



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 9, nº 2 (2023)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n2ID32622>



Zoneamento e avaliação da severidade das estiagens entre os anos de 1961 até 2019 na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco com base em valores do Índice de Precipitação Padronizado

Zoning and assessment of the severity of droughts between the years 1961 to 2019 in the São Francisco River Basin based on Standardized Precipitation Index values

Ana Carine de Melo Silva¹; Fábio Farias Pereira²

¹ Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia – CTEC, Maceió/AL, Brasil. E-mail: carinemelo01@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1309-4857>

² Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias – CECA, Rio Largo/AL, Brasil. E-mail: fabio.pereira@ceca.ufal.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5678-6730>

Resumo: Esta pesquisa buscou avaliar a ação do fenômeno da seca na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e indicar a severidade das estiagens ocorridas em toda extensão territorial da Bacia entre os anos de 1961 até 2019, bem como mapear estas áreas de estiagens. Para a determinação da severidade das secas foi utilizado o Índice de Precipitação Padronizado (SPI). Foram utilizados os dados de precipitação das estações pluviométricas, do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para a realização do cálculo do índice de estiagem, foi utilizado um software de linguagem de programação. Os resultados desta pesquisa mostraram que embora a região do Alto São Francisco possua valores elevados de precipitação acumulada, ela se destaca quanto ao SPI3, secas de curto prazo, de forma contrária no Baixo São Francisco, que mostrou menores incidências de secas de curto prazo. De modo que as secas de longa duração, relacionadas ao SPI 12 e SPI24 foram observadas no Submédio e Médio São Francisco. Através da Análise de Cluster foi verificada a existência de similaridade entre postos pluviométricos alocados dentro de regiões distintas da bacia quando observadas nos parâmetros das variáveis da seca.

Palavras-chave: Índice de Precipitação Padronizado; Bacia do São Francisco; Secas.

Abstract: This research sought to evaluate the action of the drought phenomenon in the São Francisco River Basin and to indicate the severity of the droughts that occurred in the entire territorial extension of the Basin between the years 1961 to 2019, as well as to map these areas of drought. To determine the severity of droughts, the Standardized Precipitation Index (SPI) was used. Precipitation data from pluviometric stations, from the National Institute of Meteorology (INMET) database, were used. To perform the calculation of the drought index, a programming language software was used. The results of this research showed that although the Upper São Francisco region has high values of accumulated precipitation, it stands out in terms of SPI3, short-term droughts, contrary to the Lower São Francisco, which showed lower incidences of short-term droughts. Thus, long-lasting droughts, related to SPI 12 and SPI24, were observed in the Sub-Medium and Middle São Francisco. Through Cluster Analysis, the existence of similarity between pluviometric stations allocated within different regions of the basin was verified when observed in the parameters of the drought variables.

Keywords: Standardized Precipitation Index; San Francisco Basin; Droughts.

1. Introdução

Os recorrentes fenômenos da seca estão entre os desastres naturais mais prejudiciais do mundo, os mesmos causam danos à plantações, ecossistemas naturais e suprimento de água (ZHAO, T.; DAI, 2015). A seca é um fenômeno natural que pode ocorrer em variadas zonas climáticas (GONÇALVES *et al.*, 2021).

A natureza desse fenômeno varia de forma espacial e temporal, e reflete em intrínsecas características climáticas, meteorológicas, hidrológicas e socioeconômicas (GE; APURV; CAI, 2016). Sabe-se que as secas, são caracterizadas em função da sua duração, severidade e extensão geográfica (AWAN; BAE, 2016).

As bacias hidrográficas têm sido amplamente atingidas pelos eventos de seca. A exemplo se tem a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, predominantemente semiárida, localizada no nordeste brasileiro. A mesma atende a 70% da população inserida em seu território e é responsável por cerca de 13% da demanda elétrica brasileira. Esses indicadores de função e representatividade mostram que as condições de seca na bacia são catastróficas para a demanda de água. Esses eventos de seca também causam impactos de curto e longo prazo, como pastagem escassa para animais, e esgotamento de água nos reservatórios, respectivamente (PAREDES TREJO *et al.*, 2016).

Inseridos nesse contexto, tem-se os índices de estiagem, que são utilizados por pesquisadores em estudos sobre secas (DAS *et al.*, 2016). Através dos índices é possível analisar os impactos e a severidade da seca (ZHAO, Q. *et al.*, 2018). Dentre estes índices, o SPI, desenvolvido por Mckee *et al.* (1993), é comumente utilizado para avaliar a severidade das estiagens, com a utilização dos dados de precipitação.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a ação do fenômeno da seca na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e indicar a severidade das estiagens ocorridas em toda extensão territorial da Bacia entre os anos de 1961 até 2019, através do cálculo do SPI3, SPI12 e SP24 e do mapeamento destas áreas de estiagem.

Desta forma, em decorrência da necessidade de inclusão na comunidade científica de trabalhos que estudam o mapeamento de zonas de estiagens com mudanças em SPI dentro das Bacias hidrográficas por meio de análises regionais, e da indicação da severidade da concentração e expansão das áreas atingidas por este fenômeno através de análises locais, por meio de agrupamentos. O presente trabalho tenciona a esta contribuição.

2. Metodologia

Área de estudo

A Bacia do Rio São Francisco (Figura 1) possui uma área de drenagem de 639.219 km², o equivalente a 7,5% do país, com uma vazão média de 2.850 m³/s (CBHSF, 2021).

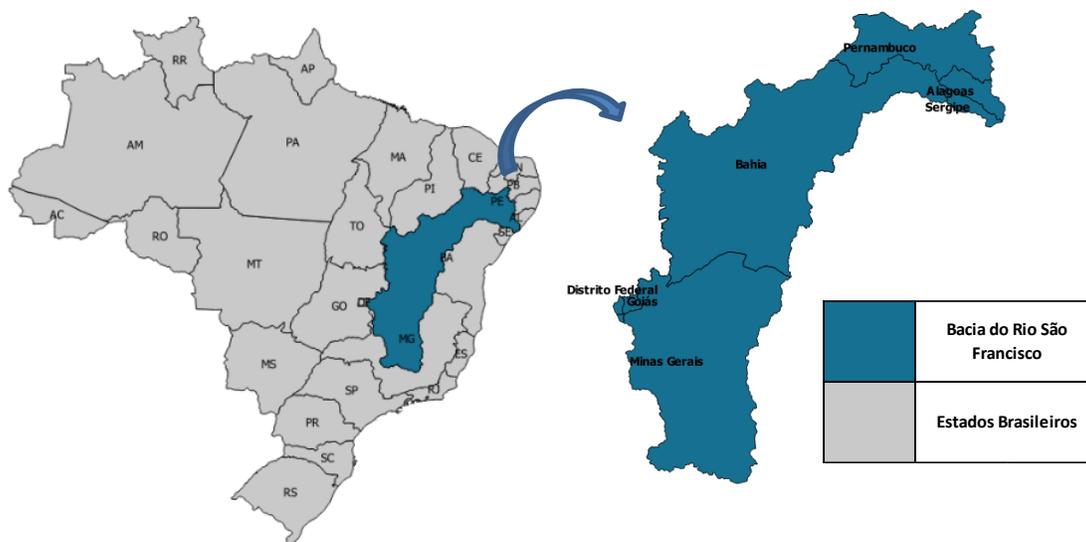
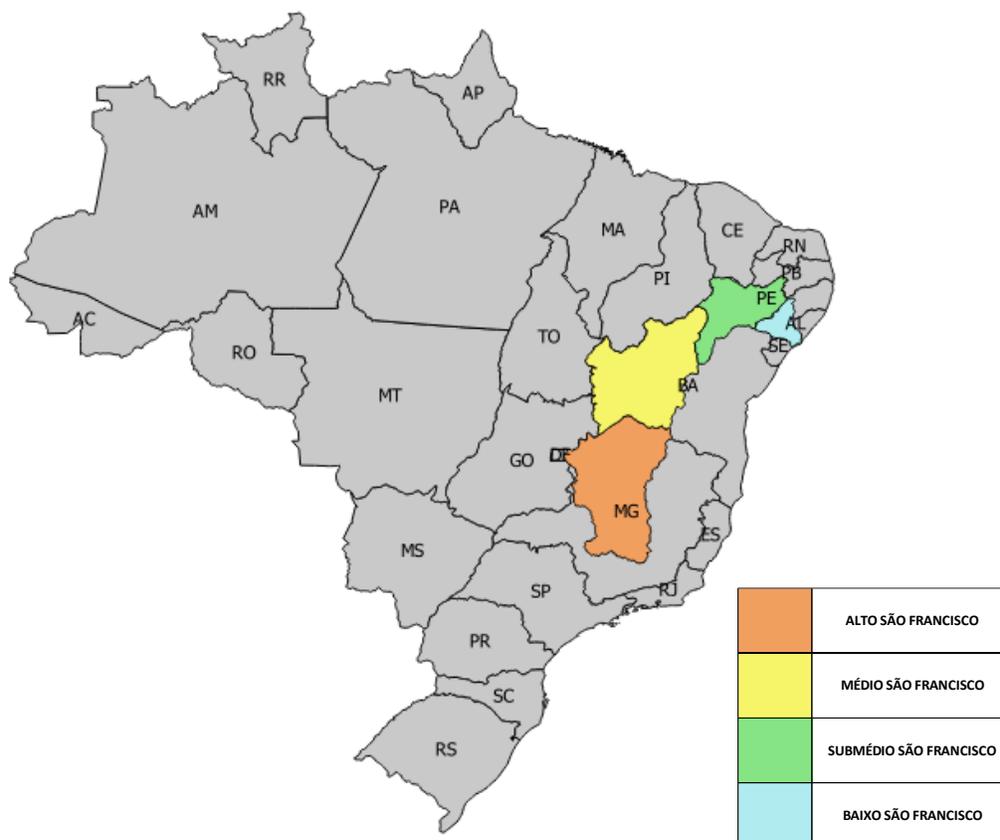


Figura 1 – Bacia do Rio São Francisco.
Fonte: Autor (2022).

Parte dos estados está localizado sob a área da bacia como, Bahia (48,2%), Minas Gerais (36,8%), Pernambuco (10,9%), Alagoas (2,2%), Sergipe (1,2%), Goiás (0,5%), e o Distrito Federal (0,2%), e ainda acomoda um total de 505 municípios, cerca de 9% do total de municípios do país. Esta bacia possui quatro divisões em função das suas regiões, as quais são: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco (Figura 2).



*Figura 2 – Divisões da Bacia do Rio São Francisco
Fonte: Autor (2022).*

O clima da Bacia do Rio São Francisco possui uma variabilidade entre úmido e árido com temperatura média anual com variação entre 18 e 27 °C. Enquanto que apresenta uma pluviosidade média anual de 1036 mm, com valores mais altos nas nascentes do rio, da ordem de 1400 mm, e com valores mais baixos entre Sento Sé e Paulo Afonso, na Bahia, com um valor de 350 mm. O trimestre mais chuvoso é de novembro a janeiro, contribuindo com 55 a 60% da precipitação anual, enquanto o mais seco é de junho a agosto. E a sua evapotranspiração média é de 896 mm/ano, apresentando valores elevados entre 1400 mm (sul) a 840 mm (norte) (CBHSF, 2021).

Descrição dos dados

Foram utilizados os dados de precipitação das estações pluviométricas do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O período de dados utilizados foi entre os anos de 1961 até 2019, em função da escolha de períodos chuvosos interdecadais, períodos de chuva que chegam a perdurar por mais de uma década, verificando assim a constância e justificativa de fenômenos associados a estes períodos. No presente trabalho foram utilizadas 17 estações pluviométricas, para garantir a representatividade de dados, ou seja, para garantir a série histórica de dados necessária ao

índice. Através da Figura 3 é possível visualizar a acumulação de precipitação na extensão territorial da Bacia entre os anos de 1961 até 2019.

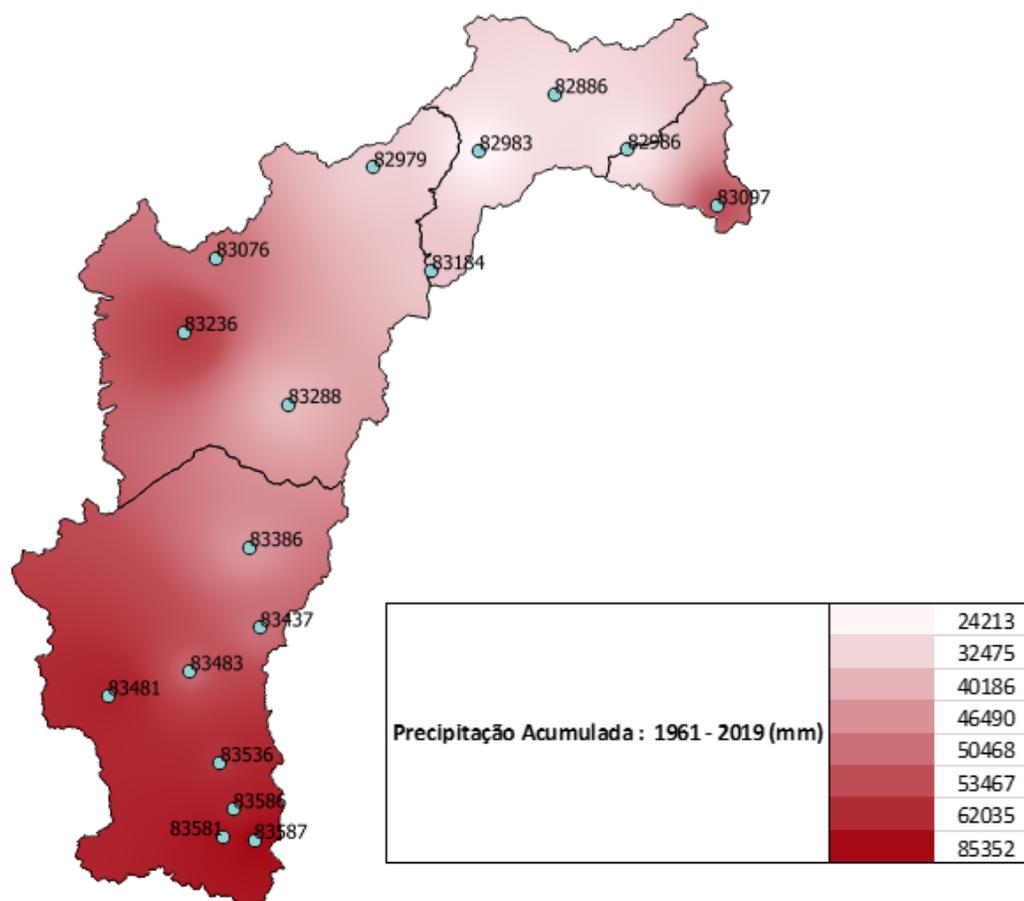


Figura 3 – Precipitação Acumulada

Fonte: Autor (2022).

Procedimentos

Índice de Precipitação Padronizado (SPI)

O Índice de Precipitação Padronizado foi proposto por Mckee *et al.* (1993) e é uma ferramenta utilizada operacionalmente como um sistema nacional ou regional de monitoramento das secas (MAHFOUZ *et al.*, 2016). Esta ferramenta monitora a seca por meio da utilização de dados de precipitação. O índice SPI permite o monitoramento de períodos úmidos e secos. O mesmo é calculado para avaliar o comportamento da água em reservatórios, fluxos de rios, na umidade dos solos e em águas subterrâneas (MCKEE *et al.*, 1993). Este índice é baseado na definição de que a precipitação é estatisticamente uma distribuição assimétrica, e não uma distribuição normal (YAN *et al.*, 2017).

O valor do SPI é a função Normal inversa Gaussiana aplicada a essa probabilidade (SOUSA *et al.*, 2016). O fenômeno seca ocorre no período em que o SPI é continuamente negativo, quando passa a ser positivo, o evento de seca é cessado (MCKEE *et. Al* 1993). A Tabela 1 a seguir, exhibe a classificação da seca com base nos valores de SPI.

Tabela 1 – Classificação da Seca baseada no SPI.

Classificação do SPI	
Valores de SPI	Classificação da Seca
0 a -0,99	Seca leve
-1,00 a -1,49	Seca moderada
-1,50 a -1,99	Seca severa
≤ - 2,00	Seca extrema

Fonte: Adaptado de Mckee 1993.

Outro fator importante na análise do SPI é a escala temporal, pois os tipos de secas estão associados diretamente às escalas temporais do SPI, estas escalas são a de 3, 6, 9, 12 e 24 meses. O SPI-3 reflete as condições de água no solo em um prazo curto e médio, e fornece a estimativa da precipitação sazonal, é utilizado para representar a seca de curto prazo e para verificar a sensibilidade da umidade do solo, bem como o estresse hídrico e quebra de safras agrícolas (ADARSH, 2018; ADNAN, 2021). O SPI-6 faz relação às anomalias das vazões de rios e reservas de água. O SPI-9 indica os padrões de precipitação, ao levar em consideração que as secas podem chegar a demorar um ano ou mais para ocorrerem. O SPI-12 e SPI-24 se associam à escassez de água em forma de vazão, e aos níveis de água dos lençóis subterrâneos (VALTER *et al.*, 2012). Os autores Mateus e Antonio (2020), afirmam que a escala de 12 meses é usualmente utilizada para análises de secas meteorológicas e hidrológicas. Assim, a utilização desse intervalo de tempo evita as variações interanuais e possibilita a identificação dos principais períodos secos (MATEUS; ANTONIO, 2020).

Segundo Guerreiro *et al.* (2008), os principais períodos secos podem ser identificados a partir da análise do SPI 24. O SPI com escala temporal de 24 meses representa picos, desta forma, ao se identificar picos nesta escala, o SPI 3 e 12 também devem ser calculados, tendo em vista que estes valores de picos, ocorrem após a ligeira diminuição desses valores de SPI (GUERREIRO; LAJINHA; ABREU, 2008).

Desta forma, a partir dos resultados obtidos para o SPI3, 12 e 24 meses os mapas de estiagem são gerados. Os mapas de estiagem são utilizados para fornecer uma visão geral dos respectivos pontos de seca e um panorama das áreas mais atingidas (SPINONI, 2013). Esses mapas são um componente essencial no quesito de gestão do risco da ocorrência de seca, através deles é possível exibir a diferença regional da gravidade do fenômeno da seca (BLAUHUT; GUDMUNDSSON; STAHL, 2015).

Análise de Clusters

Sabe-se que a análise de Cluster é uma técnica estatística usada para classificar elementos em grupos, baseado nas características que estes elementos possuem (OLIVEIRA, 2020). De tal forma que os elementos dentro de um mesmo cluster sejam parecidos, enquanto que esses mesmos cluster sejam distintos entre si. Na análise de Cluster se tem os dendrogramas, que são diagramas de árvores que exibem os grupos formados através de agrupamentos de variáveis em etapas e níveis de similaridade. O eixo vertical do dendrograma marca o nível de similaridade, ou o nível de distância, e o eixo horizontal marca as variáveis.

Para visualizar o nível de similaridade e distância das características das estações quanto a classificação do SPI, foram criados dendrogramas para estas visualizações. O método utilizado foi o de Ward, a fim de minimizar a variação intragrupos e maximizar a variação entre grupos. O método de Ward é um agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade utilizada para unir agrupamentos é calculada a partir da soma de quadrados entre os agrupamentos feita sobre todas as variáveis. Este método inclina-se a resultar em agrupamentos de tamanhos aproximadamente iguais em função da minimização da variação interna (SEIDEL *et al.*, 2008).

3. Resultados e discussão

Análises de Padrões Regionais de SPI – Mapas de estiagem

Com a análise dos mapas de estiagem referente a um curto prazo (Figura 4), ou seja, 3 meses com o auxílio do SPI3. Foi possível verificar que mesmo nas décadas de suavidade do fenômeno da seca a região do alto ainda, mesmo que em pontos específicos como na região de Minas Gerais o fenômeno da seca se fazia presente, a região do alto São Francisco foi a que teve ocorrência da seca em todas as 6 décadas. Ao longo das décadas estudadas alguns pontos da região do médio São Francisco demonstrava baixas variações de precipitação, tendo em vista que através dos mapas em torno da estação

83288 localizada no estado da Bahia permanecia sem a ocorrência do fenômeno da seca, contudo mesmo sendo uma região com variações inferiores às regiões supracitadas, ainda foi uma região com ocorrência de seca.

Desta forma, pode-se destacar que de forma ordenada e decrescente as regiões mais atingidas pela seca através da análise do SPI3 foram as regiões do Alto, posteriormente do submédio, médio e por fim a do baixo São Francisco.

Na totalidade da Bacia visualiza-se que as duas primeiras décadas foram marcadas por maiores eventos de seca, entre os anos de 1961 até 1980, há uma predominância de secas moderadas e severas. Após estas duas décadas iniciais é possível verificar um início de suavização desse fenômeno, iniciando com uma predominância de secas leves, e posteriormente com um aumento de áreas sem a ocorrência de seca, mais especificamente na quinta década há essa suavização do fenômeno da seca. Contudo, na última década em análise é possível verificar o retorno do estresse hídrico na bacia, sendo uma década com eventos de secas moderadas e severas.

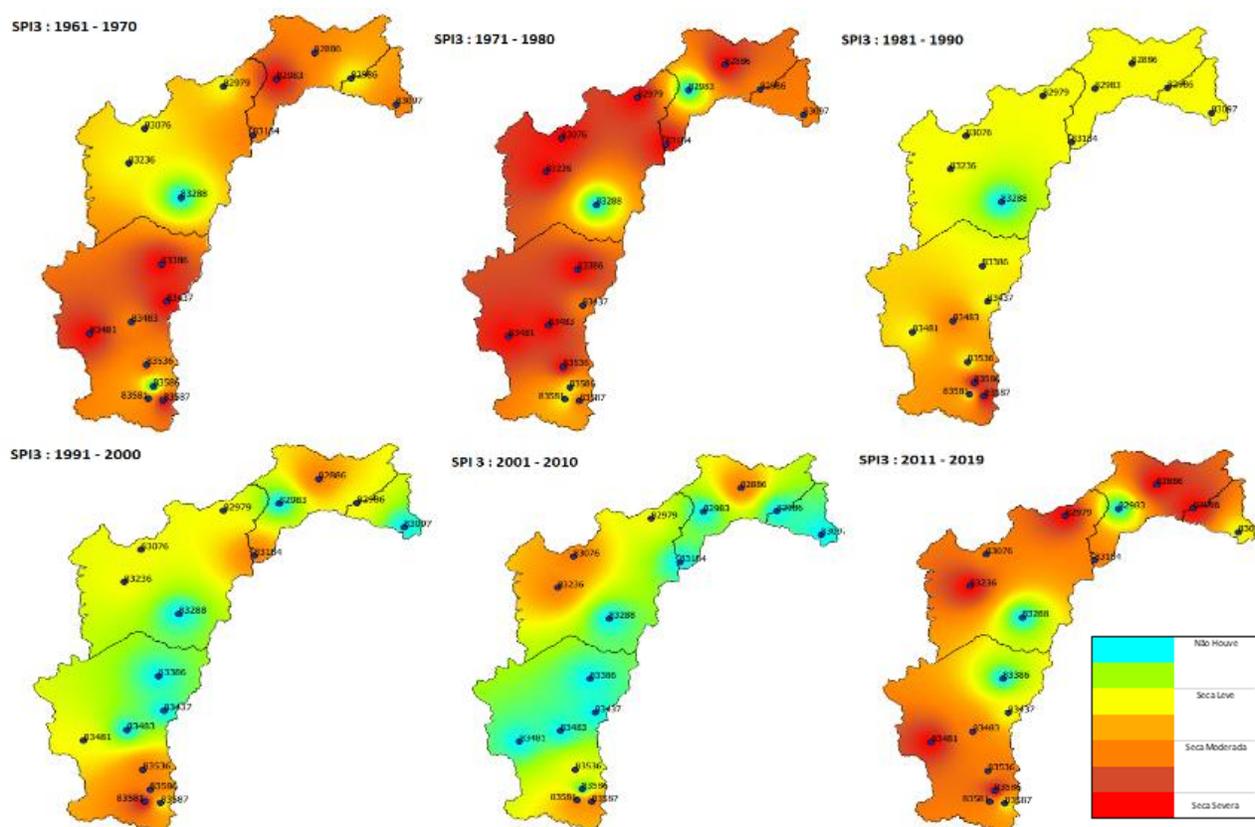


Figura 4 – Mapas de Estiagens: SPI3
Fonte: Autor (2022).

Referente aos mapas de estiagem do SPI12 (Figura 5) verifica-se que as duas primeiras décadas foram marcadas por maiores eventos de seca, entre os anos de 1961 a 1980 há uma predominância de secas moderadas e severas em todas as regiões. Verifica-se também uma suavização desse fenômeno nas duas décadas subsequentes, entre os anos de 1981 a 2000, exceto entre as essas décadas, as secas leves e moderadas de longo prazo ocorrentes no alto e submédio são Francisco. A quinta década, entre os anos de 2001 a 2010 mostrou-se com menores eventos de secas se comparada as demais, intensificando apenas as secas leves do alto e médio são Francisco. Na última década em análise, como já mostrado pelo SPI3, verifica-se uma década com maiores variações da precipitação e eventos de seca, especificamente as secas severas do submédio são Francisco e as moderadas do alto são Francisco.

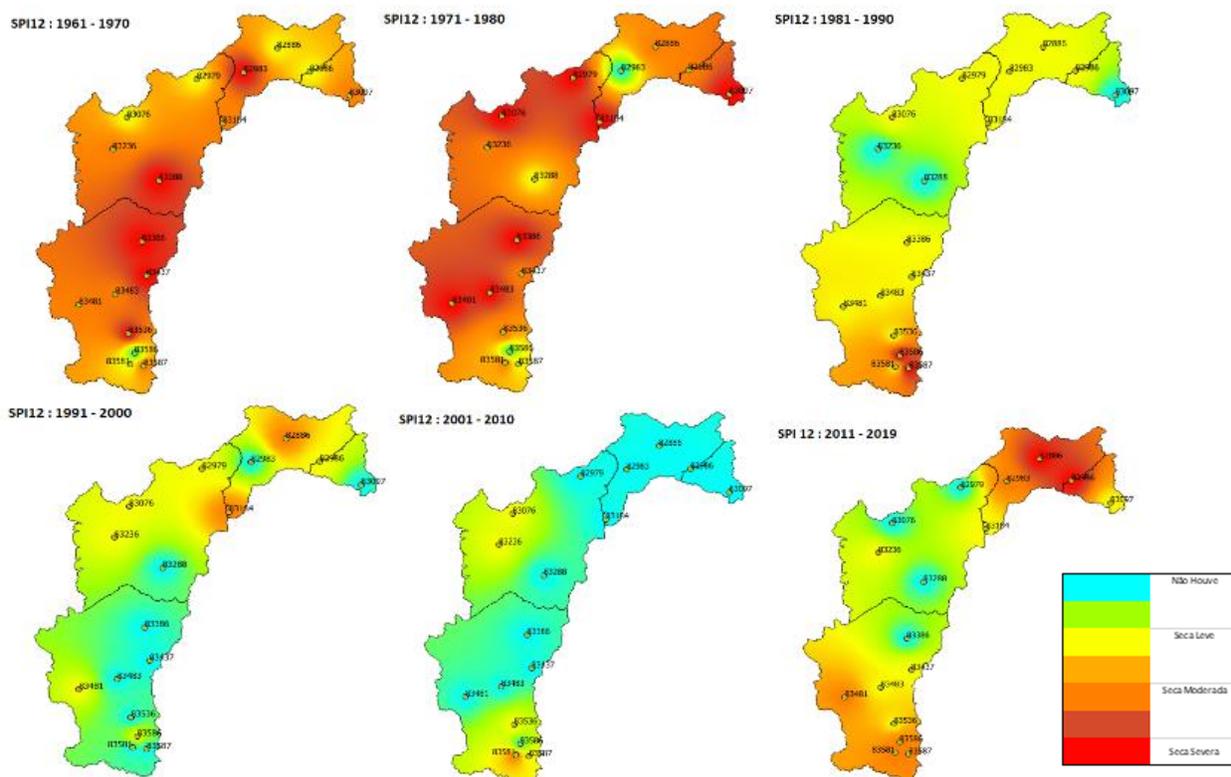


Figura 5 – Mapas de Estiagens : SPI12
 Fonte: Autor(2022).

Na análise do SPI24 (Figura 6) verifica-se indicação das secas de longo prazo de intensidade de moderadas a severas nas regiões do alto, médio e submédio São Francisco na primeira década em análise. De forma semelhante, esta análise se repete para a segunda década, com a intensificação da seca nas regiões do baixo, médio e alto São Francisco. De acordo com a análise que mostra a suavização do fenômeno da seca nas quartas e quintas décadas e um retorno de incidência do fenômeno na sexta década.

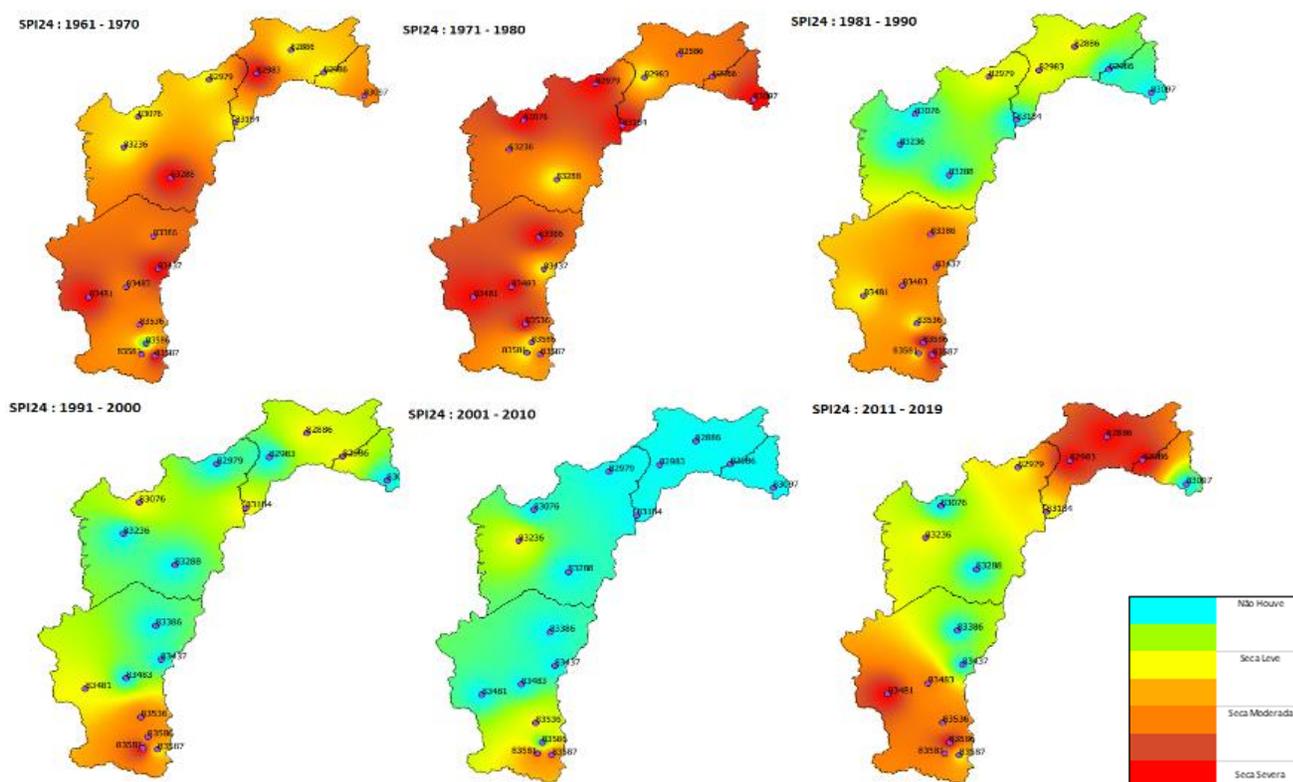


Figura 6 – Mapas de Estiagens: SPI24
 Fonte: Autor (2022).

Estudos como o de Paredes-Trejo (2021) também mostram a ocorrência do fenômeno da seca nas últimas décadas, para o autor ao longo da extensão da bacia os eventos de seca têm aumentado. Eventos estes, segundo o autor, ligados a sistemas climáticos distintos modulados pelas condições EL Niño – Oscilação SUL (ENSO), anomalias da temperatura da superfície do mar (SST) no atlântico tropical, Oscilação Decadal do Pacífico que implicam em complicações nos setores agrícolas e hidrelétrico. Ainda segundo o autor em seu estudo, as secas que ocorreram entre os anos de 1980 a 2015 coincidiram com o fenômeno El-Niño e Anomalias no Atlântico Tropical. (PAREDES-TREJO, 2021).

Gurjão (2012) também destaca em seu trabalho a relação das secas e da variabilidade no volume de chuvas na região semi-árida na Bacia do Rio São Francisco com o El-Niño. Ainda destaca que sistemas atmosféricos de escala sinótica como os vórtices ciclônicos de altos níveis podem alterar substancialmente o impacto deste fenômeno, favorecendo ou inibindo o desenvolvimento de sistemas precipitantes intensos (GURJÃO, 2012).

Em anos de ocorrência de El-Niño há um aumento de precipitação nas regiões do Alto e Médio São Francisco, em contrapartida uma redução no baixo São Francisco. Quando há ocorrência de La-Niña estes aumentos e reduções de precipitação ocorrem de forma contrária (GALVÍNCIO; SOUSA, 2002; SILVA; GALVÍNCIO; NÓBREGA, 2009)

De modo geral nos anos de ocorrência de El-Niño há seca na região semi-árida do Nordeste do Brasil e região nordeste da bacia, ou seja, no Baixo São Francisco. Enquanto que em anos de La-Niña há eventos de seca nas regiões do Alto e Médio São Francisco. Verifica-se que em anos de El-Niño a Bacia do Rio São Francisco produz mais água do que em anos de La-Niña (GALVÍNCIO; SOUSA, 2002; SILVA; GALVÍNCIO; NÓBREGA, 2011).

De acordo com Silva (2005), os fenômenos El-Niño e La Niña interferem sensivelmente no clima da região, proporcionando períodos de secas e períodos úmidos com frequência irregular (SILVA,2005).

Quanto às questões climáticas das regiões da bacia, destaca-se que a região do Alto são Francisco tem um clima tropical semi-úmido e temperado em alguns locais, a do médio são Francisco tropical semi-árido com chuvas no verão, a do submédio tipicamente semi-árido, e a do baixo tropical semi-úmido. A pluviosidade na extensão territorial da bacia apresenta média anual de 1.036 mm, sendo os mais altos valores de precipitação da ordem de 1.400 mm, ocorrentes nas nascentes do rio e, os mais baixos, cerca de 350 mm, entre Sento Sé e Paulo Afonso, na Bahia. O trimestre mais chuvoso

é de novembro a janeiro, contribuindo com 55 a 60% da precipitação anual, enquanto o mais seco é de junho a agosto (CBHSF).

Dendrogramas - SPI3/SPI12/SPI24

Dentro de cada grupo para as variáveis da seca, é possível visualizar as distâncias e níveis de similaridade entre as estações.

Através dos dendrogramas da frequência para o SPI3, SPI12 e SPI24 (Figura 7), é possível visualizar as estações em cada grupo que possuem números de eventos de secas semelhantes, e os grupos de estações que possuem frequência de eventos de seca distintos.

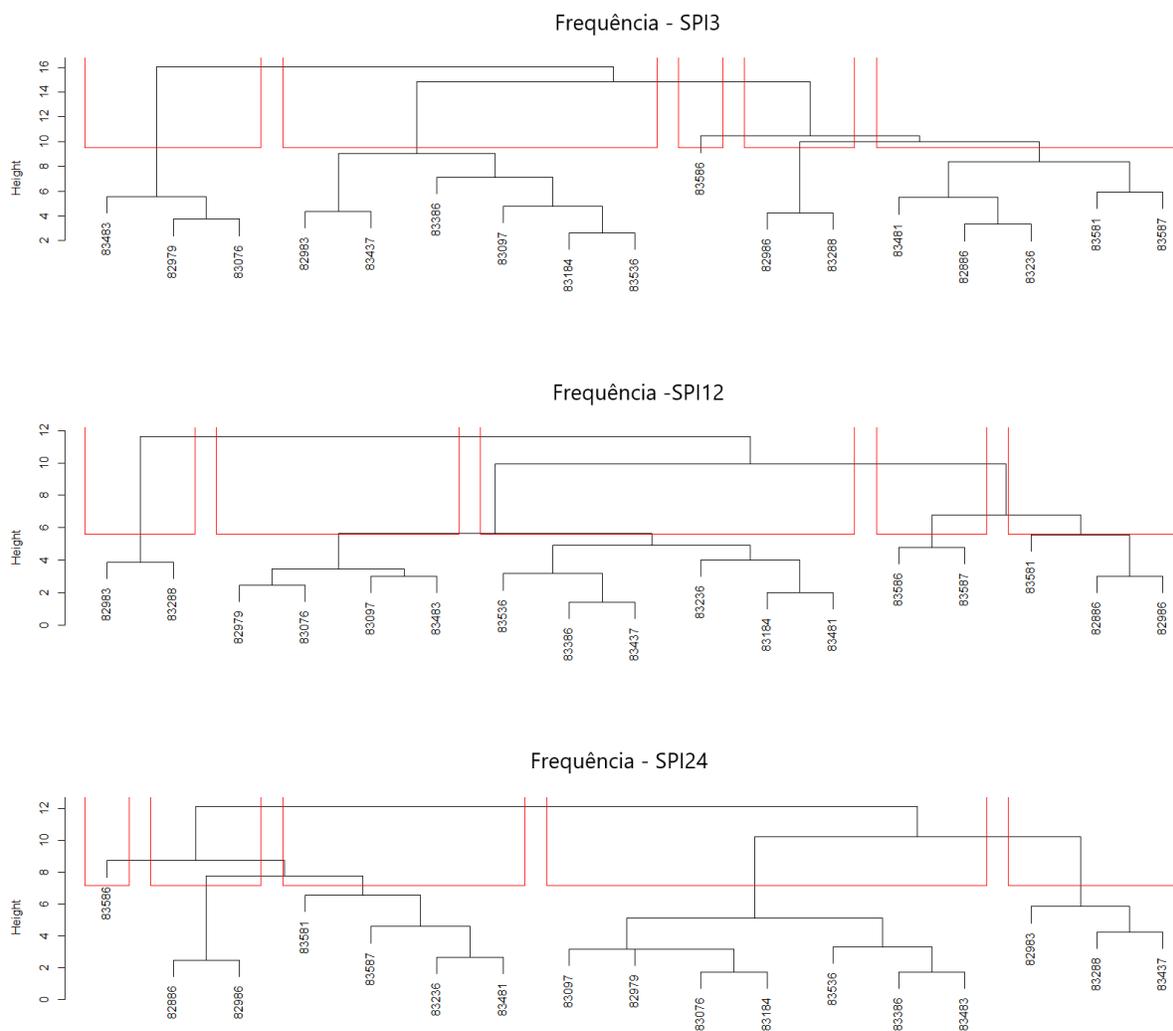


Figura 7 – Dendrogramas Frequência
 Fonte: Autor (2022).

Através dos dendrogramas da duração para o SPI3, SPI12 e SPI24 (Figura 8) é possível visualizar as estações em cada grupo que possuem duração dos eventos de seca semelhantes, e os grupos de estações que possuem duração de eventos de seca distintos.

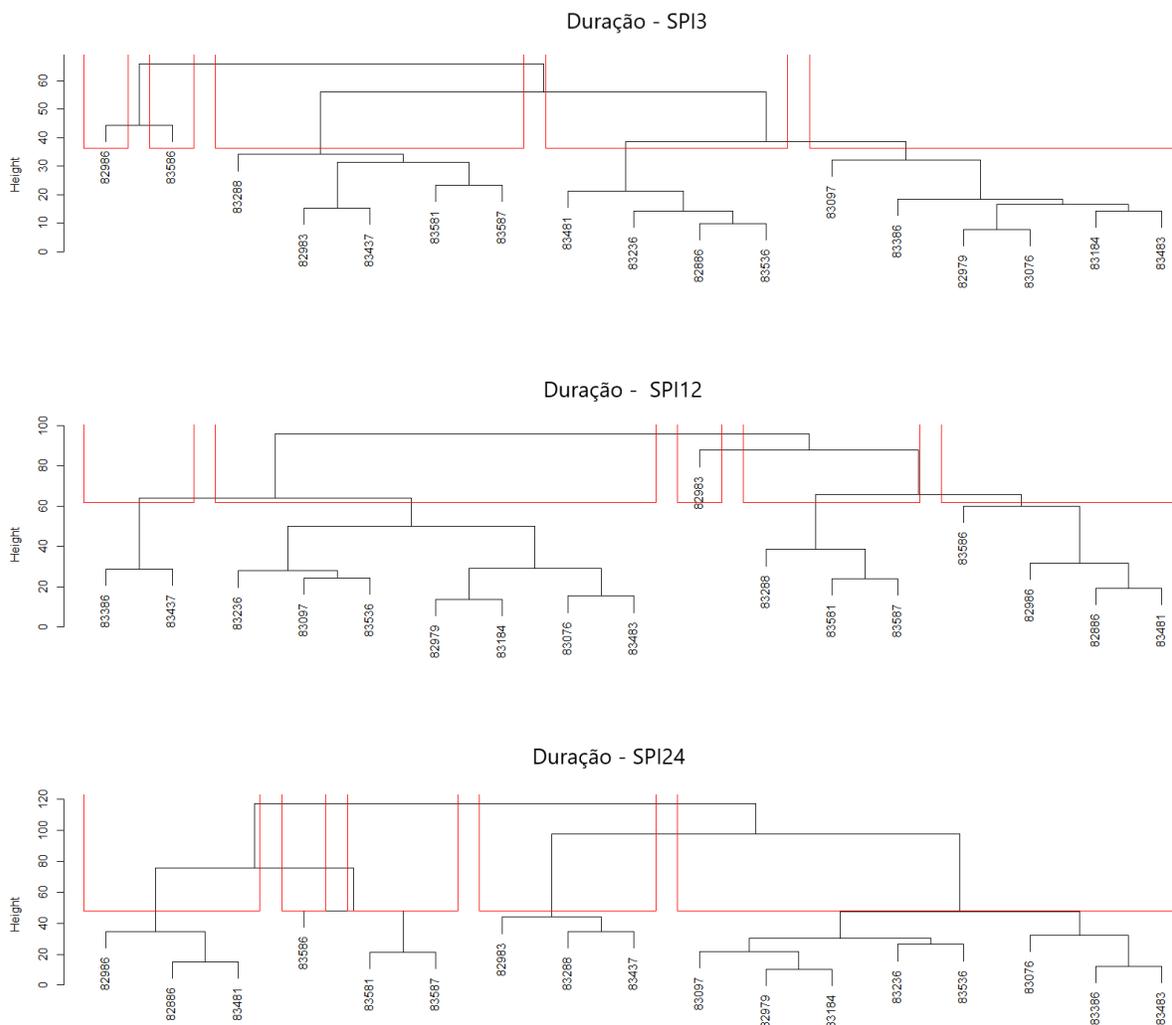


Figura 8 – Dendrogramas Duração
 Fonte: Autor (2022).

Através dos dendrogramas da severidade para o SPI3, SPI12 e SPI24 (Figura 9) é possível visualizar as estações em cada grupo que possuem valores de severidade de seca semelhantes, e os grupos de estações que possuem severidade de seca distintos.

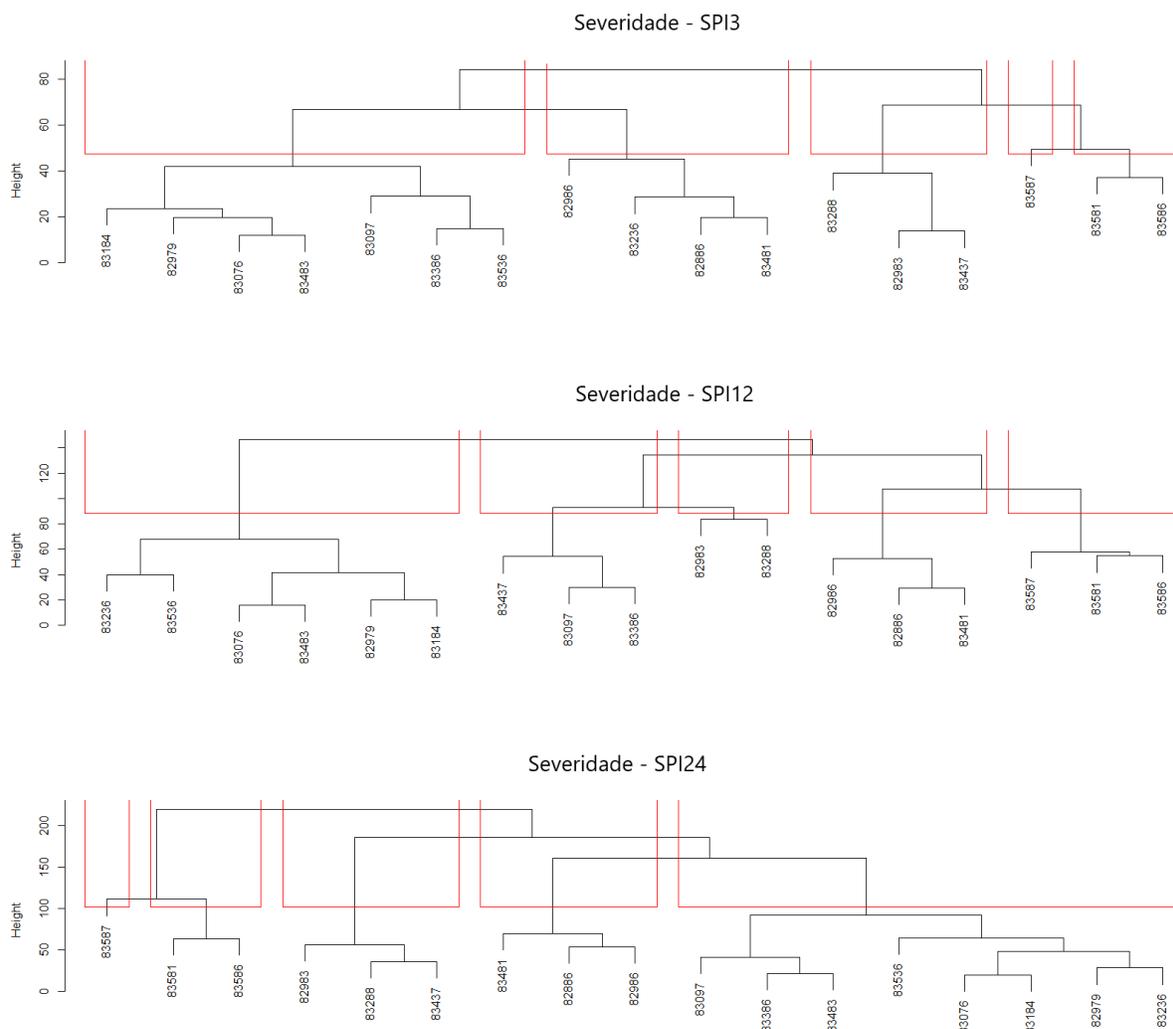


Figura 9 – Dendrogramas Severidade
Fonte: Autor (2022).

4. Considerações finais

Para o SPI3 conclui-se que as secas de curta duração e com impacto nas variações de precipitação e umidade do solo, de forma decrescente, ocorreram nas regiões do Alto São Francisco, posteriormente na do Submédio, passando para o Médio, e por fim para a região do Baixo São Francisco. As décadas mais críticas destas secas de curto prazo foram a primeira, segunda e sexta década, mostrando grande suavização do fenômeno na quinta década. Analisa-se também que foi na segunda e sexta década que apresentaram maior intensificação das variáveis frequência e duração.

Na análise do SPI12 e SPI24 a incidência de secas hidrológicas, secas de longo prazo ocorreram ao longo da primeira, segunda e sexta década. Ao longo dessas décadas foi intensificado a ocorrência da seca de forma duradoura nas regiões do Alto, Médio e Submédio São Francisco.

Embora a região do Alto São Francisco tenha valores elevados de precipitação acumulada, ela se destacou no SPI3, indicando grande ocorrência de secas de curto prazo nessa região. Destaca-se também que nas regiões do Submédio e Médio São Francisco, analisadas através do SPI12 e SPI24, as secas de longa duração são predominantes. Nestas regiões

as secas mais recorrentes possuem duração elevada. Embora a região do Alto São Francisco tenha se destacado quanto ao SPI3, na análise do SPI12 e SPI24 mostra-se a ocorrência de secas duradouras também nesta região, porém com intensidade menor que as do SPI3, secas de curto prazo. Estas secas estão relacionadas a condições de sistemas climáticos como o El-Niño e La-Niña.

Desta forma, através dos mapas de ocorrência dos eventos da seca verifica-se que as secas incidentes na bacia em estudo ocorrem de maneira predominante nas regiões do Alto, Médio e Submédio São Francisco, com destaque para a região do Alto, por ter sido bastante indicada. Através da Análise de Cluster, por meio dos dendrogramas visualiza-se que as estações pluviométricas que possuem características semelhantes não necessariamente pertencem à mesma região da BHSF. Através dos grupos formados é possível verificar agrupamentos entre estações pluviométricas que ficam localizadas em regiões distintas dentro da bacia.

Agradecimentos

À Deus por todo amor e misericórdia. À família por todo apoio e incentivo. Ao corpo docente da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E aos colegas de turma da UFAL.

Referências

- Adarsh, S.; Reddy, M. J. Evaluation of trends and predictability of short-term droughts in three meteorological subdivisions of India using multivariate EMD-based hybrid modelling. *Hydrological Processes*. v. 33, p. 130–143, 2019.
- Awan, J. A.; Bae, D. H. Features and interdecadal variability of droughts in the homogeneous rainfall zones over the East Asian monsoon region. *International Journal of Climatology*. v. 36, n. 4, p. 1943–1953, 2016.
- Campos, J. N. B. Paradigms and Public Policies on Drought in Northeast Brazil: A Historical Perspective. *Environmental Management*. v. 55, n. 5, p. 1052–1063, 2015.
- CBHSF. *Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – A Bacia*. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acesso em fevereiro 2021.
- Das, P. K. *et al.* Trends and behaviour of meteorological drought (1901-2008) over Indian region using standardized precipitation-evapotranspiration index. *International Journal of Climatology*. v. 36, n. 2, p. 909–916, 2016.
- Galvêncio, J. D.; Sousa, F. A. S. Relação entre o fenômeno El Niño e os Totais Mensais Precipitados na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 7, p. 113-119, 2002.
- Ge, Y.; Apurv, T.; Cai, X. Spatial and temporal patterns of drought in the Continental U.S. during the past century. *Geophysical Research Letters*. v. 43, n. 12, p. 6294–6303, 2016.
- Gonçalves, S. T. *et al.* Índices e Metodologias de Monitoramento de Secas: Uma revisão. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v. 36, n. 3, p. 495-511, 2021.
- Guerreiro, M. J.; Lajinha, T.; Abreu, I. Flood Analysis with the Standardized Precipitation Index (SPI). *Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia. Porto*. v. 4, p. 8–14, 2008.
- Gurjão, C. D. S. *et al.* Influência do Enos (El Niño-Oscilação Sul) no Regime Hidrológico do Rio São Francisco: uma Análise em Regiões com Fortes Pressões Antrópicas. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v. 04, p. 774-790, 2012.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. *Dados Pluviométricos*. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/> .
- Mahfouz, P. *et al.* Investigating the temporal variability of the Standardized Precipitation Index in Lebanon. *Climate*. v. 4, n. 2, 2016.
- Mateus, N. P. A.; Antônio, J. F. Seca no sul da Angola: Uma avaliação do episódio extremo de 2018/2019. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. v. 09, p. 24-45, 2020.

-
- Mckee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Paper Presented at 8th Conference on Applied Climatology. *American Meteorological Society*, 1993.
- Oliveira, J. B. Uma análise da eficiência e eficácia nas Universidades Federais brasileiras (2009-2018). Dissertação de Mestrado. Recife, 78 p., 2020.
- Paredes Trejo, F. *et al.* Main features of large-scale oceanic-atmospheric circulation related to strongest droughts during rainy season in Brazilian São Francisco River Basin. *International Journal of Climatology*. v. 36, n. 12, p. 4102–4117, 2016.
- Seidel, E. J. *et al.* Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. *Ciência e Natura*. v. 30, p. 7- 15, 2008.
- Silva, D. F.; Galvêncio, J. D.; Nóbrega, R. S. Influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos sobre sub-bacias do rio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*. n. 19, 2011.
- Sousa, F. De A. S. De *et al.* The Standardized Precipitation Index (SPI) in identifying extreme rainfall and droughts in the Paraguaçu River Basin (BA). *Ambiência*. v. 12, n. 2, p. 707–719, 2016.
- Spinoni, J. *et al.* World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010. *International Journal of Climatology*. v. 34, p. 2792-2803, 2014.
- Valter, R. *et al.* Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento Spatial analysis of drought events in the Piauí state based on standardized. p. 55–65, 2012.
- Yan, Z. *et al.* The spatio-temporal variability of droughts using the standardized precipitation index in Yunnan, China. *Natural Hazards*. v. 88, n. 2, p. 1023–1042, 2017.
- Zhao, Q. *et al.* The temporal-spatial characteristics of drought in the loess plateau using the remote-sensed TRMM precipitation data from 1998 to 2014. *Remote Sensing*. v. 10, n. 6, 2018.
- Zhao, T.; Dai, A. The magnitude and causes of global drought changes in the twenty-first century under a low-moderate emissions scenario. *Journal of Climate*. v. 28, n. 11, p. 4490–4512, 2015.