que mudaram os sinais ou que tiveram um crescimento rápido. Para as escalas analisadas, percebeu-se que os eventos a partir dos anos 2000 foram mais persistentes e ocorreram de forma mais recorrente.

Na SBB ocorreram eventos de seca e de chuva mais intensos e duradouros do que em relação à SBA, podendo ser uma resposta do clima local que possui maiores temperaturas e precipitações, ou por questões de relevo que favorecem a menor formação de chuvas durante os períodos mais secos.

Na SBA a densidade populacional é a maior do estado, devido a presença da capital e região metropolitana. Isto faz com que exista uma maior demanda de água e energia o que pode favorecer a ocorrência de impactos sociais e econômicos de maiores magnitudes durante os períodos de estiagem. Enquanto na SBB e SBA eventos extremos causam danos diretos na agricultura, meio ambiente e sociedade, onde cidades mais próximas ao curso do rio Iguaçu podem sofrer enchentes e alagamentos durante eventos de chuvas e terem suas atividades de subsistência que envolvem a pesca afetadas durante períodos de estiagem.

Para trabalhos futuros, recomenda-se utilizar o SPEI com dados espaciais de temperatura a fim de se ter dados de maior período e correlacionar os índices de seca a outros índices climáticos disponíveis, como o índice do Dipolo do Atlântico Sul (SAD) e a da Oscilação Madden-Julian (OMJ) que também possui influência sobre a precipitação da América do sul (GRIMM, 2019; WAINER *et al.* 2014). Além disso, propõe-se utilizar dados de precipitação e temperatura coletados a partir de satélites a fim de garantir maior espacialização e regionalização dos dados climatológicos.

REFERÊNCIAS

ABRAMOWITZ, M.; I.A STEGUN. Handbook of Mathematical Functions. Dover Publications, New York, 1965.

Agricultores reclamam da seca no Paraná. Gazeta do povo [online], Paraná, 11 jul. 2007. <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/agricultores-reclamam-da-seca-no-parana-ajqj9foph90icbfz7285g2d72/> >. Acesso em: 12 dez. 2022.

ALHO, C. J. R., *et al.* Threats to the biodiversity of the Brazilian Pantanal due to land use and occupation. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/18094422asoc201701891vu2019L3AO>>.

AMORIM, M. M. A. *et al.* Representação sociais do Rio Doce e suas enchentes em Governador Valadares/Brasil. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 49, p. 17-35, 2018.

ANA. Agência Nacional das Águas. Monitor de Secas. Disponível em: <<https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=11&ano=2021>>

AQUINO, F. E. Conexão climática entre o modo anual do hemisfério Sul com a península antártica e o sul do Brasil. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre 2012.

ARAÚJO, A.G.J. *et al.* Relationships between variability in precipitation, river levels, and beef cattle production in the Brazilian Pantanal. **Wetlands Ecology and Management**, v. 26, p. 829-848, 2018.

ÁVILA, A.; JUSTINO, F.; WILSON, A. *et al.* Recent precipitation trends, flash floods and landslides in Southern Brazil. **Environ. Res. Lett**, v. 11, 2016.

AZEVEDO, L. C.; ANDRADE, A. R.; NERY, J. T. Distribuição da Frequência da Precipitação Pluvial na Bacia do Rio Iguaçu. Diversidades Climáticas, Aracaju: Editora da UFS, 2004 v. 01, p. 1-9.

BABRE, A. *et al.* The use of predefined drought indices for the assessment of groundwater drought episodes in the Baltic States over the period 1989-2018. *Journal of hydrology*, v. 40, 2022.

BARBOSA, A. C. B.; BLITZKOW, D. Ondaletas: Históricos e Aplicações. (Apostila) Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo - IAG/USP, 2008.

BATISTA JR, W. Identificação e avaliação dos fatores de ocorrência de secas na bacia do rio Guandu - Espírito Santo. 2012. 127 f. Tese (Doutorado em Scientiae) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 2012.

BAUMGARTNER, G. *et al.* Peixes do baixo rio Iguaçu [online]. Maringá: Eduem, 2012. Introdução. pp. 1-14.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: **Ciência e Aplicação**. Cap. 5, p. 177-243, ed. 3, 2002.

BEVACQUA *et al.* Spatial and temporal patterns of propagation from meteorological to hydrological droughts in Brazil. **Journal of hydrology**, v. 603, 2021.

BIANCHI, M. F. Extração de características de imagens de faces humanas através de Wavelets, PCA e IMPCA. Dissertação (Mestrado) apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos - SP: Universidade de São Paulo, 2006.

BLAINSKI, E.; GARBOSSA, L.H.P.; ANTUNES, E.N. Estações Hidrometeorológicas Automáticas: Recomendações Técnicas para Instalação Florianópolis: Epagri, 2012.

BOIN, M. N.; ZAVATTINI, J. A. Variações do ritmo pluvial no oeste Paulista: Gênese e impactos erosivos. **Geografia**, v. 30, n. 1, 2005.

BOLSON, S. H.; HAONAT, A. I. A governança da água, vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil. **Veredas do Direito - Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 25, 2016.

BOLZAN, M. J. A. Transformada em ondoleta: Uma necessidade. **Revista bras. De Ensino de física**, v. 28, n. 4, 2006.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

BRUWIER, M.; MARAVAT, C.; MUSTAFA, A. *et al.* Influence of urban forms on surface flow in urban pluvial flooding. **Journal of Hydrology**, 582, p. 1-36, 2020.

CABRAL, J. B.; LUCENA, R. L. Análises das precipitações pelos testes não paramétricos de mann-kendall e kruskal-wallis. **Mercator**, Fortaleza, [online], v. 19, 2020.

CALOEIRO, T.; SIRANGELO, B.; COSCARELLI, R.; FERRARI E. An Analysis of the Occurrence Probabilities of Wet and Dry Periods through a Stochastic Monthly Rainfall Model. **Water** 8: 1-21, 2016.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 28, n. 82, p. 65-88, 2014. Disponível em: <<http://ref.scielo.org/v4dvt2>>.

CATALDI, M. *et al.* Estudo da influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul extratropical na Região da confluência Brasil Malvinas no Regime hidrometeorológico de verão do Sul e Sudeste do Brasil. **Rev. Bras. Meteorologia**, v. 24, n. 4, 2010.

CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F (org). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.318-335.

CAVALCANTI, I. F. A.; OLIVEIRA, G. S. Teleconexões. In: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). 2021. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/esteleg.html>>. Acesso em: 16 de dez. 2021.

CÉSAR, T. M. T. M. Use of the wavelet transform for dynamic analysis of a grid connected photovoltaic system and its interaction with the electric grid. Goiânia, 2018. 95p. MSc. Mestrado (Dissertação)Dissertation. Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, Universidade Federal de Goiás.

CHAGAS, V. B. P. *et al.* CAMELS-BR: hydrometeorological time series and landscape attributes for 897 catchments in Brazil, **Earth Syst. Sci. Data**, 12, 2020.

CHEN, Y.; GUAN, Y.; SHAO, G. *et al.* Investigating Trends in Streamflow and Precipitation in Huangfuchuan Basin with Wavelet Analysis and the Mann-Kendall Test. **Water**, v. 8, 2016.

CHOUDHURY, A. *et al.* Regional variation of drought parameters and long-term trends over India using standardized precipitation evapotranspiration index. **Jornaul of Environmental Management**, v. 296, 2021.

Chuvas deixam mais de 9.500 desabrigados no Paraná. RPC-G1 [online]. Paraná, 14 dez. 2010. Globo Notícias Disponível em: <<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/12/chuva-deixa-mais-de-13-mil-fora-de-casa-no-parana.html>>. Acesso em: 12 nov. 2022.

CIRINO, P. H. *et al.* Assessing the Impacts of ENSO-related weather effects on the Brazilian Agriculture. **Procedia Economics and Finance**, v. 24. 2015.

COELHO, C. A.S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 125, p. 769-784, 2016.

CORREA, M. G. C.; GALVANI, E. Variabilidade Espacial e Sazonal da Precipitação Pluviométrica. **Rev. Dep. de Geografia**, v. 34, 2017.

CORREA, M. G. G. Dinâmica Hidroclimática e o fenômeno ENOS na bacia hidrográfica do Rio Piquiri-PR. 2017. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências) - (Doutorado em Ciências) - Departamento de Geografia - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.

COSTA, J. A. O fenômeno El Niño e as secas no nordeste do Brasil. **Revista Científica do IFAL**, v. 1, n. 4, 2012.

COSTA, R. Seca do século coloca bacia do rio Paraná em alerta. Folha de Londrina [online]. Reportagem. Londrina, 21 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.folhadelondrina.com.br/reportagem/seca-do-seculo-coloca-bacia-do-rio-parana-em-alerta-3087451e.html>>.

CUNHA, A. P. M. *et al.* Brazilian experience on the development of drought monitoring and impact assessment systems. **Contributing Paper to GAR 2019**. 30 p. 2019.

Dados recentes mostram a gravidade da seca no rio Iguaçu. Superintendência de Comunicação Social – UFPR [online], Paraná, 20 jun. 2006. Disponível em: <<https://www.ufpr.br/portalufpr/noticias/dados-recentes-mostram-a-gravidade-da-seca-no-rio-iguacu/>>

DAUBECHIES, I. Ten Lectures on Wavelets. **Society for Industrialfor industrial and Applied Mathematics**, 1992.

DETZEL, D. H. M.; FERNANDES, C. V. S.; MINE, M. R. M. Não Estacionariedade na Construção de Curvas de Permanência com Vistas à Outorga de Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, 2016.

DIAS, M. A. F. S. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, n. 103, p. 33-40, 2014.

DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. F. A. J. Para entender o tempo e clima. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F (org). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.16-22.

DIONÍSIO, B. Chuva deixa 77 municípios do Paraná em estado de emergência. RPC-G1 [online], Paraná, 09 jun. 2014. Globo Notícias. Disponível em:<<http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2014/06/chuva-deixa-77-municipios-do-parana-em-estado-de-emergencia.html>>. Acesso em: 12 nov. 2022.

DOMINGUES, M. O. *et al.* Explorando a transformada *wavelet* contínua. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, 2016.

DORNELES, Viviane Rodrigues. Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados Pluviográficos e Pluviométricos. 2017. 61f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

ENFIELD, D. B. **The "El Niño" FAQ**: Frequently Asked Questions About El Niño-Southern Oscillation (ENSO). NOAA, 2003. Disponível em: <http://www.aoml.noaa.gov/general/enso_faq/>

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, 2005.

FERREIRA, X. C. Inundações urbanas: Propostas para uma gestão do risco com foco na prevenção de Danos. Dissertação (Máster Universitario en Derecho Ambiental y de la Sostenibilidad). da Universidade de Alicante - UA (Espanha) e ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciência Jurídica da Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. 2017.

FILIPPIN, N. Curitiba e região batem recorde na construção de poços artesianos em 2020, diz Crea; aumento foi de 196% na comparação com 2019. G1, Curitiba, 09 de jun. de 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2021/06/09/curitiba-e-regiao-batem-recorde->

na-construcao-de-pocos-artesianos-em-2020-diz-crea-aumento-foi-de-196percent-na-comparacao-com-2019.ghml>

FOGIATTO, F. Crise hídrica I: afinal, estamos enfrentando a pior seca da história?. Blog [online]. Prefeitura de Curitiba, 2020.

FRANCO, B. C. *et al.* Climate change impacts on the atmospheric circulation, ocean, and fisheries in the southwest South Atlantic Ocean: a review. **Climatic change**, v. 162, 2020.

GILLETT, N. P.; KELL, T.D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. **Geophysical Research Letters**, v. 33, 2006.

GONÇALVES, M. F.; BLANCO, C. J. C. Estimativa de precipitação anual no Norte do Brasil considerando os efeitos dos eventos ENOS: El Niño e La Niña. **Revista AIDIS**, v. 13, n. 1, p. 172-187, 2020.

GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. A. Eventos pluviiais extremos em Curitiba (Paraná): Entre antigos problemas e novos desafios. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia física aplicada, Campinas (SP), v. 1, 2017.

GOULART, M. A. *et al.* SANCHES, L.; VILANI, M. T.; PINTO JR, O. B. Análise da evapotranspiração por wavelet de Morlet em área de Vochysia divergens Pohl no Pantanal, R. Bras. **Eng. Agríc. Ambiental**, v.19, n.2, 2015.

GOVERNO DO BRASIL. **CEMEDEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**. Site oficial do governo Brasileiro. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/cemaden>>

GRIMM, A. M. Clima da Região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F (org). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 135-147.

GRIMM, A. M. *et al.* The combined effect of climate oscillations in producing extremes: the 2020 drought in southern Brazil. **RBRH** [online], v. 25, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020200116>>. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020200116>.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences. **J. Climate**, 16, 263-280, 2003.

GRIMM, A. M.; ALMEIDA, A. S.; BENETI, C. A. A. *et al.* The combined effect of climate oscillations in producing extremes: the 2020 drought in southern Brazil. **Brazilian Journal of water resources**, v. 25, e. 48, 2020.

GRIMM, A. M.; NATORI, A. A. Climate change and interannual variability of precipitation in South America. **Geophysical Research Letters**, v, 33, 2006.

GRIMM, A.M. Madden-Julian Oscillation impacts on South America summer monsoon season: precipitation anomalies, extreme events, and teleconnections". **Climate Dynamics**, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04622-6>

GROSSMANN, A.; MORLET, J. Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. Grossmann and J. Morlet, **SIAM J. SIAM Journal on Mathematical Analysis** Math. Anal. V. 15, 723 (1984).

HILL, K. J.; TASCHETTO, A. S.; ENGLAND, M. H. South American rainfall impacts associated with inter-El Niño variation. **Geophysical research letters**, v. 36, 2009.

HOSKING, J. R. M. L-Moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. **J. Roy. Stat. Soc.**, v. 52B, 1p. 05–124, 1990

HU, T.; SUN Y. Interpretation of IPCC AR6 on human influence on the climate system[J]. **Climate Change Research**, 17(6) 644-651. 2021.

INOCÊNCIO, T. M. *et al.* Linking drought propagation with episodes of climate-Induced water insecurity in Pernambuco state - Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 193, 2021.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA (IAT). Bacia do Rio Iguaçú. 2020. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/iguacu.pdf>

INSTITUTO ÁGUA E TERRA (IAT). Mapas e Dados Espaciais. 2021. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>>

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Condições atuais do ENOS: La Niña. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

IPCC. Climate Change 2021: Summary of Policymakers. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf>.

ITCG. Instituto de Terras, Cartográfica e Geologia do Paraná. Disponível em: <http://www.geoitcg.pr.gov.br/geoitcg/pages/templates/initial_public.jsf;jsessionid=aivSKlBEAx5oi0Ep3GGxTwnLg1zBYLz7uIGjUkMp.scelepar75028?windowId=02d>

JOSHI, D. *et al.* Joshi, D. Gupta, S. Suryavanshi, J. Adamowski, C.A. Madramootoo. Analysis of trends and dominant periodicities in drought variables in India: a wavelet transform based approach. **Atmos. Res.**, v. 182 (2016), pp. 200-220, 2016.

KABOTH-BAHR. *et al.* Paleo-ENSO influence on African environments and early modern humans. **PNAS**, v. 118 (23), 2021.

KIM, D-W.; BYUN, H-R.; CHOI, K-S. Evaluation, modification, and application of the Effective Drought Index to 200-Year drought climatology of Seoul, Korea. **JornauJournal of Hydrology**, v. 378, p. 1-12, 2009.

LABAT, C. *et al.* Wavelet analysis of Amazon hydrological regime variability. **Geophysical Research Letters**, v. 31, 2004.

LACERDA, F. F *et al.* Extremos e variabilidade climática no Nordeste brasileiro e em Pernambuco. In: GALVÍNCIO, J. D. **Mudanças climáticas e impactos ambientais**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2010.

LAM, H. C. Y.; HAINES, A.; MCGREGOR, G.; CHAN, E. Y. Y.; HAJAT, S. Timeseries study of associations between rates of people affected by disasters and the El Niño southern oscillation (ENSO) cycle. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 17, p. 3146, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1660-4601/16/17/3146>>.

LEE, G. R. *et al.* PyWavelets: A Python package for wavelet analysis. **Journal of OpenSource Software**, v. 4(36), 2019.

LEITHOLD, J. Variabilidade espacial e temporal da matéria orgânica no ecossistema aquático nas bacias hidrográficas do alto e médio Iguaçu. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná - PR, 2017.

LEONEL, J. El Niño. Bate papo com netuno, 19 de dez. de 2019. Disponível em: <<https://www.batepapocomnetuno.com/post/el-ni%C3%B1o>>. Acesso: 12 jan. 2022.

LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. **Geosp - Espaço e Tempo**, v. 20, n. 3, p. 657-675, 2016.

LINDEMANN, D. S.; JUSTINO, F. B. A influência dos modos de variabilidade climática na temperatura em superfície na Antártica. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online], v. 30, n. 2, 2015.

LIU, C. *et al.* Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. **Sci Rep**, 11, 1280, 2021.

LOHMANN, M. Regressão logística e redes neurais aplicadas à previsão probabilística de alagamentos no município de Curitiba, PR. 2011. 293 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LUO, H. *et al.* Contrasting Responses of Planted and Natural Forests to Drought Intensity in Yunnan, China. **Remote sensing**, v. 8, 2016.

MAGALHÃES, A. R. Vida e seca no Brasil. In: DE NYS, E.; ENGLE, N.L.; MAGALHÃES, A.R. Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos- CGEE; Banco Mundial, p. 292, 2016.

MALLAT, S. A Wavelet Tour of Signal Processing. Academic Press, **Elsevier**, 2009.

MANDELBROT, B. B., WALLIS, J. R. Noah, Joseph and operational hydrology. **Water Resources Research**, v. 4, n. 5, p. 909-918, 1968.

MARCIANO, A. G; BARBOSA, A. A; SILVA, A. P. M. Cálculo de separação média utilizando Thiessen e as linhas de cumeada. **Rev Ambiente & Água**, v. 13, 2018.

MARENGO, J. A. *et al.* A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p.31-44, 2015.

MARENGO, J. A. *et al.* Two Contrasting Severe Seasonal Extremes in Tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. **American Meteorological Society**, 2013.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R. C. *et al.* Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, p. 1-13, 2017.

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

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, MMA. p. 212, 2ed, 2007.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-12, 2016.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C. Clima da região Amazônica. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F (org). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 197-212, 2009.

MARRAFON, V. H.; REBOITA, M. S. Características da precipitação na América do Sul reveladas através de índices climáticos. **Revs. Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

MARSHALL, A.H.; HEMER, M. A.; HENDON, H. H. *et al.* Southern annular mode impacts on global ocean surface waves. **Ocean Modelling**, v. 129, p. 58-74, 2018.

MCGREGOR, G. Hydroclimatology, modes of climatic variability and stream flow, lake and groundwater level variability: A progress report. **Progress in Physical Geography**, v. 41 (4), 2017. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2073-4433/9/7/282>>

MCGREGOR, G.; EBI, K. El Niño Southern Oscillation (ENSO) and Health: An Overview for Climate and Health Researchers. **Atmosphere**, v. 9, 2018. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2073-4433/9/7/282>>

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration at time scales. In: **8th Conference on Applied Climatology**. Anaheim/CA, 179-184, 1993.

MEIR, P *et al.* The Effects of Drought on the Amazon Rainforests. Washington DC American Geophysical Union **Geophysical Monograph Series**, v. 186, p. 429-449, 2009.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F de A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 26-42.

MENDONÇA, F. A.; BUFFON, E. A. M.; GOUDARD, G. l'adaptation urbaine au changement climatique global: les inondations à Curitiba et Pinhais (Brésil). In: XXVIII Colóquio de l'Association Internationale de Climatologie. Liège (Sart-Tilman)/Belgique, p. 200-205, 2015.

MISHRA, A.K.; SINGH, V.P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202-216, 2010.

MORAIS. *et al.* Leaf-litter production in human-modified Amazonian forests following the El Niño-mediated drought and fires of 2015-2016, **Ecologia e Manejo Florestal**, v. 496, 2021.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J.; ANDRADE. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007. 552 p. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Livro-%22Hidrologia-Estatistica%22-981.html>>.

NASCIMENTO JR., L. Aspectos observacionais das teleconexões climáticas no contexto da variabilidade. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 6, n. 16, p. 46-58, 2014.

NASCIMENTO JR., L. Perspectivas da variabilidade climática. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 10, n. 1, p. 95-114, 2017.

NERY, J. T.; SIQUEIRA, B. Índice de anomalia de chuva aplicado ao estudo das precipitações no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 27, 2020. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/65691>>. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.65691>.

NEVES. A. O.; VILANOVA, M. R. N. Caracterização da seca histórica da década de 2010 na Bacia do Rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo, Brasil. **Eng Sanit Amb**, v. 26, n.2, 2021.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 421 p., 1989.

NOURANI, V.; BAGHANAM, A. G.; ADAMOWSKI, J.; KISI, O. Applications of hybrid wavelet-artificial Intelligence models in hydrology: A review. **Journal of Hydrology**, 514, 2014.

OLÍMPIO, J. L. S. Análise multicritério do Risco de Desastres Naturais: um estudo sobre a seca na região Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado Geografia). Programa de Pós-Graduação. Geografia do Centro de Ciências - Universidade Federal do Ceará, 2017.

OLIVEIRA, G. S. **El Niño e Você - o fenômeno Climático**. 1. ed. São José dos Campos - SP: Transtec Editorial, v. 2000. 116 p, 2001.

OMM. Calculation of monthly and anual 30-year standard normals. Geneva, 1989. WMO, technical document, n. 341; WCDP, n. 10, 1989.

OTOCH, B. C. C. *et al.* Gestão de Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas e a Dependência da Trajetória Institucional: Nordeste Brasileiro e Austrália. **Rev. Recursos Hídricos**, v. 40, 2019.

PAREDES-TREJO, F. *et al.* Drought Assessment in the São Francisco River Basin Using Satellite-Based and Ground-Based Indices. **Remote Sens.** 2021, v. 13, 2021.3921. <https://doi.org/10.3390/rs13193921>

PENAFORTE, R. V. **Análise das secas na bacia do rio do Peixe através do índice padronizado de precipitação (SPI)**. 2016. 68f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa (PB), 2016.

PEREZ, L. P.; RODRIGUES-FILHO, S.; MARENGO, J. A.; SANTO, D. V. *et al* Climate Change and Disasters: analysis of the Brazilian regional inequality. **Sustainability in Debate**, v. 11, n.3, p. 278-296, 2020.

PESSOA FILHO, L. M. N. Estudo da variabilidade e previsibilidade das chuvas e vazões sazonais na bacia do Rio Iguaçu. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - Curitiba, 2013.

PLOSZAI, R. Climate change scenarios in the Parana State: a non-stationary analysis using drought indices. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - Curitiba, 2020.

QUADROS, L. E. A ocorrência de secas meteorológicas no estado do Paraná: Utilizando dados históricos e simulados. 2017, 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel (PR), 2017.

QUISPE, J. M. S. Interannual variability of the rainfall regime and strong ENSO events along the Peruvian Pacific Basin: large-scale control mechanisms. 2018. Tese (Ocean, Atmosphere) - Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), 2018. Disponível em: < <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01907921/document> >

REBOITA, M. S. *et al.* Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online], v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>>. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Relationship between the southern annular mode and southern hemisphere atmospheric systems. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online], v. 24, n. 1, pp. 48-55, 2009.

REGIOTA, N. S. Comparação da transformada wavelet discreta e a transformada do cosseno para compressão de imagens de impressão digital. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos - SP: Universidade de São Paulo, 2006.

REZENDE, F. A. V. S.; ALMEIDA, R. M. V.; NOBRE, F.F. Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no Município do Rio de Janeiro. **Cadernos de Saúde Pública** [online], v. 16, n. 2, 2000.

RHIF, M.; ABBES, A. B.; FARAG, I. R.; MARTÍNEZ, B et al. Wavelet Transform Application for/in Non-Stationary Time-Series Analysis: A Review. **Applied Sciences**, v. 9, 2019

ROCHA, M. H. F. F. A *et al.* Avaliação do Índice de Anomalia de Chuva para a região central do Estado do Espírito Santo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021.

ROCHA, S. R.; ALMEIDA, J. R. F. A variabilidade da precipitação nas sub-bacias do Alto e do Médio Jaguaribe e seu efeito sob os açudes Castanhão e Orós, localizados no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, 2021.

ROCHA, S. R.; SILVA, N. R.; DETZEL, D. Análise hidroclimática da bacia do rio Jaguaribe / CE utilizando o índice de anomalia de chuva e o índice oceânico NIÑO. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/356973175_Analise_hidroclimatica_da_bacia_do_rio_JaguaribeCE_utilizando_o_indice_de_anomalia_de_chuva_e_o_indice_oceanico_NINO>

SALTON, F. G.; MORAIS, H.; LOHMANN, M. Períodos Secos no Estado do Paraná. **Revista brasileira de Meteorologia**, v. 36, n.3, p. 295-303, 2021.

SANEPAR. Depois de “tirar água de pedra”, Sanepar faz chover na Região Metropolitana de Curitiba. **SANEPAR**, Curitiba, 18 de jan. de 2021. Disponível em: <<https://site.sanepar.com.br/noticias/depois-de-%E2%80%9Ctirar-agua-de-pedra%E2%80%9D-sanepar-faz-chover-na-regiao-metropolitana-de-curitiba>>

SANTO JR; SILVEIRA, M. A. T. C. E. Atlas geográfico do Paraná: O uso de novas tecnologias. Governo do Paraná, 2007. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/1127-2.pdf>>

SANTOS, C. A. C.; MANZI, A. O. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos oceanos tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, 2011.

SANTOS, C. A. G.; FREIRE, P. K. M. M.; TORRENCE, C. A transformada de Wavelet e sua aplicação na análise de séries hidrológicas. **Rev. Bras. De Recursos hídricos**, v. 18, 2013.

SANTOS, E. B.; FREITAS, E. D. *et al.* Spatio-temporal variability of wet and drought events in the Paraná River basin—Brazil and its association with the El Niño-Southern oscillation phenomenon. **Int J Climatol**, v, 41, ed. 10, p. 4879- 4897, 2021.

SANTOS, I. A.; FRANCO, N. J. N. Anomalias da precipitação no sul do Brasil e as teleconexões. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Guarapari-ES. 2011.

SANTOS, J. S.; CARVALHO, S. M. Ocorrências de alagamentos e enchentes na bacia do arroio da Ronda em Ponta Grossa, PR, Brasil. **Terra Plural**, v. 15, p. 1-17, 2021.

SANTOS, S. R. *et al.* Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 468-478. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234033/27465>>

SANTOS, T. O.; ANDRADE FILHO, V. S.; ROCHA, V. M. *et al.* Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: um estudo de revisão. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 11, 2017.

SCRICCO, I. M. Extremos de umidade na América do Sul e a contribuição do Oceano Atlântico Sul. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria), Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria- /RS, 2016.

Seca grave aumenta no Paraná e afeta 40% do território, aponta monitor. Paraná Portal [online]. Cidades. Paraná, 03 jun. 2021. Disponível em: <<https://paranaportal.uol.com.br/cidades/seca-grave-aumenta-no-parana-outuno>>

SHARMA, A.; GOYAL, M. K. Assessment of drought trend and variability in India using wavelet transform. **Hydrological Sciences Journal**, v. 65, 2020.

SILVA, D. Efeito de José e Noé nas Cotas do Rio São Francisco. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, (28), 66-76, 2013.

SILVA, D. F. Análise de aspectos climatológicos, ambientais, agroecômicos e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE). 174 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande/PB, 2009. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3666>>

SILVA, D. F. da. *et al.* Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, 2020.

SILVA, F. B. *et al.* Pluviometric and fluviometric trends in association with future projections in areas of conflict for water use. **Journal of Environmental Management**, v. 271, 2020.

SILVA, K. K. R. **Nos caminhos da memória, nas águas do Jaguaribe: memória das enchentes em Jaguaruana-CE (1960, 1974, 1985)**. 2006. 169 f. Dissertação (Mestrado em História) - Departamento de História, Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-graduação em História Social, Fortaleza (CE), 2006.

SILVA, M. E. S.; GUETTER, A. K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Terra Livre**, São Paulo, v. 1, n.20, p. 111-126, 2003.

SILVA, M. E. S.; SILVA, C. B. Variabilidade Climática - processos físicos e dinâmicos nos oceanos e atmosfera. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, p. 3372-406, 2012.

SILVA, N. R. Influência do fenômeno ENOS nas vazões afluentes às usinas hidrelétricas brasileiras. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em

Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná - PR, 2021.

SILVA, R. C. Eventos extremos de gelo marinho no mar de Weddell e sua relação com o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul. 2018. 70 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental** [online], v. 22, n. 03, p. 579-589, 2017.

SILVA, F. B. *et al.* Pluviometric and fluviometric trends in association with future projections in areas of conflict for water use. **Journal of Environmental Management**, v. 271, 2020.

SIMEPAR. Agosto/2018 chuvoso no noroeste e no norte do Paraná, 2018. Disponível em: <<http://simepar.br/prognozweb/simepar/post/7455>>

SIMEPAR. Março/18 com chuvas acima das médias em praticamente todo Paraná, 2018. Disponível em: <<http://simepar.br/prognozweb/simepar/post/7455>>

SINGH, V. P.; GUO, H.; YU, F. X. Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome. **Stochastic Hydrol. Hydraul.**, v. 7, p. 163–177, 1993.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. **Genève: Organisation Météorologique Mondial**, p. 192, 1975.

SONG, Y.; PARK, M. A Study on the Appropriateness of the Drought Index Estimation Method Using Damage Data from Gyeongsangnamdo, South Korea. **Atmosphere**, v. 12, 2021.

SORIANO, E.; LONDE, L. R.; GREGORIO, L. R. D. et al Crise Hídrica em São Paulo do ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade**, 14 (1), 2016.

SOUSA, A.J. S. Eventos extremos de precipitação no leste da Amazônia: Ventos extremos de precipitação no leste da Amazônia. Maceió-AL: UFAL, 2010. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas. Fevereiro, 2010.

SOUSA, F. A. S.; MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SILVA, V. P. R. O índice de precipitação padronizada (IPP) na identificação de extremos de chuva e secas na bacia do rio Paraguaçu (BA). **Ambiência Guarapuava**, v. 12, n. 2, p. 707-719, 2016.

SOUZA, C. A.; REBOITA, M. S. Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão na América do Sul. **Terra e Didática**, Campinas, SP, v. 17, 2021.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL (SUDERHSA). Unidades Hidrográficas do Paraná: SUDERHSA, 2006. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapase-Dados-Espaciais>>.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R. P.; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: Uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 37, n.70, p. 385-405, 2019.

TERASSI, P. M. B. *et al.* Standardized Precipitation Index Aplicado à Identificação do Padrão das Chuvas na Vertente Paranaense da Bacia Hidrográfica do Rio Itararé. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online], v. 34, n. 4, p. 557-571, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-7786344069>>.

TERASSI, P. M. B. *et al.* Variabilidade do Índice de Precipitação Padronizada na Região Norte do Estado do Paraná Associada aos Eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online], v. 33, n. 1, pp. 11-25, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-7786331002>>. <https://doi.org/10.1590/0102-7786331002>.

TERASSI, P. M. B. Variabilidade pluviométrica e eventos pluviais extremos em bacias hidrográficas do leste do Paraná. 2019. 293 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Departamento de Geografia Física - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

THIELEN, D. *et al.* Quo vadis Pantanal? Expected precipitation extremes and drought dynamics from changing sea surface temperature. **Plos ONE**, v.15 (1), 2020.

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature Fields *Geophys. Res. Letters*, v. 25, pp. 1297-1300, 1998.

TORRENCE, C.; COMPO, G. A. Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 1998.

TORRES, G.P.; CARMO, L.F.R.; PALMEIRA, A.C.P.A. Estudo da relação entre precipitação e deslizamentos no município de Petrópolis - RJ, *Revista S&G* 15, n. 1, 38-45, 2020

TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño, *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 78 (12), p. 2771-2778, 1997. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/78/12/1520-0477_1997_078_2771_tdoeno_2_0_co_2.xml>.

TSIROS, I. X. *et al.* Variability of the aridity index and related drought parameters in Greece using climatological data over the last century (1900-1997). **Atmospheric Research**, v. 240, 2020.

UDA, P. K. Evapotranspiração real da bacia do rio Iguaçu por meio do modelo METRIC. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

VASCONCELLOS, F. C.; PIZZOCHERO, R. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Month-to-Month Impacts of Southern Annular Mode Over South America Climate. *Anuário IGeo*, v. 42, 2019.

VEIGA, S. F.; YUAN, H. The response of the East Asian summer rainfall to more extreme El Niño events in future climate scenarios. **Atmospheric Research**, v. 268, 2022.

VICENTE, M. X. Sanepar usa avião para fazer chover na crise da falta de água em Curitiba e RMC. *Gazeta do Povo*, Curitiba, 15 de jan. de 2021. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/parana/sanepar-usa-aviao-para-fazer-chover-na-crise-da-falta-de-agua-em-curitiba-e-rmc/>>

VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. **Journal of Climate**, v. 23, n. 7, p. 1696-1718, 2010.

WAINER, I. *et al.* Reconstruction of the South Atlantic Subtropical Dipole index for the past 12,000 years from surface temperature proxy. **Scientif Reports**, v. 4, 2014.

WANG, H.; ASEFA, T.; ERYIHUN, S. Interannual variabilities of the summer and winter extreme daily precipitation in the Southeastern United States. **Journal of Hydrology**, v. 603, 2021.

WILHITE, D.; GLANTZ, M. H. Understanding the drought phenomenon: The role definitions. In: WILHITE *et al.*, **Planning for drought toward a reduction of societal vulnerability**. Colorado, p. 11-30, 1987.

WOLTER, K.; TIMLIN, M. S. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). **International Journal of Climatology**, v. 31, p. 1074-1087, 2011.

WU, L. *et al.* Thiessen polygon analysis and spatial pattern evolution of Neolithic cultural sites (8.0-4.0 ka BP) in Huaibei Plain of Anhui, East China. **Quaternary International**, v. 521, 2019.

YANG, M. *et al.* SPEI-Based Spatiotemporal Analysis of Drought in Haihe River Basin from 1961 to 2010. **Advances in Meteorology**, v. 16, 2016.

YANG, P. *et al.* Identification of drought events in the major basins of Central Asia based on a combined climatological deviation index from GRACE measurements. **Atmospheric Research**, v. 244, 2020.

YERDELEN, C.; ABDELKADER, M.; ERIS, E. Assessment of drought in SPI series using continuous wavelet analysis for Gediz Basin, Turkey. **Atmospheric Research**, 2021.

ZHANG, C. *et al.* Analysis of South American climate and teleconnection indices. *Journal of contaminant Hyddrology*, v. 244, 2022.

ZHANG, D. *et al.* An Adaptive Graph Morlet Wavelet Transform for Railway Wayside Acoustic Detection. **Journal of Sound and Vibration**, v. 529, 2022.

ZHANG, N.; PATHAK, T. B.; PARKER, L. E *et al.* Impacts of large-scale teleconnection indices on chill accumulation for specialty crops in California. **Science of the total environment**, v. 791, 2021.

ZHOU, T-J. *et al.* Interpreting IPCC AR6: future global climate based on projection under scenarios and on near-term information [J]. **Climate Change Research**, v. 17 (6), p.652-663, 2021.

ZUFFO, A. C. O Sol, o motor das variabilidades climáticas. **Revista DAE**, 2015.

ZUO, D.; HOU, W.; ZHANG, Q.; YAN, P. Sensitivity analysis of standardized precipitation index to climate state selection in China. **Advances in Climate Change Research**, v. 13, 2022.

APÊNDICE A - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

ID	CÓDIGO	ESTAÇÃO	ALTITUDE	LAT	LONG	PERÍODO	FALHA (%)	SUB-BACIA
1	2653024	PONTE MARMELEIRO MTE. ETA	640.00	-26.15	-53.02	Março/1977 - Dezembro/2021	2.5%	BAIXO
2	2653022	FAXINAL DO CAMPO ERE	933.00	-26.38	-53.04	Setembro/1976 - Maio/2019	7.4%	BAIXO
3	2653021	SIQUEIRA BELO	550.00	-26.22	-53.48	Março/1976 - Dezembro/2021	0.5%	BAIXO
4	2653020	SALGADO FILHO	500.00	-26.18	-53.38	Março/1976 - Dezembro/2019	6.9%	BAIXO
5	2653019	RIO VERDE	758.00	-26.23	-53.20	Março/1976 - Dezembro/2021	0.4%	BAIXO
6	2653017	GUABIJU	589.00	-26.11	-53.46	Março/1976 - Dezembro/2021	0.4%	BAIXO
7	2653016	SÃO SEBASTIÃO DA BELA VISTA	557.00	-26.06	-53.36	Março/1976 - Dezembro/2021	0.4%	BAIXO
8	2653015	LINHA GAUCHA	757.00	-26.08	-53.20	Março/1976 - Dezembro/2015	14.7%	BAIXO
9	2653014	MARCIANÓPOLIS	538.00	-26.12	-53.65	Março/1976 - Maio/2021	1.6%	BAIXO
10	2652035	PATO BRANCO	700.00	-26.12	-52.68	Janeiro/1979 - Dezembro/2016	17.4%	BAIXO
11	2652033	PASSO DA ILHA	745.00	-26.23	-52.60	Março/1976 - Dezembro/2021	0.4%	BAIXO
12	2652032	GRAMADOS	700.00	-26.08	-52.52	Janeiro/1976 - Dezembro/2021	0.2%	BAIXO
16	2652025	SÃO CARVAJO	815.00	-26.32	-52.72	Março/1976 - Maio/2021	1.8%	BAIXO
17	2652023	USINA CHOPIM	1028.00	-26.38	-52.00	Março/1976 - Dezembro/2021	0.7%	BAIXO
18	2652022	HONÓRIO SERPA	825.00	-26.12	-52.43	Março/1976 - Dezembro/2021	2.7%	BAIXO
19	2652015	SALTO CLAUDELINO	926.00	-26.28	-52.30	Janeiro/1970 - Dezembro/2021	2.5%	BAIXO
20	2652013	PATO BRANCO	760.00	-26.23	-52.68	Janeiro/1970 - Dezembro/2021	0.4%	BAIXO
21	2652012	VITORINO - MOINHO CAÇADOR	723.00	-26.27	-52.80	Janeiro/1970 - Janeiro/2012	21.7%	BAIXO
22	2652011	MARIÓPOLIS	864.00	-26.35	-52.57	Janeiro/1970 - Dezembro/2021	0.0%	BAIXO
23	2652010	PALMAS	1124.00	-26.48	-52.00	Janeiro/1970 - Maio/2021	1.3%	BAIXO
24	2652009	PONTE DO VITORINO	550.00	-26.05	-52.80	Janeiro/1970 - Dezembro/2021	0.2%	BAIXO
25	2652003	CLEVELÂNDIA	930.00	-26.42	-52.35	Janeiro/1973 - Fevereiro/2013	19.2%	BAIXO
26	2651035	FAZENDA SANTA TEREZA	1180.00	-26.37	-51.87	março/1976 - agosto/2016	12.0%	BAIXO
38	2554018	SERRANÓPOLIS (JARDINÓPOLIS)	279.25	-25.41	-54.04	março/1975 - 2021	0.4%	BAIXO
39	2554002	SALTO CATARATAS	152.00	-25.68	-54.43	1970-2019	4.3%	BAIXO
40	2553048	NOVA PRATA DO IGUAÇU	555.00	-25.62	-53.37	1976-2007	32.1%	BAIXO
41	2553047	ALTO UNIÃO	400.00	-25.68	-53.47	março/1976 - 2021	0.5%	BAIXO
42	2553046	PINHALZINHO	560.00	-25.89	-53.08	março/1976 - 2021	0.4%	BAIXO
43	2553044	ENÉAS MARQUES	585.00	-25.93	-53.17	março/1976 - 2021	0.4%	BAIXO
44	2553041	TORRA ALTA	600.00	-25.22	-53.05	fevereiro/1976 - 2021	0.2%	BAIXO
45	2553040	CATANDUVAS	650.00	-25.20	-53.13	fevereiro/1976 - 2012	21.2%	BAIXO
46	2553039	SAGRADA FAMÍLIA	380.00	-25.67	-53.68	março/1976 - 2021	0.4%	BAIXO
47	2553038	SÃO VALÉRIO	484.00	-25.77	-53.66	março/1976 - 2021	0.4%	BAIXO
48	2553037	TRÊS IRMÃOS	495.00	-25.95	-53.62	março/1976 - 2021	0.5%	BAIXO
49	2553036	NOVA ESPERANÇA	400.00	-25.95	-53.83	março/1976 - 2021	0.5%	BAIXO
50	2553035	RIO DO SALTO	633.20	-25.13	-53.32	agosto/1975 - 2021	0.4%	BAIXO
51	2553033	BOI PRETO	730.80	-25.15	-53.62	agosto/1975 - 2016	11.2%	BAIXO
52	2553031	IBIRACEMA	495.00	-25.28	-53.32	agosto/1975 - 2003	39.7%	BAIXO
53	2553030	TRÊS BARRAS DO PARANÁ	534.00	-25.42	-53.18	agosto/1975 - 2021	0.2%	BAIXO
54	2553029	LINHA SANTA CATARINA	344.00	-25.35	-53.55	agosto/1975 - 2021	0.0%	BAIXO
55	2553028	SANTA LÚCIA	477.00	-25.40	-53.57	agosto/1975 - 2021	0.0%	BAIXO
56	2553026	FLOR DA SERRA	478.00	-25.39	-53.38	agosto/1975 - 2021	0.0%	BAIXO
57	2553024	CAPITÃO LEONIDAS MARQUES	264.00	-25.48	-53.62	agosto/1975 - 2021	0.5%	BAIXO
58	2553020	FLORIANO	457.70	-25.31	-53.87	março/1975 - 2021	0.0%	BAIXO
59	2553019	IBEMA	877.00	-25.10	-53.07	fevereiro/1976 - 2021	0.2%	BAIXO
60	2553016	NELSON TABORDA	611.00	-25.17	-53.37	outubro/1971 - 2013	18.8%	BAIXO
61	2553015	PLANALTO	400.00	-25.70	-53.77	1973-2015	13.0%	BAIXO
62	2553014	PORTO MOISES LUPION	350.00	-25.58	-53.98	fevereiro/1974-2021	0.2%	BAIXO
63	2553012	AMPERE	330.00	-25.92	-53.48	1970-2021	0.0%	BAIXO
64	2553010	SANTA IZABEL DO OESTE	400.00	-25.82	-53.50	1970-2011	22.8%	BAIXO

65	2553007	SALTO DO LONTRA	444.00	-25.78	-53.31	1970-2021	0.2%	BAIXO
66	2553005	PÉROLA DO OESTE	400.00	-25.83	-53.75	1970-2011	21.2%	BAIXO
67	2553004	CRUZEIRO DO IGUAÇU I	389.00	-25.57	-53.13	1970-2021	0.0%	BAIXO
68	2552047	VILA GUARANI	917.00	-25.21	-52.65	1976-2021	0.4%	BAIXO
69	2552046	LINHA MIRIM	666.00	-25.39	-52.96	1976-2021	0.2%	BAIXO
70	2552045	IOLÓPOLIS	550.00	-25.72	-52.92	1976-2021	0.5%	BAIXO
71	2552044	CORONEL VIVIDA	700.00	-25.98	-52.57	1976-2021	0.2%	BAIXO
72	2552043	VISTA ALEGRE	522.00	-25.93	-52.71	1976-2021	0.4%	BAIXO
73	2552042	ITAPEJARA DO OESTE	587.00	-25.94	-52.83	1976-2021	0.2%	BAIXO
74	2552041	CANTAGALO	800.00	-25.37	-52.12	1976-2017	8.9%	BAIXO
75	2552040	VIRMOND	758.00	-25.38	-52.20	1976-2021	0.4%	BAIXO
76	2552039	SÃO ROQUE	621.00	-25.39	-52.77	1976-2021	0.4%	BAIXO
77	2552038	ESPIGÃO ALTO DO IGUAÇU	632.00	-25.42	-52.84	1976-2021	0.2%	BAIXO
78	2552037	PORTO BARREIRO	750.00	-25.52	-52.40	1976-2019	7.4%	BAIXO
79	2552036	RIO BONITO DO IGUAÇU	704.00	-25.49	-52.53	1976-2021	0.2%	BAIXO
80	2552034	BAIA	645.00	-25.72	-52.38	1976-2021	0.2%	BAIXO
81	2552033	SÃO LUIZ DO OESTE	655.00	-25.73	-52.50	1976-2021	0.2%	BAIXO
82	2552031	BUGRE	644.00	-25.82	-52.42	1976-2021	0.2%	BAIXO
83	2552030	UHE SALTO SANTIAGO CHOPINZINHO PLU	800.00	-25.86	-52.53	1976-2020	2.4%	BAIXO
84	2552029	SÃO JOÃO DO OESTE	679.00	-25.85	-52.73	1976-2021	0.7%	BAIXO
85	2552026	GOIOXIM	858.00	-25.20	-51.99	1976-2021	0.4%	BAIXO
86	2552025	PASSO GRANDE	782.00	-25.55	-52.11	1976-2021	0.2%	BAIXO
87	2552023	CACHOEIRA	716.00	-25.70	-52.20	1976-2020	2.5%	BAIXO
89	2552010	NOVA LARANJEIRAS	730.00	-25.30	-52.53	agosto/1975-2021	0.0%	BAIXO
90	2552000	QUEDAS DO IGUAÇU (CAMPO NOVO)	550.00	-25.45	-52.90	1970-2021	0.0%	BAIXO
102	2551014	INÁCIO MARTINS	1219.00	-25.57	-51.07	1975-2021	0.0%	MÉDIO
101	2551017	SANTANA	880.00	-25.94	-51.26	1975-2021	0.0%	MÉDIO
96	2551025	ZATARLÂNDIA (BOM RETIRO)	1446.00	-25.73	-51.52	outubro/1976 - 2021	2.2%	MÉDIO
95	2551026	CAMPINA BONITA	1108.00	-25.57	-51.25	outubro/1976 - 2021	0.0%	MÉDIO
98	2551023	FAZENDA ZANILOLO	1053.00	-25.82	-51.10	out/1976 - 2021	0.0%	MÉDIO
97	2551024	PINHÃO	1066.00	-25.65	-51.67	set/1976 - 2021	0.0%	MÉDIO
28	2651029	SÃO PEDRO - CODEGA	1150.00	-26.43	-51.57	março/1976 - dezembro/2021	0.4%	MÉDIO
27	2651031	UBALDINO TAQUES	1100.00	-26.27	-51.90	março/1976 - novembro/2021	0.7%	MÉDIO
30	2651023	LINHA SANTA MARIA	1030.00	-26.12	-51.57	setembro/1976 - dezembro/2021	1.4%	MÉDIO
29	2651026	IRATIM	1161.00	-26.48	-51.43	março/1976 - dezembro/2021	0.4%	MÉDIO
15	2652026	BUTIA	873.00	-26.07	-52.09	Março/1976 - Maio/2013	17.8%	MÉDIO
14	2652027	CACHOEIRA - GENEROSO	1009.00	-26.13	-52.18	Março/1976 - Dezembro/2021	0.7%	MÉDIO
13	2652029	FAZENDA SÃO PEDRO	900.00	-26.23	-52.23	Fevereiro/1976 - Janeiro/1998	52.4%	MÉDIO
36	2651004	PORTO VITÓRIA (rio espingarda)	790.00	-26.17	-51.22	1970-2021	0.0%	MÉDIO
35	2651010	SERRARIA SÃO SEBASTIÃO - INDUBRAS	1164.00	-26.63	-51.33	março/1976 - dezembro/2021	0.5%	MÉDIO
32	2651016	SALTO DO VAU	800.00	-26.05	-51.20	1970-2021	0.0%	MÉDIO
31	2651020	SANTO ANTÔNIO DO IRATIM	950.00	-26.15	-51.40	setembro/1976 - dezembro/2021	0.0%	MÉDIO
34	2651013	COLÔNIA AUGUSTO LOUREIRO	802.00	-26.19	-51.30	1970-2021	2.7%	MÉDIO
33	2651015	USINA BITURUNA	900.00	-26.17	-51.55	1970-2007	31.2%	MÉDIO
92	2551034	INVERNADINHA	1050.00	-25.30	-51.43	1976-2021	0.2%	MÉDIO
91	2551037	PEDRO LUSTOSA	1000.00	-25.80	-51.85	1976-2020	4.9%	MÉDIO
94	2551027	COLÔNIA SOCORRO	1000.00	-25.55	-51.55	1976-2021 falha em 18-19	3.8%	MÉDIO
93	2551033	PALMEIRINHA	1050.00	-25.25	-51.55	1976-2021	0.2%	MÉDIO
88	2552022	RESERVA DO IGUAÇU	1000.00	-25.80	-52.02	1976-2021	0.2%	MÉDIO
112	2550017	PONTILHÃO FERRARIA	770.00	-25.95	-50.57	1974-2021	0.9%	MÉDIO
113	2550005	RIO CLARO DO SUL (EUFROZINA)	750.00	-25.95	-50.68	1970-2021	0.0%	MÉDIO
107	2550038	REBOUÇAS	918.00	-25.62	-50.70	1975-2021	0.4%	MÉDIO
110	2550029	GONÇALVES JUNIOR	797.00	-25.47	-50.78	1975-2021	0.0%	MÉDIO
109	2550035	TURVO	790.00	-25.70	-50.52	set/1975-2021	0.0%	MÉDIO
104	2551010	GUARAPUAVA - COLÉGIO AGRÍCOLA	1038.00	-25.36	-51.50	1973-2018	6.5%	MÉDIO
103	2551011	COLÔNIA DALEGRAVE	1219.00	-25.63	-51.09	set/1975-2021	1.8%	MÉDIO
106	2551001	LEONÓPOLIS	960.00	-25.69	-51.20	1970-2020	8.9%	MÉDIO
105	2551008	COLÔNIA VITÓRIA	1000.00	-25.53	-51.44	1970-2020	5.4%	MÉDIO
100	2551018	PÁTIO VELHO (PINARÉ)	1114.00	-25.90	-51.10	1975-2021	0.0%	MÉDIO
99	2551019	SANTA CRUZ	1245.00	-25.85	-51.77	1975-2016	12.5%	MÉDIO
37	2649018	FRAGOSOS	790.00	-26.15	-49.38	1970-2015	13.8%	ALTO
120	2549004	PIRAQUARA	900.00	-25.45	-49.07	1970-2021	0.0%	ALTO
119	2549017	FAZENDINHA	910.00	-25.52	-49.15	1970-2021	0.0%	ALTO
121	2549003	RIO DA VÁRZEA DOS LIMA	810.00	-25.95	-49.39	1970-2021	1.3%	ALTO

116	2549061	QUITANDINHA	820.00	-25.86	-49.53	1975-2021	0.0%	ALTO
115	2549062	MANDIRITUBA	920.00	-25.78	-49.32	1974-2021	0.0%	ALTO
118	2549019	ITAQUI	901.00	-25.47	-49.57	1970-2021	0.9%	ALTO
117	2549059	PEDRA ALTA	903.00	-25.80	-49.88	1975-2021	0.0%	ALTO
111	2550028	PEDRA LISA	929.00	-25.70	-50.01	1975-2021	0.2%	ALTO
114	2549063	RINCÃO	913.00	-25.78	-49.15	1975-2021	0.0%	ALTO
108	2550037	GUAÍACA	856.00	-25.62	-50.20	out/1975-2021	0.0%	ALTO

APÊNDICE B - ESTAÇÕES CLIMATÓLOGICAS

ID	CÓDIGO	ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ÁREA ANA	ÁREA GSIM	SUB-BACIA
1	65993000	SALTO CATARATAS	-25.6831	-54.4331	67100	67014.78	BAIXO
2	65986000	ESTREITO NOVO IGUAÇU	-25.5597	-53.8444	0	63194.82	BAIXO
3	65979000	SÃO SEBASTIÃO	-25.4339	-53.5178	1310	1309.97	BAIXO
4	65960000	ÁGUAS DO VERE	-25.7692	-52.9267	6690	6685.487	BAIXO
5	65948000	PONTE MARMELEIRO	-26.1525	-53.02	272	273.2533	BAIXO
6	65945000	POTENTE DO VITORINO	-26.0506	-52.8008	554	551.4279	BAIXO
7	65925000	SALTO CLAUDELINO	-26.2781	-52.2956	1660	1642.416	BAIXO
8	65855000	USINA CAVERNOSO	-25.4925	-52.2139	0	1511.283	BAIXO
9	65815050	SALTO CURURACA	-25.5383	-51.8189	2220	2215.652	MÉDIO
10	65809000	GUARAPUAVA	-25.3978	-51.4358	314	308.3815	MÉDIO
11	65310000	UNIÃO DA VITÓRIA	-26.2281	-51.0803	24200	24053.72	MÉDIO
12	65220000	FLUVIOPÓLIS	-26.0192	-50.5925	18600	18470.7	MÉDIO
13	65136550	QUITANDINHA	-25.855	-49.5258	939	948.932	ALTO
14	65100000	RIO NEGRO	-26.1097	-49.8011	0	3419.215	ALTO
15	65060000	SÃO MATEUS DO SUL	-25.8758	-50.3897	6050	5996.266	ALTO
16	65027000	RODEIO	-25.5797	-49.5831	231	231.2387	ALTO
17	65015400	CACHOEIRA	-25.5892	-49.2281	272	257.0335	ALTO

APÊNDICE C - ANÁLISE DESCRITIVA DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO

C.1 - ANÁLISE DESCRITIVA DAS ESTAÇÕES DA SBB

Mês	Média	DP	Cv	Cs	Ck	Máximo	Mínimo
JAN	193.36	95.13	49%	0.27	0.25	1354.7	0
FEV	170.91	92.93	54%	0.29	0.27	1173.9	0
MAR	141.31	83.47	59%	0.70	0.25	503.6	7.4
ABR	149.39	98.48	66%	0.52	0.25	933	0
MAI	181.04	130	72%	0.50	0.3	883.5	0
JUN	158.04	107.89	68%	0.56	0.25	933.2	0
JUL	124.09	102.83	83%	0.56	0.22	888.8	0
AGO	106.19	82.31	78%	0.48	0.28	448.6	0
SET	154.47	94.07	61%	0.49	0.27	799.8	0

OUT	234.22	110.56	47%	0.52	0.25	780.2	1.8
NOV	172.44	99.43	58%	0.42	0.26	887.4	12.9
DEZ	177.91	95.81	54%	0.39	0.26	692.1	0

C.2 - ANÁLISE DESCRITIVA DAS ESTAÇÕES DA SBM

Mês	Média	DP	Cv	Cs	Ck	Máximo	Mínimo
JAN	191.7	85.53	45%	0.32	0.26	729.3	9.9
FEV	166.79	83.05	50%	0.10	0.26	698.9	4.7
MAR	139.72	74.41	53%	0.56	0.28	422.3	2.8
ABR	123.84	89.6	72%	0.65	0.24	571.2	0
MAI	153.56	120.1	78%	0.64	0.26	701.2	0.5
JUN	147.06	97.84	67%	0.48	0.25	619.1	1.3
JUL	125.59	108.18	86%	0.38	0.26	837.7	0
AGO	103.02	82.41	80%	0.50	0.26	760.4	0
SET	155.54	99.08	64%	0.62	0.26	653.3	3
OUT	201.69	92.34	46%	0.40	0.28	577.9	11.4
NOV	152.63	83.55	55%	0.37	0.26	590	12.3
DEZ	171.25	78.71	46%	0.19	0.26	508.9	14.9

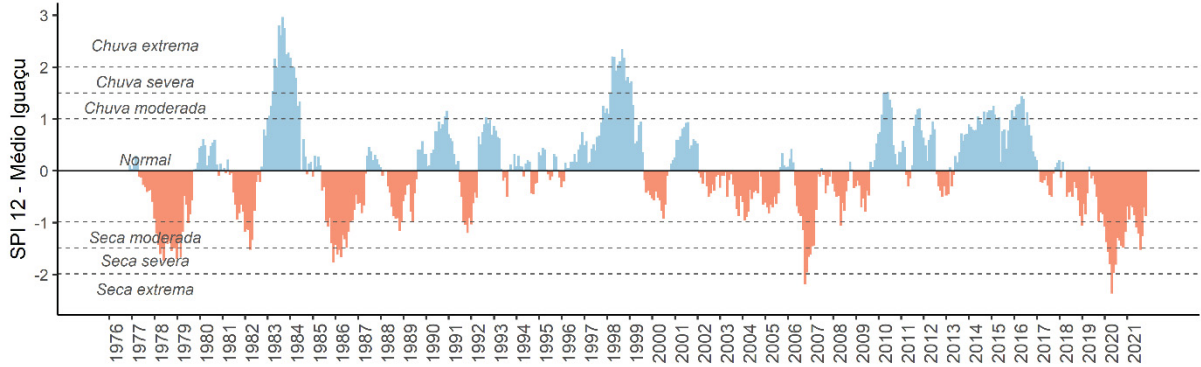
C.3 - ANÁLISE DESCRITIVA DAS ESTAÇÕES DA SBA

Mês	Média	DP	Cv	Cs	Ck	Máximo	Mínimo
JAN	184.55	86.7	47%	0.27	0.26	528	6.2
FEV	157.97	69.94	44%	0.17	0.27	366	30.7
MAR	126.76	65.27	51%	0.49	0.27	381	9.4
ABR	87.75	63.58	72%	0.48	0.25	369.8	0
MAI	106.43	88.88	84%	0.90	0.25	488.8	0
JUN	112.08	68.41	61%	0.44	0.22	405.6	0
JUL	101.59	74.39	73%	0.57	0.28	406.5	0
AGO	83.01	64.77	78%	0.57	0.25	336.3	0
SET	129.01	82.79	64%	0.59	0.26	422.2	2.5
OUT	149.13	62.14	42%	0.56	0.27	338.4	3.4
NOV	120.92	61.83	51%	0.30	0.23	386.1	4.6

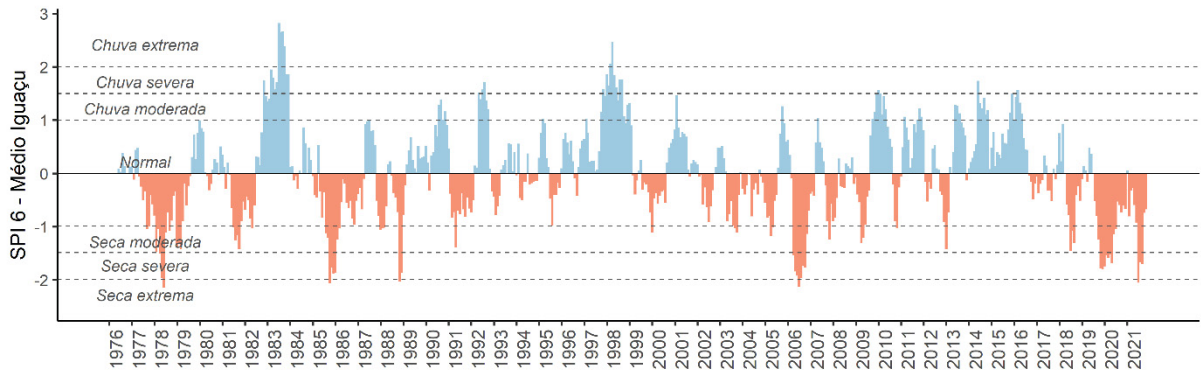
DEZ	154.7	73.98	48%	0.30	0.27	427.3	16.2
------------	-------	-------	-----	------	------	-------	------

APÊNDICE D - RESULTADOS DO SPI DA SBM

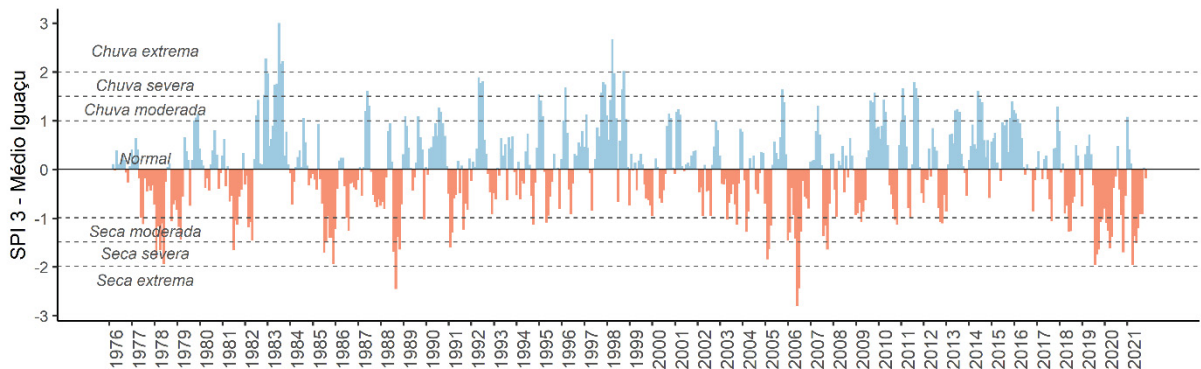
D. 1 - SPI 12



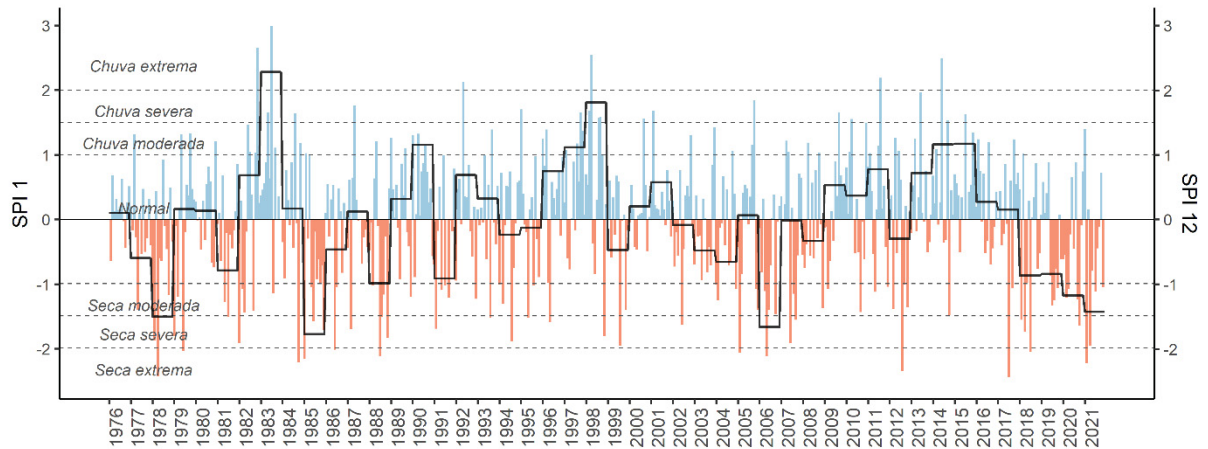
D. 2 - SPI 6



D. 3 - SPI 3



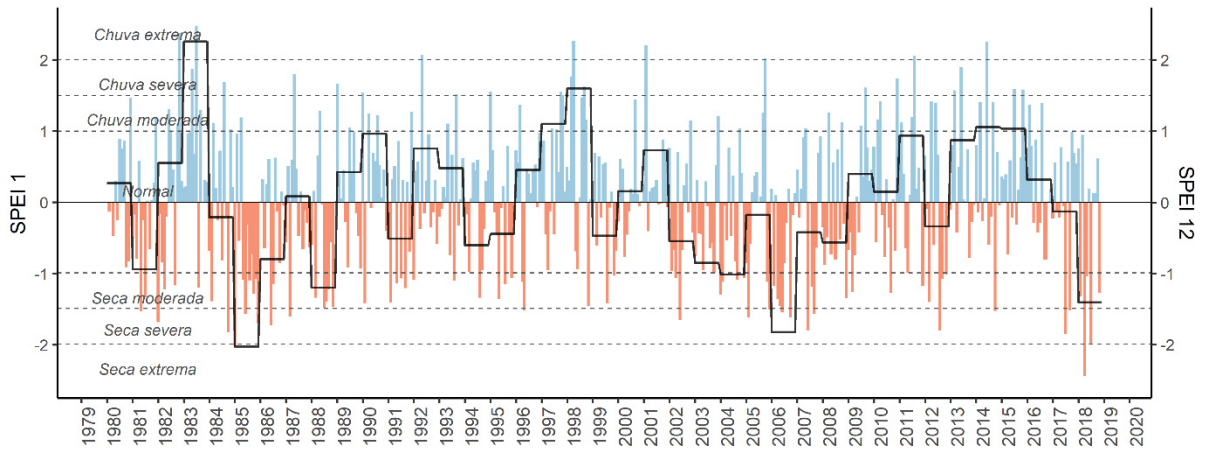
D. 4 - SPI 1 E SPI 12



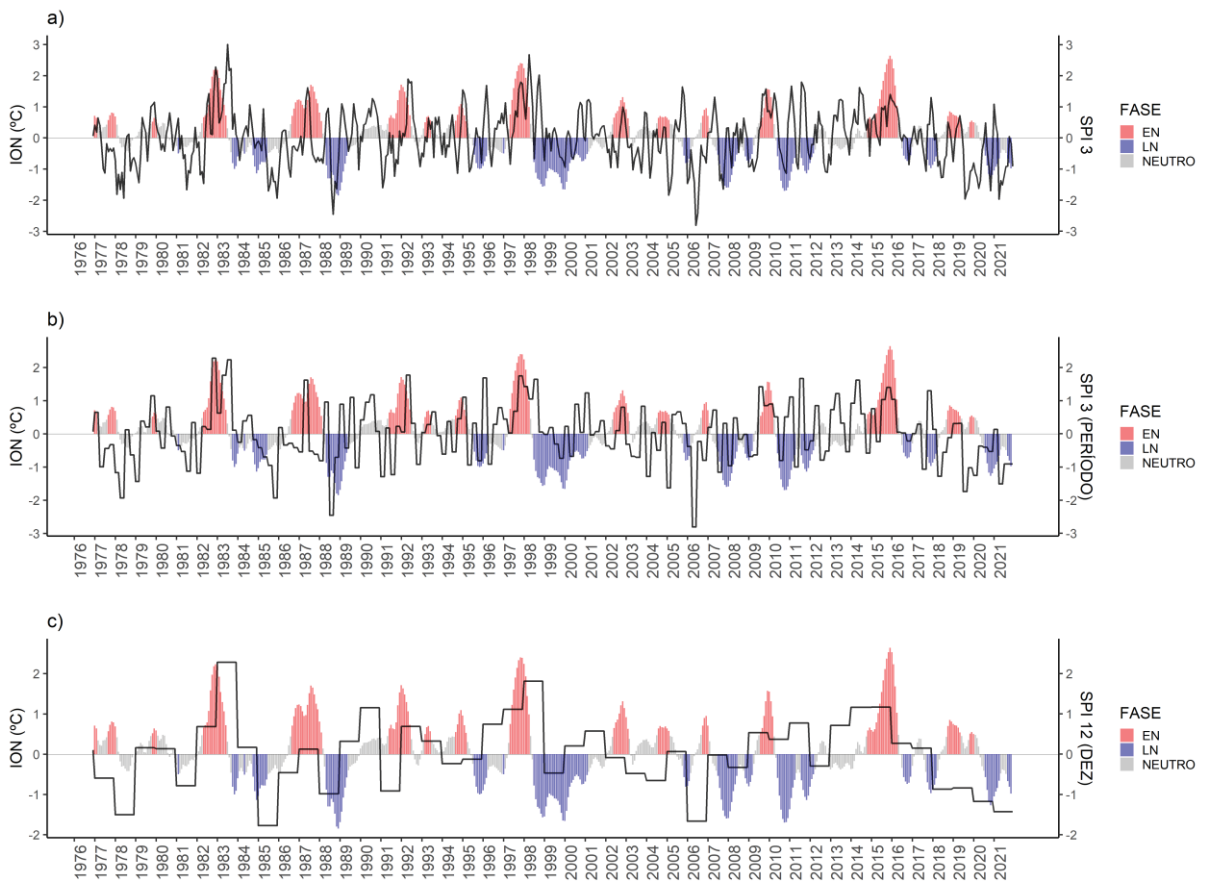
APÊNDICE E - QUADRO RESUMO DO RESULTADO DO SPI

BACIA	Classificação	Seca extrema	Seca severa	Seca moderada	Normal	Chuva moderada	Chuva severa	Chuva extrema
SPI-1-B	%	2.2%	4.2%	7.6%	73.7%	8.2%	3.4%	0.7%
	Quant. Eventos	12	23	42	407	45	19	4
SPI-1-M	%	2.4%	4.2%	8.9%	72.5%	8.2%	2.9%	1.1%
	Quant. Eventos	13	23	49	400	45	16	6
SPI-1-A	%	2.2%	4.3%	8.2%	72.3%	7.6%	4.2%	1.1%
	Quant. Eventos	12	24	45	399	42	23	6
SPI 3-B	%	1.6%	3.8%	7.6%	72.8%	8.2%	5.4%	0.5%
	Quant. Eventos	3	7	14	134	15	10	1
SPI 3-M	%	1.1%	2.7%	7.6%	75.5%	7.6%	4.3%	1.1%
	Quant. Eventos	2	5	14	139	14	8	2
SPI 3-A	%	1.1%	2.7%	9.2%	72.8%	8.7%	4.3%	1.6%
	Quant. Eventos	2	5	17	134	16	8	3
SPI 6-B	%	0.0%	2.2%	9.9%	74.7%	5.5%	6.6%	1.1%
	Quant. Eventos	0	2	9	68	5	6	1
SPI 6-M	%	0.0%	3.3%	11.0%	73.6%	6.6%	3.3%	2.2%
	Quant. Eventos	0	3	10	67	6	3	2
SPI 6-A	%	2.2%	2.2%	6.6%	74.7%	9.9%	3.3%	1.1%
	Quant. Eventos	2	2	6	68	9	3	1
SPI 12-B	%	0.0%	4.3%	8.7%	73.9%	8.7%	2.2%	2.2%
	Quant. Eventos	0	2	4	34	4	1	1
SPI 12-M	%	0.0%	6.5%	4.3%	76.1%	8.7%	2.2%	2.2%
	Quant. Eventos	0	3	2	35	4	1	1
SPI 12-A	%	2.2%	2.2%	8.7%	73.9%	8.7%	4.35%	0.0%
	Quant. Eventos	1	1	4	34	4	2	0

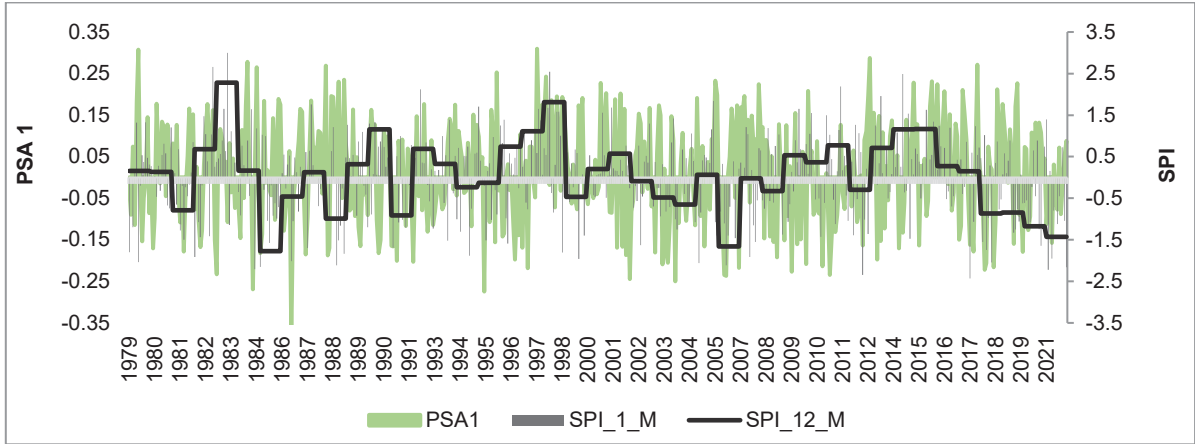
APÊNDICE F - SPEI DA SBM



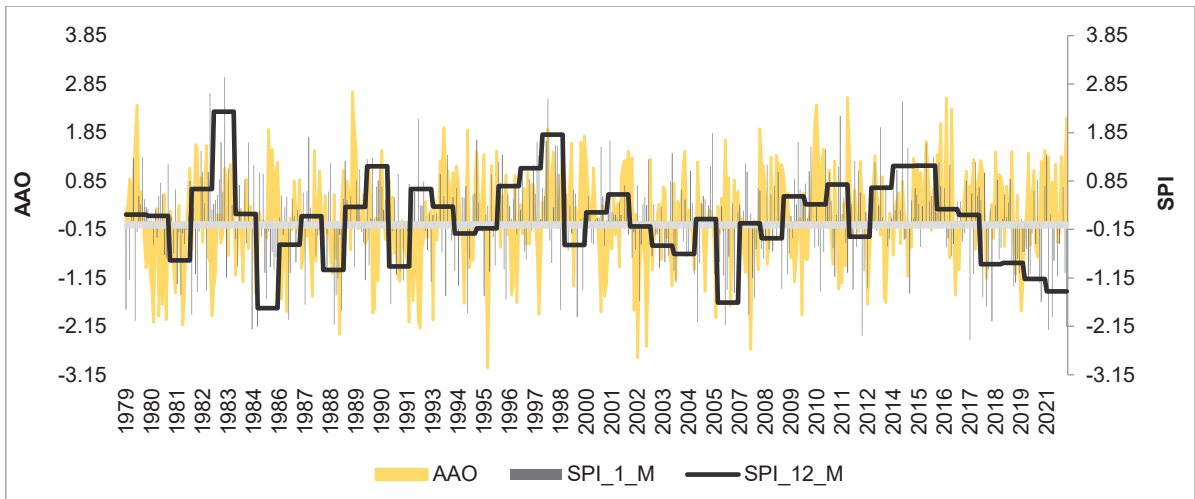
APÊNDICE G - PLOTAGEM TEMPORAL DO ONI 3.4 COM O SPI DA SBM NAS DEFASAGENS DE A) SPI 3 B) SPI 3 - PERÍODOS DAS ESTAÇÕES DO C) INTERANUAL (DEZEMBRO)



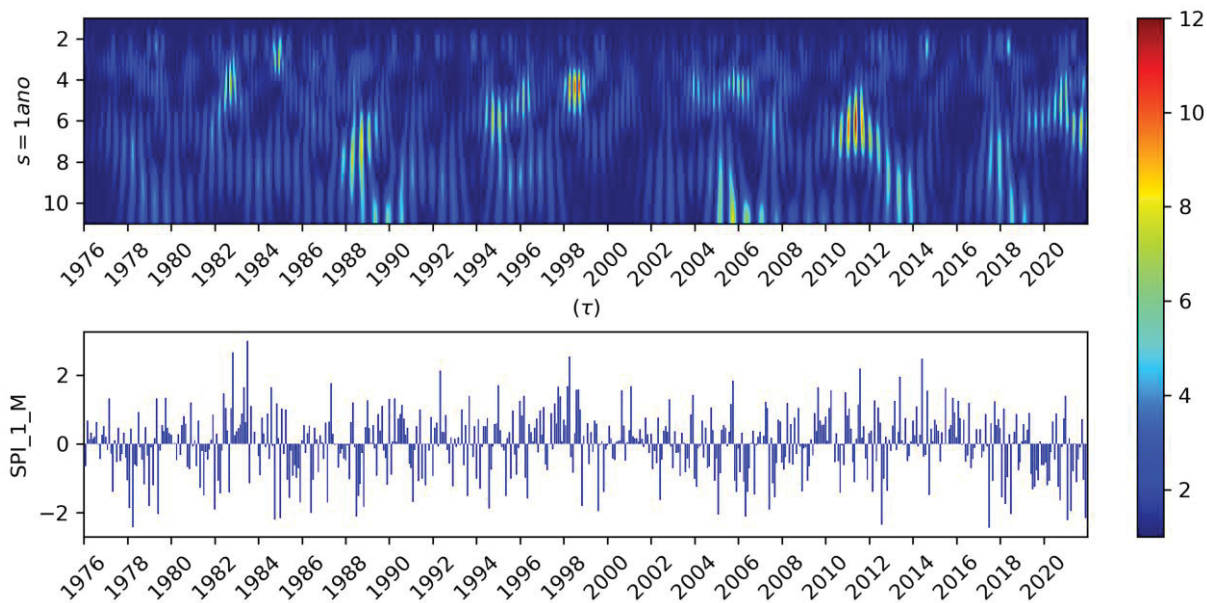
APÊNDICE H - PLOTAGEM DO SPI 1 E SPI 12 COM O PSA 1 NA SBM



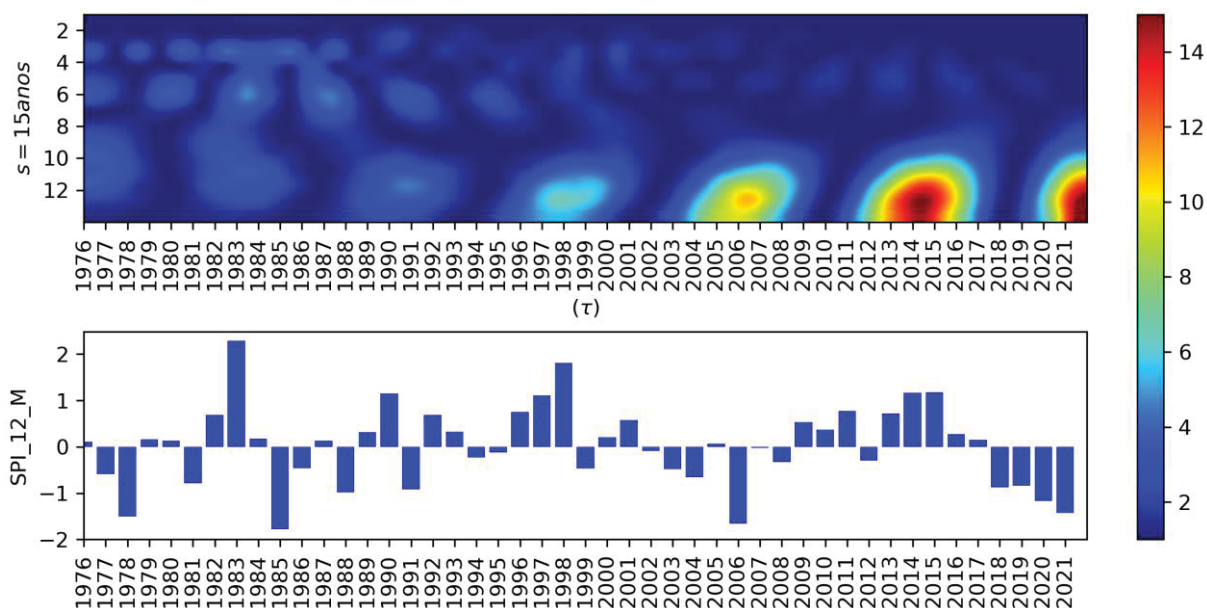
APÊNDICE I - PLOTAGEM DO SPI 1 E SPI 12 COM O AAO NA SBM



APÊNDICE J - TRANSFORMADA WAVELET DO SPI 1 DA SBM



APÊNDICE K - TRANSFORMADA WAVELET DO SPI 12 DA SBM



NUNES, J. P. NA HISTÓRIA: Vale do Iguaçu lembra os 34 anos da enchente de 1983. *Site online*. Vvale, 2017.