ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO DA BAHIA DURANTE O PERÍODO DE SECA 2011-2013

Érica Lima de Oliveira 1 [1] ; Rosangela Leal Santos [2], Thayse Lima de Brito Guimarães[3]

Lilian Graicy Lima Morais[4], Ana Paula dos Santos Melo[5], Neila Matias da Silva [6], Leticia Cerqueira Machado [7], Luciana Bezerra de Lima[8]

Palavras-Chave – Precipitação, Seca meteorológica; Variabilidade climática;

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de eventos extremos de precipitação é uma ferramenta essencial para a gestão sustentável de bacias hidrográficas e o planejamento de políticas públicas de convivência com o semiárido. No ano de 2012, o estado da Bahia registrou uma das estiagens mais rigorosas, cujos efeitos foram abarcados de forma drástica os sistemas produtivos de sequeiro, a economia familiar rural e as reservas hídricas.

Diante do impacto da anomalia climática global, o período foi marcado pelo desenvolvimento do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), cujos desdobramentos provocaram teleconexões atmosféricas com impactos de grandes proporções no regime pluviométrico do Brasil. Conforme apontam Marengo et al. (2013), a atuação do ENOS, combinada com o gradiente térmico inter-hemisférico do Atlântico Tropical, atua como o principal motor dinâmico na indução de secas severas e prolongadas na região Nordeste.

Nesse cenário, esta pesquisa tem o objetivo de analisar o comportamento espaço-temporal da seca de 2012 no estado da Bahia, fundamentando-se em indicadores estatísticos aplicados a municípios estrategicamente selecionados, de modo a caracterizar a intensidade, a severidade e a abrangência desse fenômeno em escala local.

2. METODOLOGIA

Para a análise da pesquisa, foi coletado os dados de precipitação, observações mensais distribuídas de maneira contínua entre os anos de 2011 e 2013, englobando municípios baianos de relevância socioeconômica e meteorológica.

Para isolar a flutuação sazonal nativa e permitir a comparação direta entre municípios de regiões distintos do Estado da Bahia, utilizou-se o cálculo do Índice de Anomalia Percentual de Precipitação (Anomalia). O cálculo estatístico de cada observação foi parametrizado rigorosamente pela formulação linear:

$$\text{Anomalia (\%)} = [\ (\ Pm,a - Phist\ ) / Phist\ ] \times 100 \quad (1)$$

1) Graduanda Bach. Em Geografia, Universidade Estadual de Feira de Santana limaerica005@gmail.com
2) Professora, Universidade Estadual de Feira de Santana rosaleal@gmail.
3) Doutoranda, Universidade Federal da Bahia, tlbguimaraes@uefs.br
4)Professora, Universidade Estadual de Feira de Santana lglmlima@uefs.br
5)Doutoranda, Universidade Estadual de Feira de Santana nina.melo16@gmail.com
6) Graduanda, Universidade Estadual de Feira de Santana, neneumatias@gmail.com
7) Graduanda Universidade Estadual de Feira de Santana lcerqueira.machado26@gmail.com
8) Mestranda Universidade Estadual de Feira de Santana lbl_aila@hotmail.com

Onde *Pm,a* é a precipitação acumulada medida no mês específico m do ano a para uma dada estação meteorológica, e *Phist* representa a média climatológica histórica (linha de base de 20 anos) estabelecida para o respectivo mês m.

A escolha deste índice justifica-se por três pilares: i) Normalização de escala, equalizando dados de municípios com regimes de chuva discrepantes; ii) Sinalização vetorial, onde valores nulos indicam conformidade climática e valores negativos quantificam o déficit hídrico; e iii) Padronização matricial, servindo de insumo homogêneo para as análises estatísticas subsequentes, cujos procedimentos operaram sob os seguintes critérios:

- Correlação de Pearson (r): Aplicada sobre as séries temporais das anomalias para mensurar o grau de associação linear e sincronismo temporal entre os municípios.

- Agrupamento Hierárquico (Método de Ward): Utilizou-se a distância Euclidiana quadrada sob o critério de variância mínima de Ward para gerar dendrogramas, identificando macro-regiões de comportamento homogêneo face à seca.

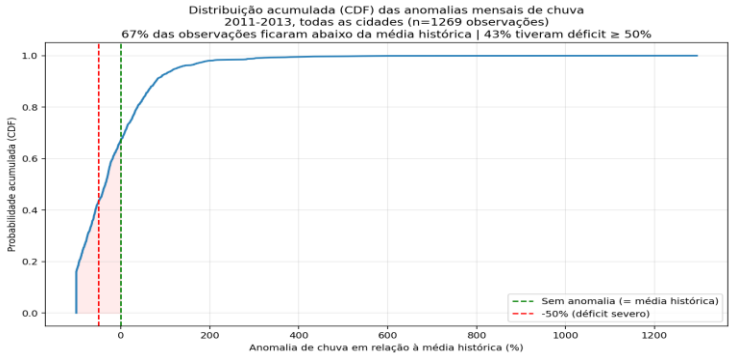
- Função de Distribuição Acumulada (CDF): Modelagem não paramétrica utilizada para calcular a probabilidade empírica de ocorrência e a frequência de severidade global dos déficits de chuva no estado.

- Diagramas de Caixa (Boxplots): Empregados mensalmente para diagnosticar a dispersão interquartílica intermunicipal, a simetria da estiagem e a detecção de valores discrepantes (outliers) causados por eventos convectivos isolados.

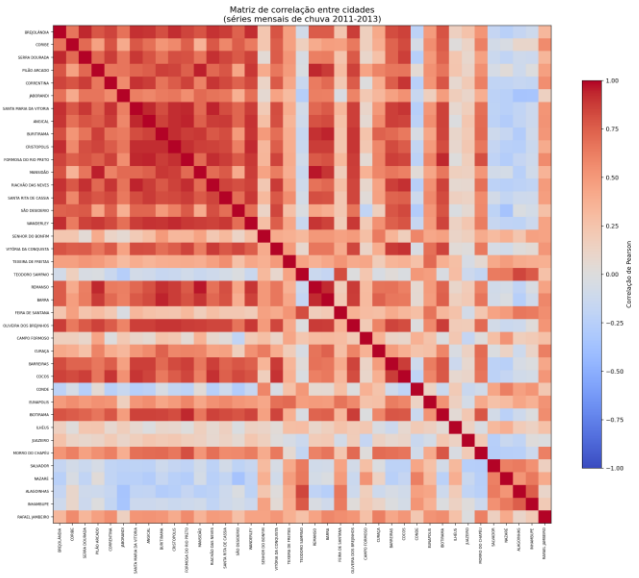
3. RESULTADOS

A análise dos dados de chuvas revela diretamente as consequências de dinâmicas atmosféricas de escala global que operaram de forma severa sobre a região Nordeste no período estudado. Conforme apontam Marengo et al. (2013), a seca de 2012 não configurou um evento isolado, mas sim o início de uma das estiagens plurianuais mais severas das últimas décadas, deflagrada tanto pela atuação do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) quanto pelo aquecimento anômalo das águas do Atlântico Tropical Norte. Esse bloqueio atmosférico impediu o avanço de sistemas produtores de chuva em direção ao interior do continente, gerando impactos socioeconômicos e ambientais sem precedentes.

Seguindo o mesmo pensamento de Marengo, o autor Gutiérrez et al. (2014) retrata que a extensão territorial e a velocidade de propagação desse déficit hídrico colocaram o estado da Bahia em permanente estado de emergência. A partir desse cenário macroclimático, os resultados obtidos por meio da aplicação do Índice de Anomalia Percentual permitem mensurar a exata dimensão, severidade e distribuição espacial desse fenômeno no território baiano. Os resultados obtidos a partir do processamento do índice amostral foram modelados por meio de uma Função de Distribuição Acumulada (CDF) para mensurar a gravidade estatística da seca em escala estadual, conforme ilustrado a seguir.



(b)



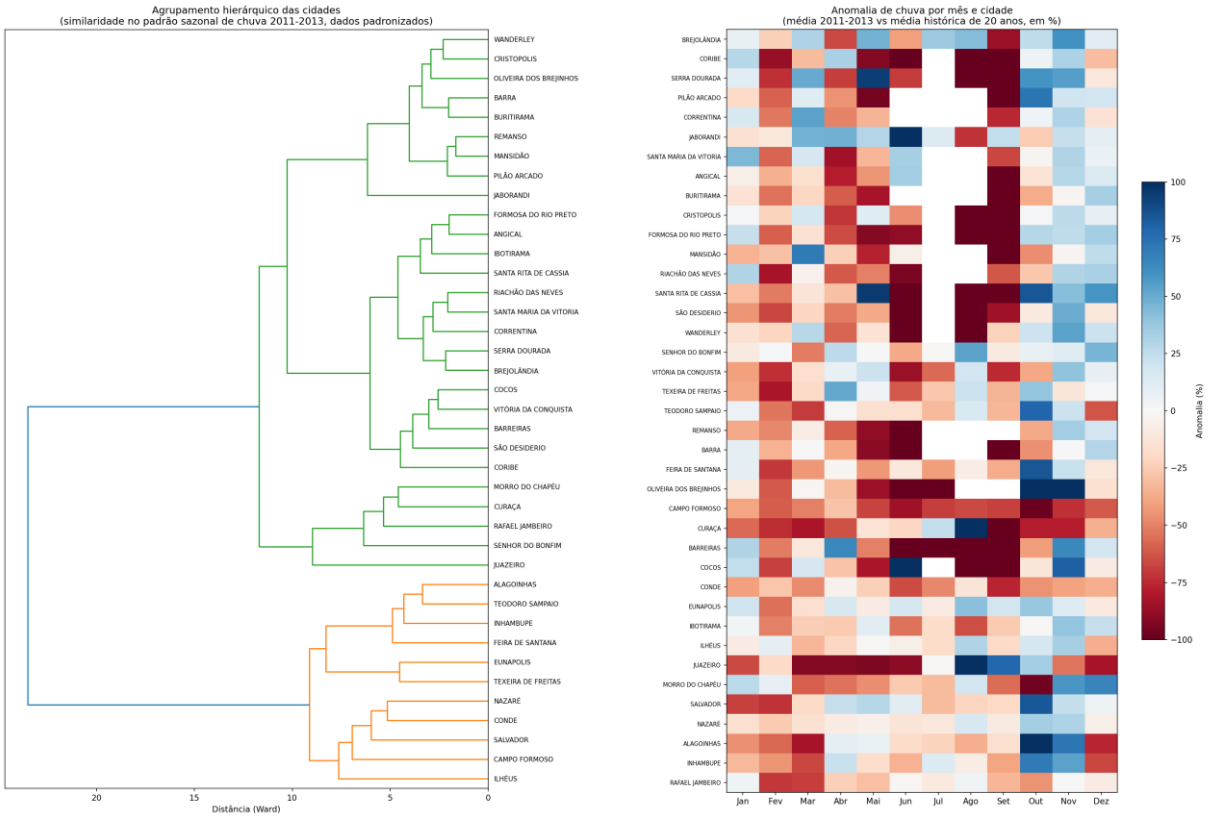
(b)

Figura 1: (a)Função de Distribuição Acumulada (CDF) das anomalias de precipitação calculadas para o triênio 2011-2013. Matriz de Correlação linear de Pearson aplicada aos desvios pluviométricos intermunicipais (b)

Conforme a Figura 1 (a), destaca o comportamento acumulado das chuvas, que quantifica o caráter extremo da estiagem, ou seja, a probabilidade empírica de ocorrência de meses com chuvas abaixo da média (Anomalia < 0%) alcançou a expressiva marca de 67%. Sob uma distribuição climática balanceada, o valor esperado situar-se-ia próximo a 50%. Aprofundando o diagnóstico, a curva revela que 43% de todos os meses analisados apresentaram um déficit severo igual ou superior a 50% (Anomalia ≤ -50%), atestando que quase metade do período estudado foi marcado por forte escassez de hidrica.

Para mapear a conectividade climática e determinar as macro-regiões de comportamento homogêneo face à seca de 2012, as séries temporais do índice foram submetidas à correlação de Pearson e ao método multivariado de Ward.

A Figura 1 (b) evidencia um bloco maciço de forte correlação positiva ($r \geq 0{,}75$) no quadrante superior esquerdo. Este bloco aglutina as cidades do Extremo Oeste e da bacia do São Francisco (Barreiras, Formosa do Rio Preto, Luís Eduardo Magalhães, Wanderley, São Desidério), indicando que essas localidades sofrem déficits ou excessos de forma síncrona, sob controle de frentes frias e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Em oposta análise, a fraca associação ou presença de coeficientes negativos detectados no cruzamento desse bloco continental com a faixa oriental e costeira (Salvador, Ilhéus, Conde) indica a independência desse setor, governado por fenômenos litorâneos característicos, tais como os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL).



(a) (b)

Figura 2: (a) Dendrograma de agrupamento hierárquico multivariado pelo método de ligação de Ward. Mapa de calor (Heatmap) cronológico detalhando a flutuação do índice de anomalia mensal por município (b)

A clusterização exibida na Figura 2 (a) valida taxonomicamente essa organização espacial. Utilizando a variância mínima de Ward, o território em dois macro-grupos distintos a uma distância estatística expressiva: o Cluster Verde (responsável por unificar o Interior, Semiárido e Oeste) e o Cluster Laranja (composto pelas zonas do Recôncavo, Litoral e Agreste), delimitando as fronteiras de resposta regional ao estresse hídrico. A análise da variabilidade temporal permitiu identificar as fases mais críticas da estiagem, avaliando o comportamento coletivo das municipalidades mês a mês através do cruzamento de matrizes térmicas e diagramas de caixa. O Heatmap (Figura 2 (b)) demonstra de maneira inequívoca que o mês de fevereiro de 2012 representou o estopim e o núcleo mais crítico da seca. A faixa horizontal avermelhada contínua indica déficits generalizados próximos a -100% na totalidade dos municípios baianos estudados. O padrão de severidade regional persiste no interior até setembro, sendo amenizado no litoral apenas nos meses de outubro e novembro por períodos úmidos isolados representado pela cor azul.

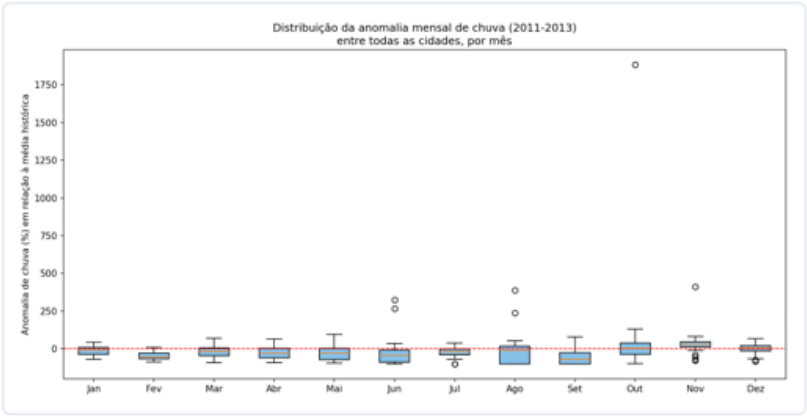


Figura 3: Boxplots mensais demonstrando a dispersão interquartílica e a presença de outliers nas anomalias.

Como mostra a Figura 3, o mês de fevereiro destaca-se por apresentar dados muito concentrados e com um comportamento padrão, a metade das cidades registrou um déficit de chuva severo, em torno de -75% abaixo da média. Isso confirma que a seca atingiu quase todo o estado da mesma forma naquele período. Por outro lado, os meses de transição mostram um cenário de grande variação causado por chuvas isoladas e extremas. Em outubro, por exemplo, um município superou a marca de 1800% de anomalia positiva. Nesse sentido, esse intenso pluviométrico acontece quando chuvas fortes ocorrem em locais onde a média histórica para aquela época do ano, espera-se tradicionalmente menos chuva.

3.1. Dinâmica de Acumulação Local: Estudo de Caso de Brejolândia-BA

Como reflexo direto do acúmulo das anomalias severas identificadas nas seções anteriores, a curva de preenchimento pluviométrico anual do município de Brejolândia exemplifica o impacto físico real da seca sobre o balanço hídrico local. A análise histórico comparativa da Figura 4 evidencia a quebra drástica de padrão ocorrida em 2012. Enquanto o ano de 2011 (linha azul) caracterizou-se como um ano úmido e altamente favorável, encerrando o ciclo com 1250 mm acumulados, confortavelmente acima da média histórica municipal de 910 mm, o ano de 2012 representado pela linha vermelha revelou uma drástica redução de chuvas. A partir de abril, a curva adquire um comportamento totalmente horizontal (estagnação absoluta), finalizando o ano com apenas 700 mm. Esse cenário representa um déficit acumulado crítico superior a 210 mm, cujos reflexos exauriram as reservas hídricas do solo.

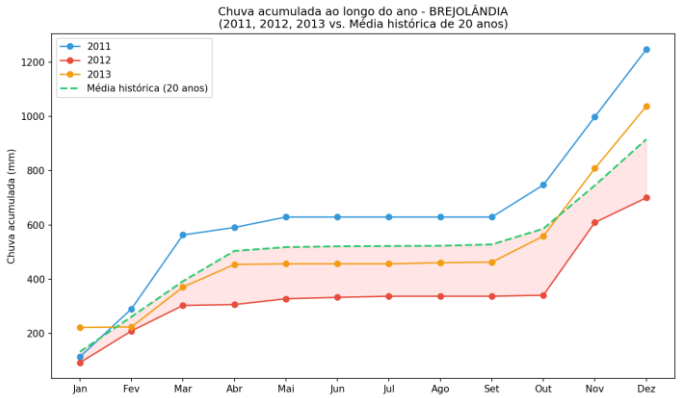


Figura 4: Séries acumuladas de precipitação anual para o município de Brejolândia versus média histórica local de longo prazo.

CONCLUSÕES

A seca de 2012 na Bahia não foi uma variação pequena ou passageira, mas um evento climático de grande intensidade. O fato de mais de 43% dos registros apresentarem redução superior a 50% nas chuvas, juntamente com a falta de recarga dos reservatórios observada em nível local, mostra a necessidade de fortalecer o monitoramento do clima e adotar medidas preventivas para garantir a segurança hídrica no semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS

GUTIÉRREZ, A. P. A. et al. Drought preparedness in Brazil: Playbook for a paradigm shift in Northeast Brazil. *Water International*, v. 39, n. 5, p. 574-592, 2014.

MARCUZZO, F. F. N. et al. Chuvas no estado da Bahia: análise histórica e tendência futura. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 14, p. 62-78, 2014

MARENGO, J. A. et al. A seca de 2012-2013 no Nordeste do Brasil: contexto climático e impactos de um evento extremo de seca. *Revista Alerta Climático*, v. 1, n. 2, p. 12-29, 2013.

ROOY, M. P. van. A physical method for expressing latitudes of rainfall anomalies. *Notos*, v. 14, p. 43-48, 1965.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.