

TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RESERVATÓRIO DE FURNAS USADO R COM CHIRPS

Precipitation Trends in the Furnas Reservoir Basin Using R and CHIRPS

Anderson Vicente Fernandes

Graduando em Geografia Licenciatura Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, Brasil

anderson.fernandes@sou.unifal-mg.edu.br

Natália Negretti Figueiredo

Mestranda em Geografia – Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, Brasil

natalia.figueiredo@sou.unifal-mg.edu.br

Denis Messias de Souza

Graduando em Geografia Licenciatura Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, Brasil

denis.messias@sou.unifal-mg.edu.br

Camilly Souza do Nascimento Vicente

Mestranda em Geografia – Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, Brasil

camilly.vicente@sou.unifal-mg.edu.br

Linamara Roberta Ribeiro

Mestranda em Geografia – Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, Brasil

linamara.ribeiro@sou.unifal-mg.edu.br

Paulo Henrique de Souza

Docente da Graduação e Mestrado em Geografia – Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, Brasil

paulohenrique.souza@unifal-mg.edu.br

Recebido: 15/04/2026

Aceito: 30/06/1985

Resumo

Atentando para o momento de variabilidade frequente no comportamento da precipitação em diversas partes do planeta, esta pesquisa analisa as tendências de precipitação ao longo da Bacia do Reservatório de Furnas situada na Bacia Hidrográfica do Rio Grande no Sul e Sudoeste de Minas Gerais. Para sua realização foram obtidos dados CHIRPS que foram tratados e organizados em ambiente R. Posteriormente foram aplicados testes de Mann-Kendall e do estimador de Sen. Os resultados evidenciaram predomínio de tendências de redução das chuvas, com as maiores magnitudes negativas ocorrendo durante o verão (DJF) e outono (MAM) do hemisfério Sul, nos períodos cruciais para a recarga hídrica da bacia. Esses resultados evidenciam que as mudanças da dinâmica de precipitação na Bacia de Furnas apresentam comportamentos expressivos na fase anual mais crítica podendo produzir implicações para a disponibilidade hídrica e para os usos múltiplos do reservatório, sinalizando que as alterações nos padrões atmosféricos podem estar em curso a partir da conjuntura estabelecida pelas mudanças climáticas.

Palavras-chave: Água, Variabilidade, Redução, Comportamento, Valores.

Abstract

Given the current period of frequent variability in precipitation behavior across various parts of the globe, this study analyzes precipitation trends within the Furnas Reservoir Basin, located in the Rio Grande River Basin in southern and southwestern Minas Gerais. CHIRPS data were obtained, processed, and organized using the R environment. Subsequently, Mann-Kendall tests and Sen's slope estimator were applied. The results revealed a predominance of declining rainfall trends, with the greatest negative magnitudes occurring during the Southern Hemisphere summer (DJF) and autumn (MAM)—periods crucial for the basin's water recharge. These findings demonstrate that changes in precipitation dynamics within the Furnas Basin exhibit significant patterns during the most critical time of the year, potentially impacting water availability and the reservoir's multiple uses; this suggests that shifts in atmospheric patterns may be underway as a result of climate change.

Keywords: Water, Variability, Reduction, Behavior, Values.

1. INTRODUÇÃO

Em um sistema hidrológico onde a disponibilidade de água é determinada pela força climática e suas características geomorfológicas, a formação geológica, aliada a declividade irá determinar onde a água será armazenada no sistema, enquanto que a geomorfologia se ocupará com a organização dos corpos hídricos sobre a superfície.

Tendo em conta que a precipitação se constitui na variável determinante que assegura o *input* de água no sistema, o estudo de sua distribuição espacial e comportamento ao longo do tempo torna-se fundamental para a compreensão da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica ou algum recurso hídrico (Barbosa Júnior, 2022).

Aliás, já há algum tempo, a comunidade científica tem apontado que as mudanças climáticas podem estar interferindo na dinâmica da precipitação, intensificando eventos extremos como o ocorrido em 2014 por toda a região Sudeste do Brasil, pois, segunda enfatiza Marengo (2001) as mudanças na circulação atmosférica e no transporte de umidade podem afetar a distribuição da precipitação por todo território brasileiro, com possíveis consequências para o Sudeste e para atividades agrícolas sensíveis às condições climáticas, como a cafeicultura.

Essa discussão possui particular relevância na Bacia do Reservatório de Furnas pelo fato dela estar localizada em uma região marcada pela utilização múltipla dos recursos hídricos. Seu reservatório de acordo com a EPE (2024) é um dos principais pilares do Sistema Interligado Nacional correspondendo a 17,12% de participação na produção energética, além de abrigar setores da economia como turismo, imobiliário de alto padrão, agrícola e piscicultura no Sul de Minas Gerais, atendendo a 34 municípios que se encontram diretamente envolvidos por serem banhados pelo seu lago.

Nesse contexto, a variabilidade da precipitação representa um fator fundamental para a dinâmica hídrica da Bacia de Furnas, onde períodos prolongados de estiagem ocasionam a redução da contribuição hídrica pela alteração na quantidade e distribuição das chuvas ao longo do ano, afetando diretamente a recarga hídrica do sistema por reduzir o nível do reservatório e sua capacidade de produzir energia elétrica, comprometendo ainda setores como o turismo e a piscicultura que estão estritamente ligados ao nível do Lago de Furnas, com o agravante de que tais reduções ocorrem justamente nas estações responsáveis por parcelas expressivas da precipitação anual, como o verão e o outono.

Estudando esta questão na região central do Estado de São Paulo, Santos *et al.* (2022), utilizando o banco de dados CHIRPS para o período de 1981 a 2020, compararam a informação mensal com os registros oriundos de 31 postos pluviométricos. Os autores aplicaram pixel a pixel o Índice de Precipitação Padronizada e regressão linear. Apesar de os autores não utilizarem os testes de Mann-Kendall e Sen, a sua abordagem mostrou a aplicabilidade de dados CHIRPS para estudos espaciais de séries pluviométricas longas.

A abordagem metodológica mais próxima da aplicada nesta pesquisa foi a desenvolvida por Moreira *et al.* (2023) que analisou a variabilidade pluviométrica em Rondônia com dados provenientes do CHIRPS correspondentes a série de 1981 a 2020. Os autores compararam os dados terrestres e orbitais e aplicaram os testes da Mann-Kendall e o estimador de Sen para descobrir a tendência monotônica e a sua magnitude. Após os testes estatísticos concluíram que há existência de uma heterogeneidade espacial e sinais de queda na precipitação da área estudada.

A importância da desagregação sazonal também foi evidenciada por Jesus *et al.* (2026) ao analisarem a precipitação na região do Marajó, no Pará, entre 1979 e 2020. Utilizando dados pluviométricos do CPC/NCEP, os autores organizaram as séries nas escalas anual e sazonal, considerando os trimestres DJF, MAM, JJA e SON, e aplicaram o teste de Mann-Kendall. A espacialização dos índices S, Tau, valor de p e Z possibilitou identificar setores com tendências de aumento ou redução, bem como distinguir as áreas em que essas tendências apresentaram significância estatística. Os resultados mostraram predomínio de tendências de redução tanto na escala anual quanto em diferentes estações climatológicas. Esses estudos demonstram como é importante investigar a Bacia do Reservatório de Furnas com o fluxo que une dados CHIRPS e os processa por testes como os de Mann-Kendall e o estimador de Sen assim identificando com exatidão onde está ocorrendo déficits e superávits na bacia.

Posto este contexto, questiona-se, quais são as tendências sazonais, anuais e as magnitudes de Furnas e como elas se distribuem espacialmente entre 1983 e 2025.

Sob essa interrogação e curiosidade, o presente estudo teve como objetivo analisar o comportamento espaço-temporal da precipitação na Bacia do Reservatório de Furnas entre 1983 e 2025, utilizando dados do produto CHIRPS. Para isso foram empregados métodos como o teste de Mann-Kendall o estimador de Sen e a divisão sazonal das tendências para descobrir em que fase do ano tem sido mais significativa.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1. Clima, Variabilidade Pluviométrica e Mudanças Climáticas

O clima corresponde ao comportamento médio das condições atmosféricas de uma determinada região ao longo de um extenso período de observação. Diferentemente do tempo meteorológico que descreve o estado instantâneo da atmosfera, o clima é definido a partir da análise estatística de variáveis como precipitação, temperatura, umidade e circulação atmosférica, normalmente considerando séries de várias décadas (Ayoade, 2010).

A variabilidade climática se refere a ao registro ao longo de um período construído por estações pluviométricas que dispõe de equipamentos como para a medida da grandeza de precipitação que é mensurada por intermédio do aparelho denominado pluviômetro que registra em milímetros a altura de uma lâmina d'água em geral sendo feitas em um intervalo de 24 horas. (Barbosa Júnior, 2022). Já algoritmos como o do CHIRPS mensuram a quantidade de chuva baseada na observação do infravermelho de nuvens frias com alta resolução de 5km (0,05°) combinado com estações pluviométricas em solo (Funk *et al.*, 2015). Para Varejão-Silva (2006), a precipitação representa uma das variáveis fundamentais para os estudos ambientais, dado que influencia diretamente a disponibilidade hídrica, a dinâmica dos ecossistemas e as atividades econômicas. Portanto, a economia do Sul de Minas Gerais, que depende significativamente dos recursos hídricos provenientes do reservatório e apresenta forte participação de atividades agropecuárias e agroindustriais, pode ser fortemente afetada, a depender dos rumos que as tendências tomem, sejam elas estáveis, trazendo prosperidade, ou extremas, provocando prejuízos sistêmicos (BRASIL, 2025; Silva *et al.*, 2023; Fundação João Pinheiro, 2022).

Estudos recentes têm apontado a crescente interferência humana na dinâmica climática, seja de forma direta ou indireta. Marengo (2001), em seu artigo que analisa as projeções climáticas apresentadas pelo IPCC em 2000, elucida que a Região Sudeste tem

enfrentado extremos de resfriamento que podem afetar a produção agrícola da região, em especial a cafeicultura, muito sensível às alterações climáticas, e, com isso, impactar seu preço. Tais mudanças têm sido registradas desde o final do século XIX. O autor ainda evidencia que a seca poderá se intensificar no período de março, abril e maio, correspondente a 35% da precipitação anual no Brasil, o que implica um enfraquecimento dos JBNs, os chamados “rios voadores”, que trazem umidade da Amazônia (Marengo, 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

Situada na região sul de Minas Gerais com uma extensão de 19.030 Km² de drenagem (Figura 1), nela situa-se o Lago de Furnas, reservatório crucial para a economia da região que banha aproximadamente 34 municípios do sul e sudoeste de Minas Gerais, juntos esses municípios somam, segundo o IBGE (2022), 904.540 mil habitantes. De acordo com a Fundação João Pinheiro (2023) sua economia principal está na agropecuária. Seu PIB é representativo alcançando R\$ 38,83 bilhões.

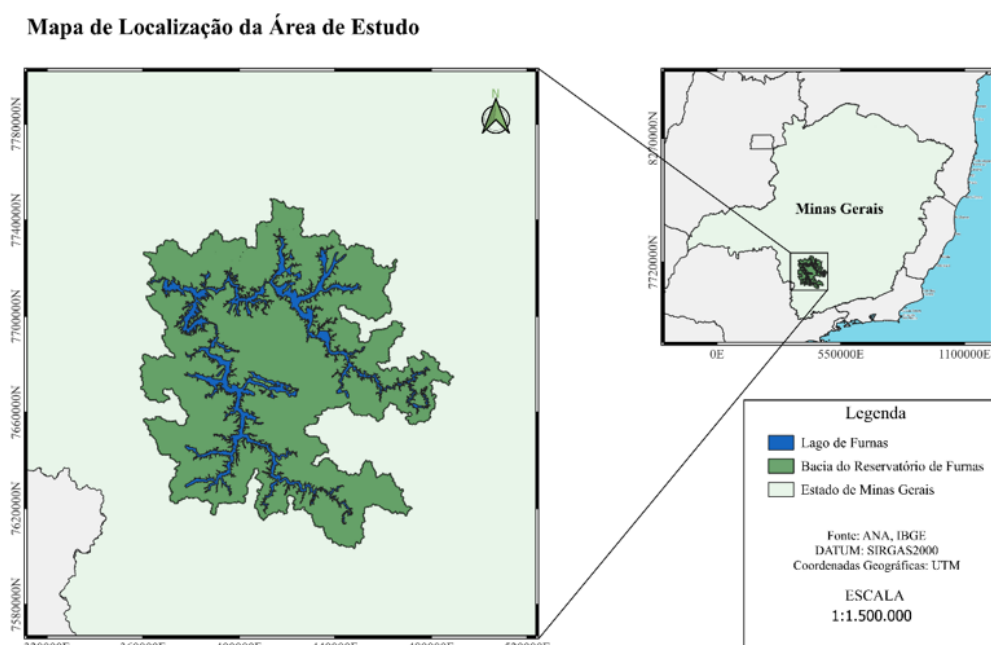


Figura 1 – Bacia do Reservatório de Furnas.

Fonte: Autor (2026).

Seu clima é Tropical de Altitude apresentando verões úmidos e invernos secos. De acordo com a classificação de Köppen a bacia se divide em dois climas o Cwa marcado por verões quentes e o Cwb com a mesma estação sendo úmida e apresentando temperaturas amenas, (Alvares *et al.*, 2013).

Segundo Nimer (1989) duas massas de ar atuam na região são elas a massa tropical atlântica que esta combinada com o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), atuante durante o trimestre JJA e perdendo força no início do trimestre SON, em condições normais favorece estabilidade e pode impedir a formação de nebulosidade, devido a subsidência e a inversão térmica superior.

A massa polar atlântica originária do continente antártico é responsável pelas frentes frias que ao encontrar a umidade no continente pode provocar chuvas, pois interagem compondo a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) atuante principalmente nos trimestres SON e DJF.

3.2. Aquisição dos dados de precipitação

Para a realização do presente estudo foi utilizado o CHIRPS versão 3.0 desenvolvido pelo Climate Hazards Center da Universidade da Califórnia em Santa Bárbara. O CHIRPS associa estimativas de chuva obtidas de sensores infravermelho orbitais com estações pluviométricas em solo, assim garantindo uma base de dados sólida com falhas reduzidas, sendo ideal para estudos climáticos (Funk *et al.*, 2015)

Os dados correspondem ao produto mensal do CHIRPS versão 3.0 para a América Latina, disponível em formato GeoTIFF. A resolução espacial corresponde a 0,05° e seus valores são expressos em milímetros por mês. Foram extraídos 516 arquivos mensais, abarcando o período de janeiro de 1983 a dezembro de 2025.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS foi empregado na delimitação da área de estudo. O sistema de referência geográfica adotado foi o SIRGAS 2000/UTM zona 23S, já nos produtos do R o sistema escolhido foi o WGS 84 UTM.

3.3. Processamento dos dados espaciais

No ambiente R (R CORE TEAM, 2025) os arquivos matriciais mensais foram baixados e organizados cronologicamente. Em seguida foram recortados usando o shapefile da Bacia do Reservatório de Furnas, cuidando que as células espaciais focassem unicamente na área de estudo. Após a seleção espacial dos dados foi realizado o agrupamento dos dados mensais em grupos de 12 meses e após somados, assim gerando o ano civil. Desse

modo foi construída uma série temporal anual de precipitação que corresponde o intervalo de 1983 a 2025.

A média de precipitação anual a partir dessa base foi calculada, para isso, primeiramente foi determinado uma média espacial dos valores de chuva de todas as células no limite da bacia. Posteriormente, esses resultados foram ordenados cronologicamente, culminando em uma série de pluviosidade interanual da Bacia de do Reservatório de Furnas.

3.4. Análise das tendências pluviométricas

A existência de tendência monotônicas na precipitação anual e sazonal foi investigada pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Este teste permite identificar a tendência predominante ao longo do tempo (n) composto por observações, representadas por $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, ordenadas cronologicamente sem que outliers afetem o resultado.

Para uma série temporal composta pelas observações S :

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

Variância:

$$\text{Var}(S) = [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)]/18$$

Estatística Z compacta:

$$Z = \text{sgn}(S)(|S| - 1) / \sqrt{\text{Var}(S)}$$

Inclinações pares:

$$d_k = \frac{x_j - x_i}{j - i}, \text{quad } 1 \leq i < j \leq n$$

Quantidade de inclinações:

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

O procedimento foi aplicado individualmente em cada célula da grade espacial. Considerou-se uma hipótese alternativa que evidenciou a existência de uma tendência ao nível de significância de 5%, portanto valores p abaixo ou iguais a 0,05 foram compreendidos como indicativos de tendência estatisticamente significativa.

3.5. Elaboração de produtos cartográficos e gráficos

Tendo os resultados como base, mapas de precipitação média anual, da significância estatística de Mann – Kendall e do método de magnitude de Sen (Sen 1968):

$$\hat{\beta}_{Sen} = median(d_1, d_2, \dots, d_N)$$

Com esses produtos foi possível observar a distribuição espacial da pluviosidade e identificar os setores que apresentem decréscimo ou acréscimo de chuvas.

Para além dos mapas foi desenvolvido um gráfico da média anual de precipitação da bacia entre 1983 a 2025. O gráfico foi usado para representar a variabilidade pluviométrica interanual e possibilitar a visualização de anos extremos na série.

3.6. Ambiente computacional

O processamento dos dados desta pesquisa foi realizado no software R, versão 4.1.2, no sistema operacional Ubuntu 22.04.5 LTS. Foram aplicados os pacotes terra na versão 1.5-21, para a leitura, organização e processamento dos dados matriciais; trend, versão 1.1.6 para a realização do teste de Mann-Kendall e obtenção do estimador de Sen, e ggplot2, na versão 4.0.3 para a produção de representações gráficas. Esse fluxo de trabalho no R permitiu padronizar as etapas de tratamento dos dados e proceder análise estatística para representar os resultados, além de possibilitar a reprodução deste fluxo metodológico.

4. RESULTADOS

4.1. Distribuição espacial da pluviosidade

Após a processamento dos dados foi desenvolvido o mapa da média de precipitação ao longo do período 1983 a 2025, nele é possível identificar setores a noroeste com valores de 1440 mm/ano a 1.700 mm/ano, ao norte e leste da bacia registraram valores entre 1440 mm/ano a 1530, enquanto os setores ao sul e a centro-oeste obtiveram médias de 1190 mm/ano a 1360 mm/ano (Figura 2).

4.2. Variabilidade interanual da precipitação regional

A precipitação média anual na Bacia do Reservatório de Furnas apresentou distribuição espacial heterogênea durante o período de 1983 a 2025. Os valores médios

variaram entre 1126 mm e 1690 mm, evidenciando diferenças pluviométricas entre os setores da área de estudo.

A série regional apresentou forte variabilidade interanual, com alternância entre acumulados superiores e inferiores à média de 1400 mm/ano. O maior valor foi registrado em 1983, quando a precipitação alcançou aproximadamente 2286 mm/ano, enquanto o menor acumulado ocorreu em 2014, com 895 mm/ano.

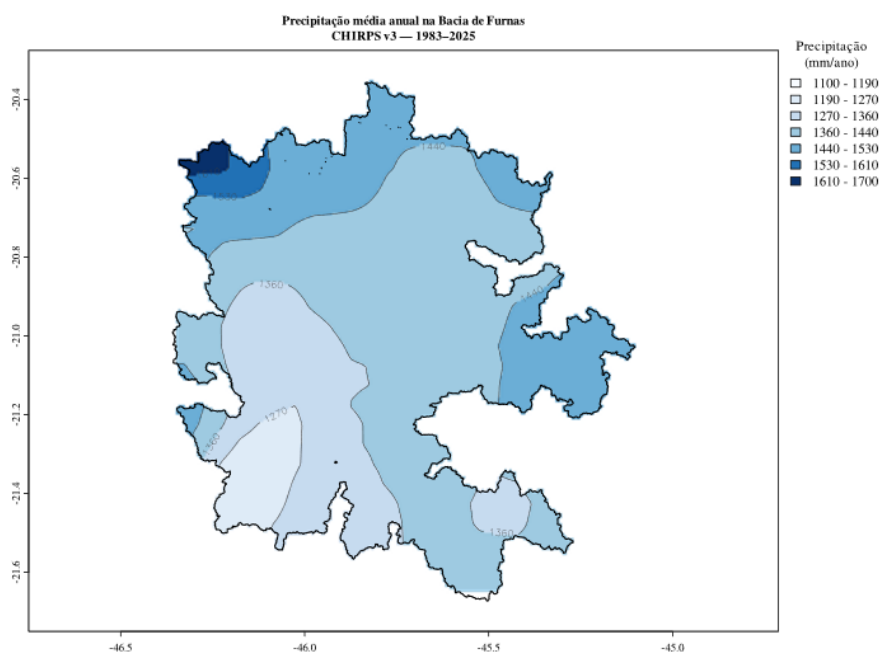


Figura 2 – Mapa da precipitação média anual na bacia.

Fonte: Autor (2026).

Dos 43 anos analisados 15 apresentaram valores acima da média sendo os de maior relevância os anos de 1983, 1985, 1992, 1996, 1999 e 2009 (Gráfico 1).

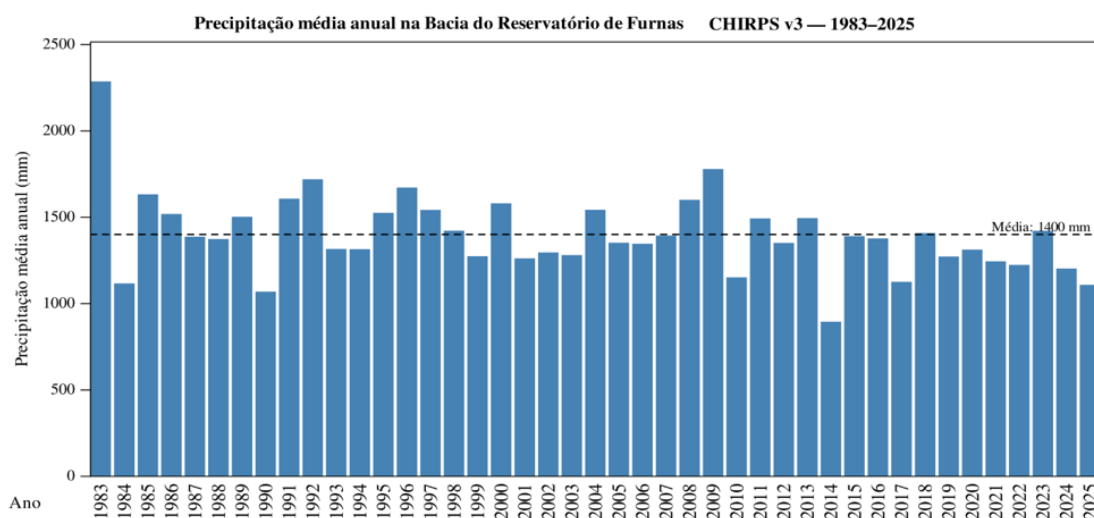


Gráfico 1 – Precipitação Média Anual.

Fonte: Autor (2026).

4.3. Distribuição da tendência espacial com a média sazonal

Ao se analisar a distribuição espacial das tendências de Mann-Kendall se constata que, durante o verão, o outono e o inverno predominaram tendências negativas. Para ser mais exato no verão os valores de Tau variaram entre -0,03 a -0,1, evidenciando redução da chuva em toda a bacia onde as tendências mais significativas se concentraram nos setores a sudeste e leste. No total das células processadas, 58,86% apontaram redução estatisticamente significativa, em contrapartida 41,12% apresentaram redução não significativa.

No outono, valores de Tau variaram de -0,37 e -0,059 sendo essa a estação que registrou as tendências negativas de maior magnitude. A reduções mais fortes se localizaram no setor leste da bacia. Nessa estação 69,58% das células analisadas registraram redução significativa estatisticamente enquanto 30,42% apresentaram redução não significativa.

Durante o inverno, os valores se permaneceram negativos, mas com aparente estabilidade. 91% das células apresentaram ausência de significância e apenas 8,97% registraram redução significativa.

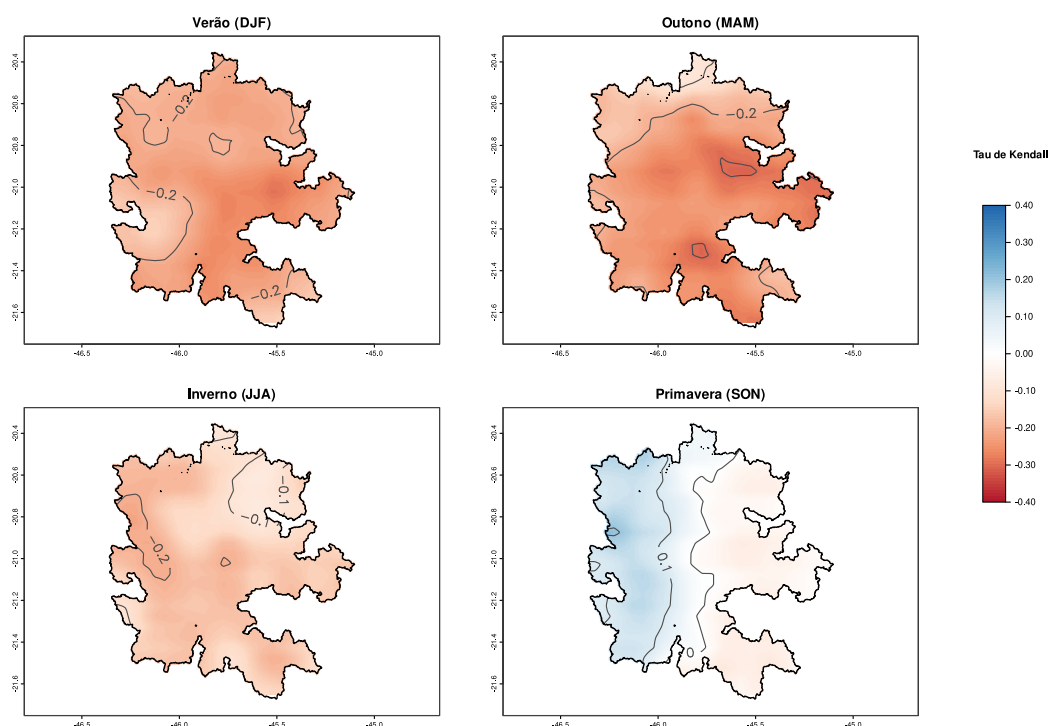


Figura 3 – Mapa de Tendências espaciais sazonais de Mann-Kendall.

Fonte: Autor (2026).

Quadro 1: Tendências de Mann-Kendall por Célula.

Estação	Classe	Número de Células	Percentual (%)
Verão (DJF)	Redução não significativa	188	41.14
Verão (DJF)	Redução significativa	269	58.86
Outono (MAM)	Redução não significativa	139	30.42
Outono (MAM)	Redução significativa	318	69.58
Inverno (JJA)	Redução não significativa	416	91.03
Inverno (JJA)	Redução significativa	41	8.97
Primavera (SON)	Aumento não significativo	254	55.58
Primavera (SON)	Aumento significativo	7	1.53
Primavera (SON)	Redução não significativa	196	42.89

Fonte: Autor (2026).

4.4. Magnitude sazonal das tendências pluviométricas

Usando o estimador Sen, diferenças expressivas no padrão de precipitação em cada estação climatológica da Bacia do Reservatório de Furnas foram identificadas. No verão, outono e inverno com acumulados sazonais apresentando queda na maior parte da área estudada. A primavera apresentou um comportamento distinto, com uma faixa de transição entre inclinações positivas e negativas (Figura 4 e Quadro 2).

Durante o verão, Sen's Slope variou de -6,45 a -1,91 mm/ano, sendo a estação com as maiores magnitudes negativas. As reduções de maior intensidade ocorreram na parte leste e em partes ao centro da bacia.

No outono, as inclinações variaram entre -4,14 a -0,60 mm/ano. Tal como o verão não foram registrados valores positivos. As maiores magnitudes ocorreram nos setores a centro-sul e leste.

No inverno apresentou as menores magnitudes absolutas variando na faixa de -1,00 mm/ano a -0,15 mm/ano.

A primavera foi a que registrou maior heterogeneidade espacial, que se constituiu uma faixa variando de 2,08 mm/ano a oeste para -1,48 mm/ano a leste.

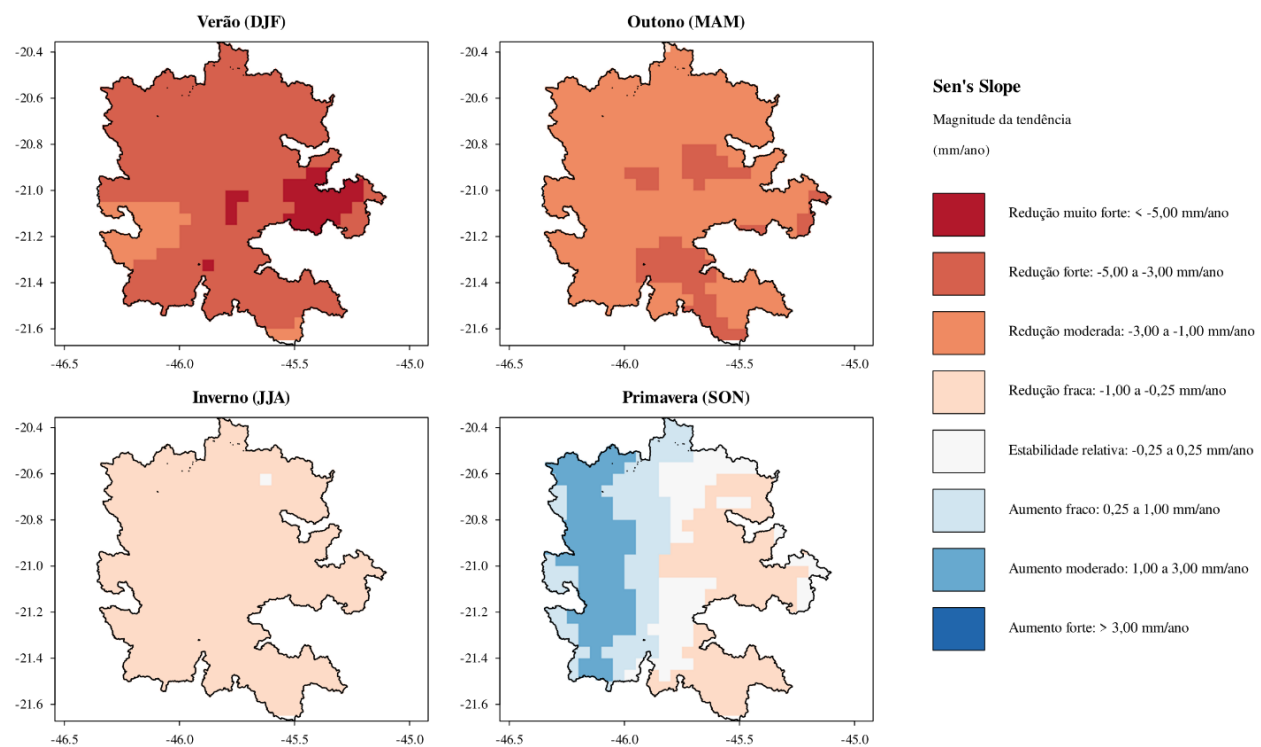


Figura 4 – Mapa de estimativas de Sen Sazonal.
Fonte: Autor (2026).

Quadro 2: Estimativa de Sen por Célula.

Estação	Pixels validos	Mínimo mm/ano	Máximo mm/ano	Média mm/ano	Amplitude mm/ano
Verão (DJF)	457	-6,45	-1,91	-4,14	4,55
Outono (MAM)	457	-4,14	-0,6	-2,45	3,54
Inverno (JJA)	457	-1,06	-0,15	-0,57	0,91
Primavera (SON)	457	-1,48	2,08	0,27	3,56

Fonte: Autor (2026).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto CHIRPS possibilitou analisar a precipitação na Bacia do Reservatório de Furnas na perspectiva espacial contínua, transpassando a limitação de estações pluviométricas em terra. A resolução de 0,05° permitiu apresentar as diferenças internas da bacia e elucidou que sua dinâmica não pode ficar limitada a reduzida rede de postos de monitoramento.

Entre 1983 a 2025, a precipitação média regional apresentou forte variação interanual com a maioria dos anos acima da média de precipitação compreendendo de 1983 a 2009 onde 1983 foi o maior deles com 2.286 mm/ano em contrapartida após o ano de 2010 os níveis não superaram a média com força significativa e atingiram extremos como em 2014

marcando 895 mm/ano que pode ser interpretado como correspondente a quase metade abaixo da média na série.

A análise espacial da precipitação ao longo da bacia trouxe a luz que as chuvas não são homogêneas em todos os setores, formando áreas mais úmidas e áreas menos úmidas no interior da unidade hidrográfica.

As análises sazonais realizadas pelos testes de Mann–Kendall e pelo estimador de Sen evidenciaram comportamentos espacialmente distintos entre as estações climatológicas. O Tau de Kendall apresentou valores predominantemente negativos durante o verão, o outono e o inverno, indicando que, na maior parte da bacia, os acumulados sazonais tenderam a diminuir ao longo da série de 1983 a 2025. A primavera apresentou comportamento diferente, com valores positivos no setor oeste e valores próximos de zero ou negativos no setor leste, demonstrando maior heterogeneidade espacial.

Durante o verão, o mapa de tendências de Mann-Kendall sinalizou Tau negativo por praticamente toda a Bacia de Furnas. Esse padrão foi coerente com o teste de Sen's Slope, que apresentou as magnitudes mais intensas a leste e ao centro da área de estudo variando de -6,45 a -1,91 mm/ano registrando uma média espacial de -4,14 mm/ano. No outono os sinais de queda permaneceram e a variação do estimador de Sen ficou entre -4,14 e -0,60 mm/ano. Essa correspondência do Tau e do Sen sinaliza um padrão de redução justamente no período mais crítico da Bacia do Reservatório de Furnas pois é justamente nestas estações que as chuvas são plenas o suficiente para promover a recarga hídrica do sistema. Já a primavera revelou uma reorganização espacial de maior complexidade dividida em tendências opostas de leste a oeste.

A presente pesquisa concluiu que existe um sinal de queda predominante da precipitação na série temporal 1983-2025 na área estudada e que a partir destas evidências estudos futuros devem responder estas questões.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada**. São Paulo: Blucher, 2022. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 21 jul. 2026.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Nota Técnica nº 5/2025/CGHI/DDOS/SNEE**: proposição de projeto de reflorestamento de matas ciliares e recuperação de nascentes nos

municípios circunvizinhos ao Lago da UHE Furnas e suas áreas a montante. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2025. Processo nº 48370.000205/2024-99. Acesso em: 21 jul. 2026.

CHC - CLIMATE HAZARDS CENTER. **CHIRPS v3 final monthly**: Latin America GeoTIFF repository. Santa Barbara: University of California, 2026. Dados mensais utilizados no período 1983–2025. Disponível em: <https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS/v3.0/monthly/latam/tifs/>. Acesso em: 19 jul. 2026.

CHC - CLIMATE HAZARDS CENTER. **CHIRPS v3**: rainfall estimates from rain gauge and satellite observations. Santa Barbara: University of California, 2026. Disponível em: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps3>. Acesso em: 19 jul. 2026.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2024.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Cadeia produtiva do agronegócio e sua capacidade de impulsionar o crescimento regional em Minas Gerais. **Informativo FJP**: Análise Insumo-Produto, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, 23 mar. 2022.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Produto Interno Bruto do agronegócio de Minas Gerais. **Informativo FJP**: Análise Insumo-Produto, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, 23 mai. 2023.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations: a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, London, v. 2, p. 150066, 2015.

HIJMANS, R. J. **Terra**: spatial data analysis. 2022. R package version 1.5-21. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=terra>. Acesso em: 19 jul. 2026.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**: população e domicílios: primeiros resultados. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 75p.

JESUS, E. S.; PONTES, A. N.; JESUS, N. V. G.; PEREIRA JUNIOR, A. Precipitação na região do Marajó-PA: climatologia, tendência e mudanças climáticas. **GEOgraphia**, Niterói, v. 28, n. 60, e59100, 2026.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 1, p. 1–18, 2001.

MOREIRA, R. M.; SANTOS, B. C.; SANCHES, R. G.; BOURSCHEIDT, V.; SALES, F.; SIEBER, S.; SOUZA, P. H. Precipitation variability for protected areas of primary forest and pastureland in Southwestern Amazônia. **Climate**, Basel, v. 11, n. 2, art. 27, 2023.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 421p.

POHLERT, T. **trend**: non-parametric trend tests and change-point detection. [S. l.: s. n.], 2023. R package version 1.1.6. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=trend>. Acesso em: 19 jul. 2026.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 19 jul. 2026.

SANTOS, B. C.; SANCHES, R. G.; MOREIRA, R. M.; BOURSCHEIDT, V.; SOUZA, P. H. Análise espaço-temporal da precipitação na região central do estado de São Paulo utilizando dados CHIRPS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 5, p. 2582–2600, 2022.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968.

SILVA, F. A.; NONNENBERG, M. J. B. **Normas voluntárias de sustentabilidade (NVS) e implicações sobre as exportações de produtos do agronegócio: café**. Rio de Janeiro: IPEA, 2023. 37p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2. Recife: [s. n.], 2006.

WICKHAM, H. **ggplot2**: elegant graphics for data analysis. New York: Springer-Verlag, 2016. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org/>(<https://ggplot2.tidyverse.org>). Acesso em: 19 jul. 2026.

Recebido: 15/04/2026
Aceito: 30/06/1985