

CRISTIANE JÚLIO GONÇALVES

TENDÊNCIAS HIDROCLIMÁTICAS NA BACIA DO RIO ITAPEMIRIM

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Roberto Avelino Cecílio

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2020

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

G635t
2020
Gonçalves, Cristiane Júlio, 1995-
Tendências hidroclimáticas na bacia do rio Itapemirim /
Cristiane Júlio Gonçalves. – Viçosa, MG, 2020.
57 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Roberto Avelino Cecílio.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.36-39.

1. Precipitação (Meteorologia). 2. Solo - Uso.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Aplicada. II. Título.

CDD 22. ed. 551.577

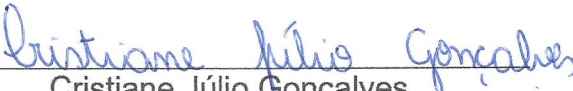
CRISTIANE JÚLIO GONÇALVES

TENDÊNCIAS HIDROCLIMÁTICAS NA BACIA DO RIO ITAPEMIRIM

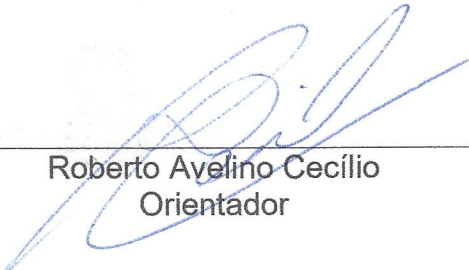
Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Meteorologia
Aplicada, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

APROVADA: 30 de outubro de 2020.

Assentimento:



Cristiane Júlio Gonçalves
Autora



Roberto Avelino Cecílio
Orientador

*A Deus, que nem por um segundo
desamparou a minha caminhada,*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser a força motriz dos meus passos.

Aos meus familiares, por todo amor e apoio, em especial aos meus pais, Anderson e Alexandra que incentivaram todos os meus sonhos.

À Universidade Federal de Viçosa, e ao Programa de Pós Graduação em Meteorologia Aplicada pela oportunidade de aperfeiçoamento na minha formação acadêmica.

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

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo apoio e recursos disponibilizados.

Ao Professor Roberto Cecílio por todo conhecimento, paciência, parceria e orientação sendo fundamental na realização deste trabalho.

Ao Demétrius pelo suporte a qualquer tempo.

Aos companheiros de linha de pesquisa Laura e David, pelo acolhimento e apoio.

As minhas meninas, Tarci, Lau, Mila, Rah, Josi, Lu, Ligia, Pri e Fê que foram base, alento e amor na minha caminhada.

A todos os amigos de pós- graduação do Centro de Referência em Recursos Hídricos, pela convivência e momentos especiais compartilhados ao longo do tempo de estágio e realização dessa pesquisa. Em especial: Ana Luiza, Erli, Rafael, Caliman, Arnaldo, Robson, Roberto, Felipe, Micael e Arthur.

A minha amiga Camila, por sempre ter sido meu abrigo, minha companhia e ter alegrado meus dias durante todos esses anos.

A Ana Paula que foi de suma importância nessa etapa da minha vida.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

CRISTIANE JULIO GONÇALVES, filha de Anderson Gonçalves e Alexandra de Paula Júlio, nasceu em 17 de janeiro de 1995, na cidade de Amambaí - MS, Brasil.

Em maio de 2013 iniciou o curso de graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa – MG, graduando-se em janeiro de 2018.

Em março de 2018 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada da Universidade Federal de Viçosa (UFV), área de concentração em Hidroclimatologia, em nível de mestrado, submetendo-se à defesa de dissertação em outubro de 2020.

RESUMO

GONÇALVES, Cristiane Júlio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2020. **Tendências hidroclimáticas na bacia do rio Itapemirim.** Orientador: Roberto Avelino Cecílio.

A análise da evolução da vazão no tempo é fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Neste cenário, o objetivo deste estudo foi analisar as tendências nas vazões da bacia hidrográfica do rio Itapemirim (BHRI) e relacioná-las com as mudanças ocorridas nas precipitações e no uso e cobertura da terra. Para tanto, utilizaram-se séries históricas de dados fluviométricos e pluviométricos (período de 1969 a 2018) pertinentes a doze sub-bacias. Para verificar a hipótese de estacionariedade nos dados hidrológicos foram aplicados os testes estatísticos de Mann Kendall e Pettitt, com 5% de significância. De maneira geral, houve tendência de redução para as precipitações acumuladas no período seco. A precipitação no mês de outubro (até então adotado como início do ano hidrológico) apresentou redução para todas as estações analisadas no estudo, podendo indicar um deslocamento do início do período chuvoso para novembro. Nos meses chuvosos, a tendência foi de aumento para a porção oeste e noroeste da bacia, apenas para o mês de dezembro. As vazões médias mensais apresentaram tendência de redução e, em geral, acompanham as tendências de redução das precipitações do mesmo mês ou do mês imediatamente anterior. Para as vazões mínimas, foi evidenciada uma redução para a maior parte da bacia, sendo que os pontos de ruptura das séries de vazões mínimas datam principalmente da década de 1990 e apresentam magnitude de redução expressiva (25 a 40%). Para as vazões máximas, houve uma tendência expressiva de aumento (28 a 48%), especialmente no Rio Braço Norte Direito e no Rio Itapemirim. Além da precipitação, a mudança no uso da terra e a dinâmica da população nas sub-bacias foram os principais fatores de influência no comportamento das vazões.

Palavras-chave: Precipitação. Uso da terra. Estacionariedade.

ABSTRACT

GONÇALVES, Cristiane Júlio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2020. **Hidroclimatic trends in the Itapemirim river basin**. Adviser: Roberto Avelino Cecílio.

The analysis of the evolution of the streamflow over time is essential for water resources planning and management. Thus, this study aimed to analyze trends in the streamflow of the Itapemirim river watershed (BHRI) and to relate these trends with changes that occurred in rainfall and land use and land cover. For this purpose, a historical series of streamflow and rainfall data (from 1969 to 2018) for the twelve sub-watersheds were used. The Mann Kendall and Pettitt statistical tests were applied, with a 5% significance level to verify the hypothesis of stationarity in the hydrological data. Overall, there was a trend to reduce accumulated rainfall in the dry period. Rainfall in October (so far considered as the beginning of the hydrological year) showed a reduction in all stations analyzed in the study, which may indicate a shift from the beginning of the rainy period to November. In the rainy months, the increasing trend in the west and northwest portion of the watershed was only in December. The average monthly streamflow showed a downward trend and, in general, followed the downward trend in rainfall from the same month or the immediately previous one. For the minimum streamflow, a reduction was evidenced for the largest part of the watershed, and the disruption points of the series of minimum streamflow date mainly from the 1990s and have a significant reduction magnitude (25 to 40%). For maximum streamflow, there was an expressive increasing trend (28 to 48%), especially in the Braço Norte Direito river and in the Itapemirim river. In addition to rainfall, the change in land use and population dynamics in the sub-watersheds were the main factors influencing the streamflow behavior.

Keywords: Rainfall. Land use. Stationarity.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 10 |
| 2.1 Área de estudo | 10 |
| 2.2 Dados utilizados | 12 |
| 2.2.1 Dados fluviométricos e pluviométricos | 12 |
| 2.2.2 Parâmetros hidrológicos..... | 14 |
| 2.2.3 Dados topográficos | 15 |
| 2.2.4 Dados de uso do solo e populacionais..... | 15 |
| 2.3 Teste de tendência e ruptura..... | 16 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 19 |
| 4. CONCLUSÕES..... | 35 |
| REFERÊNCIAS | 36 |
| APÊNDICES | 40 |
| APÊNDICE A | 41 |
| APÊNDICE B | 43 |
| APÊNDICE C | 50 |
| APÊNDICE D | 55 |
| APÊNDICE E | 57 |

1. INTRODUÇÃO

A mudança climática global em curso tem apresentado impactos expressivos sobre processos hidrológicos regionais (LABAT ET AL. 2004, LI ET AL. 2016, DUAN ET AL. 2020), principalmente no que tange a ocorrência e amplitude de eventos hidrológicos extremos (LENG ET AL. 2015, LIU ET AL. 2017). Os impactos das mudanças climáticas são potencializados pela intensificação das atividades antrópicas, como o uso e manejo da terra, desmatamento e retirada de água em bacias hidrográficas, causando modificações no ciclo hidrológico e, conseqüentemente, no regime de vazão dos rios (LI ET AL. 2016, SILVA ET AL. 2020).

A água é o recurso mais importante para o desenvolvimento das cidades, a produção de alimentos, a indústria e outros serviços (ZAREI ET AL. 2020). Portanto, o conhecimento do regime de vazões dos rios ao longo do tempo e do espaço é fundamental para o adequado gerenciamento do potencial hídrico de bacias hidrográficas, redução das perdas agrícolas e, também, em decisões político-administrativas relacionadas ao uso da água (GONG ET AL. 2010, LIMA ET AL. 2019). Para a caracterização do regime de vazão de rios devem ser avaliados os comportamentos das vazões médias, nas escalas anual e mensal, bem como das vazões mínimas e máximas anuais (DO ET AL. 2017).

As séries históricas de vazão podem não apresentar comportamento estacionário devido à ação conjunta das alterações climáticas e antrópicas (MILLY ET AL. 2008, LU ET AL. 2015). Portanto, além da quantificação destas vazões é preciso analisar a possível ocorrência de tendências temporais nestas variáveis (DIOP ET AL. 2018, MAHMOOD & JIA 2019). Desta forma, pode-se melhor compreender a influência da variabilidade climática e da dinâmica de uso da terra sobre as vazões e, assim, desenvolver modelos hidrológicos mais adequados (JOSEPH ET AL. 2013, LAN ET AL. 2020).

A análise de tendências temporais em séries hidrometeorológicas pode ser feita com o uso dos testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall (KENDALL 1975) e de Pettitt (PETTITT 1979), os quais são amplamente utilizados devido a sua simplicidade e robustez (XU ET AL. 2015, PIRNIA ET AL. 2019).

Portanto, esses testes são importantes para verificar alterações nos padrões de precipitação e nos processos hidrológicos de bacias hidrográficas (LU ET AL. 2015).

Inserida no bioma Mata Atlântica, a bacia hidrográfica do rio Itapemirim (BHRI), apresenta um mosaico, tanto na cobertura e uso da terra, com regiões de intensa atividade agrícola e/ou densamente florestadas (LEAL ET AL. 2018), quanto na distribuição espacial da precipitação pluviométrica (DE ALMEIDA ET AL. 2020). Distinguir e analisar essas variações espaço-temporais dentro da bacia, através de análises estatísticas, é tarefa determinante para identificar possíveis tendências nas séries históricas de vazão dos rios da BHRI, visando o manejo e controle adequado dos usos múltiplos das águas para os mais diversos fins.

Do exposto, visando subsidiar informações para o planejamento e gestão dos recursos hídricos na BHRI, o objetivo geral do presente trabalho consistiu na análise das tendências das vazões, em diferentes escalas temporais (mensal e anual), para diferentes sub-bacias da BHRI. Com o intuito de explicar as possíveis tendências nas vazões, foram avaliadas também as tendências nas precipitações, além da evolução da ocupação humana e uso agrícola dos solos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área em estudo consistiu na bacia hidrográfica do rio Itapemirim - BHRI (Figura 1), localizada no sul do estado do Espírito Santo, na região hidrográfica do Atlântico Sudeste. A BHRI drena uma área de 6.181 km² e abrange 17 municípios, com uma população estimada de aproximadamente 500.000 habitantes. O rio Itapemirim é formado pelos rios Braço Norte Direito e Braço Norte Esquerdo, cujas nascentes situam-se no Parque Nacional do Caparaó (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2018).

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.



Fonte: Autora

O clima da BHRI caracteriza-se, segundo a classificação climática de Köppen, pelos tipos Cw, que corresponde ao clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno (Cwb), clima subtropical de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18°C) e verões quente, com temperaturas superiores a 22°C (Cwa), e Aw, clima tropical, com estação chuvosa no verão (ALVARES et al., 2013).

O relevo da bacia é predominantemente acidentado. Na porção oeste e em seu interior há a presença de planaltos, e na região costeira ou litorânea há predominância de planícies. Quanto aos aspectos pedológicos, há o predomínio do Cambissolo Háplico (25,71%), seguido pelo Latossolo Amarelo (22,09%) e o Argissolo Vermelho (10,05%) (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2018).

O uso do solo na BHRI é composto pela presença predominante de pastagens na porção mediana e baixa da bacia. A maior parte dos fragmentos

florestais estão distribuídos nas partes altas da bacia, onde estão localizadas as cabeceiras. Na porção superior da bacia existe também uma expressiva área de cultivo agrícola. À medida que se percorre a bacia em direção à foz, ocorre um aumento de forma acentuada das pastagens, resultando no domínio da mesma em mais da metade de toda bacia (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2018).

No âmbito econômico, a bacia apresenta a agricultura familiar como principal atividade. Tal sistema é baseado na pequena propriedade, no trabalho familiar e sem muitos recursos técnicos, seguindo um caminho inverso ao observado na maioria dos estados brasileiros, onde se consolidavam grandes latifúndios. Os principais produtos agrícolas produzidos são o café e a cana-de-açúcar (“INCAPER”, 2017). Na bacia também apresenta destaque econômico a pecuária e as indústrias, como: extração mineral de rochas ornamentais, indústria de transformação, serviços industriais entre outros; e o comércio.

2.2 Dados utilizados

2.2.1 Dados fluviométricos e pluviométricos

Foram utilizadas séries históricas com dados diários brutos e consistidos, de 12 estações fluviométricas e 42 estações pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb), da Agência Nacional das Águas – ANA. Na Figura 2 é apresentado o mapa com a localização das estações analisadas e na Tabela 1 as informações relativas ao código, nome, rio em que está localizado, e área de drenagem à montante de cada estação fluviométrica.

Figura 2 - Localização das estações fluviométricas, e estações pluviométricas na bacia do rio Itapemirim.

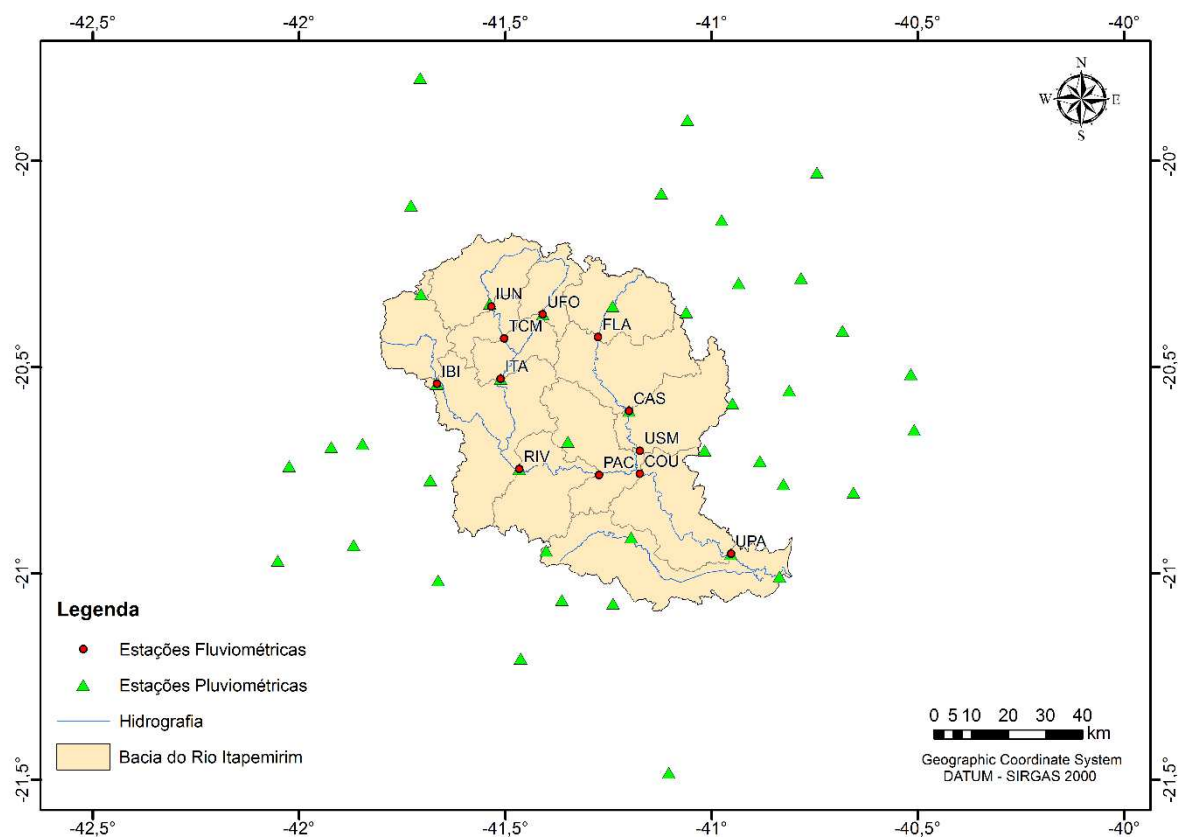


Tabela 1 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo.

| Código | Nome da estação | Rio | Área (km²) |
|---------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 57350000 | Usina Fortaleza (UFO) | Rio Braço Norte Esquerdo | 205 |
| 57360000 | Íuna (IUN) | Rio Pardo | 412 |
| 57370000 | Terra Corrida Montante (TCM) | Rio Pardo | 566 |
| 57400000 | Itaici (ITA) | Rio Braço Norte Esquerdo | 1010 |
| 57420000 | Ibitirama (IBI) | Rio Braço Norte Direito | 337 |
| 57450000 | Rive (RIV) | Rio Itapemirim | 2180 |
| 57460000 | Pacotuba (PAC) | Rio Itapemirim | 2720 |
| 57476500 | Fazenda Lajinha (FLA) | Rio Castelo | 410 |
| 57490000 | Castelo (CAS) | Rio Castelo | 972 |
| 57550000 | Usina São Miguel (USM) | Rio Castelo | 1420 |
| 57555000 | Coutinho (COU) | Rio Itapemirim | 4510 |
| 57580000 | Usina Paineiras (UPA) | Rio Itapemirim | 5170 |

O período base foi selecionado para que as estações fluviométricas apresentassem o mínimo de perda de informações, mais de 95% dos dados (Apêndice A), sendo utilizado o período de 50 anos, como é recomendado por

Seyam e Othman (2015), uma vez que registros curtos de dados podem apresentar flutuações naturais do clima. Assim, o período base definido foi de 1969 a 2018, sendo adotado o ano hidrológico de outubro a setembro. O ano hidrológico foi determinado levando em consideração o mês que apresentou maior número de repetições da vazão mínima de sete dias consecutivos (Q_7) para as séries de dados em todas as estações pluviométricas.

A seleção das estações pluviométricas foi feita considerando os registros de dados disponíveis (pelo menos 95% dos dados) e também, assim como para as estações pluviométricas (Apêndice A), o período compreendido entre 1969 e 2018, dentro e ao redor da bacia. No Apêndice A são apresentadas as informações relativas ao código, nome, latitude, longitude e altitude correspondentes às 42 estações pluviométricas consideradas no estudo.

As falhas de dados pluviométricos foram preenchidas pelo método de regressão linear simples (BERTONI; TUCCI, 2009), conforme recomendado por Bier et al. (2017), considerando estações de apoio mais próximas que não possuíam falhas no mesmo período da estação que necessitou do preenchimento. Foi aplicado como critério na escolha das estações de apoio a obtenção de Coeficiente de Determinação (R^2) maior ou igual a 0,7 entre a estação com falha e a estação de apoio selecionada para fins de preenchimento. Nos casos em que nenhuma das estações apresentou um bom ajuste estatístico, os dados não foram preenchidos, sendo descartado o período de falha.

2.2.2 Parâmetros hidrológicos

Para cada ano hidrológico das séries de vazões diárias pertinentes a cada estação pluviométrica, calcularam-se além da vazão média anual (Q_{med}), alguns dos parâmetros hidrológicos sugeridos como Indicadores de Alterações Hidrológicas (SOUZA et al., 2017): vazões médias mensais (Q_{JAN} , ..., Q_{DEZ}); vazão mínima com 7, 30 e 90 dias de duração (Q_7 , Q_{30} e Q_{90}); e vazão máxima diária (Q_{max}).

Em cada ano hidrológico determinaram-se também, para cada área de contribuição, 20 índices pluviométricos sazonais referentes aos totais precipitados em diferentes épocas. Os índices pluviométricos foram precipitação total para cada

ano hidrológico (P_a); precipitação total de cada mês ($P_{\text{JAN}}, \dots, P_{\text{DEZ}}$); precipitação do semestre mais seco (P_{ss}); precipitação do semestre mais chuvoso (P_{sc}); precipitação do inverno austral (P_{ia}); precipitação do verão austral (P_{va}); precipitação do mês mais seco (P_{ms}); precipitação do mês mais chuvoso (P_{mc}); e precipitação máxima diária de cada ano (P_{max}). Para a determinação dos totais precipitados, os dados de chuva pertinentes a cada estação pluviométrica foram primeiramente espacializados por meio do interpolador inverso do quadrado da distância, indicado para a BHRI (MENDES; CECÍLIO; ZANETTI, 2018). Posteriormente determinaram-se os valores médios dentro das áreas de drenagem de cada estação.

2.2.3 Dados topográficos

Utilizou-se a base topográfica obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizado pelo USGS (*United States Geological Survey*), com dados altimétricos de 30 metros de resolução espacial. Com auxílio de sistemas de informação geográfica, foi gerado um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) e delimitadas as áreas de contribuição de cada estação fluviométrica.

2.2.4 Dados de uso do solo e populacionais

Para a caracterização da evolução anual do uso da terra em cada sub-bacia, utilizaram-se os mapas referentes ao período de 1969 a 2014 (DIAS ET AL. 2016), nas quais as classes de interesse foram as pastagens (naturais e plantadas) e as terras cultivadas. Ademais, séries históricas de população residente em cada sub-bacia foram compiladas após consulta aos dados dos Censos Demográficos do Brasil (de 1970 a 2010), disponíveis no portal SIDRA, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (<https://sidra.ibge.gov.br/>).

2.3 Teste de tendência e ruptura

Para a análise estatística dos índices hidrológicos, utilizaram-se dois testes estatísticos não-paramétricos, indicado para estudos de séries temporais (SEYAM & OTHMAN 2015, LI ET AL. 2016, GÜÇLÜ 2018, MAHMOOD & JIA 2019, LAN ET AL. 2020, RYBERG ET AL. 2020): “Mann-Kendall test”, para verificar tendências crescentes ou decrescentes, através da hipótese nula (H_0) de que não há tendência nas séries temporais; e “Pettitt change point test”, usualmente utilizado para identificar o ponto de mudança abrupta do valor médio da série temporal analisada. Os testes de Mann-Kendall e Pettit, devido a natureza não paramétrica, não exigem o pressuposto de normalidade dos dados, como ocorre com testes paramétricos e são considerados os testes mais indicados na análise de tendências.

Primeiramente aplicou-se o Mann-Kendall nos dados de vazões e chuva das sub-bacias. Neste teste, a hipótese nula H_0 (sem tendência), pressupõe que a sucessão de valores (X_1, \dots, X_n) são uma amostra de n variáveis com ocorrência independente e ordenadas aleatoriamente. A hipótese alternativa H_1 (com tendência) do teste infere que a distribuição de X_k e X_j não é idêntica para todos $k, j \leq n$ com $k \neq j$. O procedimento para o teste de tendência (S) é descrito na Equação 1 (Xu et al. 2015):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sinal}(X_j - X_k) \quad (1)$$

$$\text{sinal}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

Quando $n \geq 10$, a variável S pode ser comparada com uma distribuição normal, e a variância $\text{Var}(S)$ pode ser expressa pela Equação 2:

$$\text{Var}(S) = n \frac{(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (2)$$

em que t_i é o número de repetições de uma extensão i .

A estatística Z para testar a significância de S é:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

em que Z positivo/negativo indica uma tendência ascendente/descendente. A hipótese nula (H_0) será aceita se $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ com significância α (0,05), que indica a força da tendência.

Posteriormente, para as vazões que apresentaram tendência, aplicou-se o teste de Pettitt que, além de verificar estacionariedade ou não da série, identifica o ano de ocorrência de ruptura da série, em caso de não estacionariedade. A hipótese nula para este teste (H_0) é que as observações são independentes e identicamente distribuídas. Supondo que R_1, \dots, R_t sejam as fileiras das t observações Y_1, \dots, Y_t na amostra completa de n observações crescentes. Para um teste em que a hipótese alternativa não especifica a direção da mudança. A estatística não paramétrica é definida como (Equações 4 e 5):

$$K_T = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{t,N}| \quad (4)$$

$$U_{t,T} = 2 \sum_{j=1}^t R_j - t(n+1), \quad j=1, \dots, t \quad (5)$$

O ponto de mudança da série está localizado em K_T , desde que a estatística seja significativa. A probabilidade de significância de K_T é aproximada para $p \leq 0,05$ (LI ET AL. 2016), obtida através de (Equação 6):

$$p \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6 (K_T^2)}{T^3 + T^2} \right\} \quad (6)$$

em que p é a significância; K_T é o valor crítico; T é o número de anos da série histórica. Quando p é menor que a significância específica neste estudo (0,05), a hipótese nula é rejeitada.

A análise de tendência foi aplicada para estudar o comportamento da vazão e da precipitação no decorrer do tempo. Para isso, foi verificada a hipótese de estacionariedade, considerando o ano hidrológico para o conjunto de dados de vazão e chuva, sendo os testes aplicados para todas as variáveis propostas neste estudo.

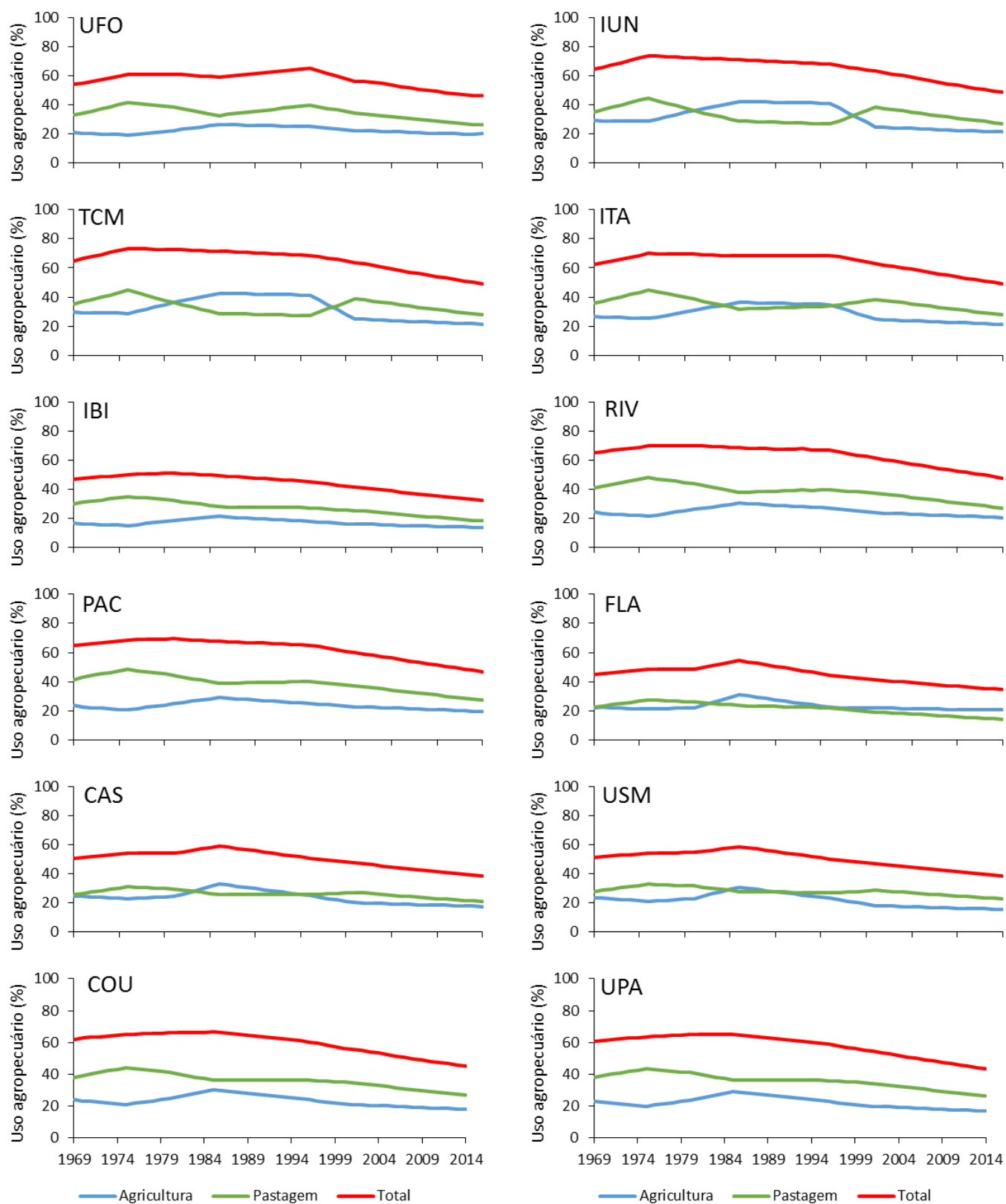
Para quantificar a tendência nas sub-bacias da BHRI, aplicaram-se as análises de inclinação de Sen (SEN 1968), que representam uma estimativa robusta da magnitude de uma tendência (ONYUTHA ET AL. 2016). A inclinação de Sen representa a taxa de variação da variável hidrológica (mm ano^{-1} ou $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$), utilizada como variável resposta na análise de regressão com os anos como variável preditora (GÜÇLÜ 2018, MAHMOOD & JIA 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o comportamento do uso agropecuário do solo (pastagem e agricultura) em sub-bacia para o período compreendido entre os anos de 1969 e 2014, constantes da base de dados de (DIAS et al., 2016). O uso agropecuário sempre foi responsável, nesse período, por mais de 50% da ocupação dos solos nestas áreas de drenagem. Ademais, as pastagens quase sempre predominaram sobre a agricultura, com exceção feita à sub-bacia FLA, na qual a ocupação pela agricultura é maior que as pastagens desde o início da década de 1980.

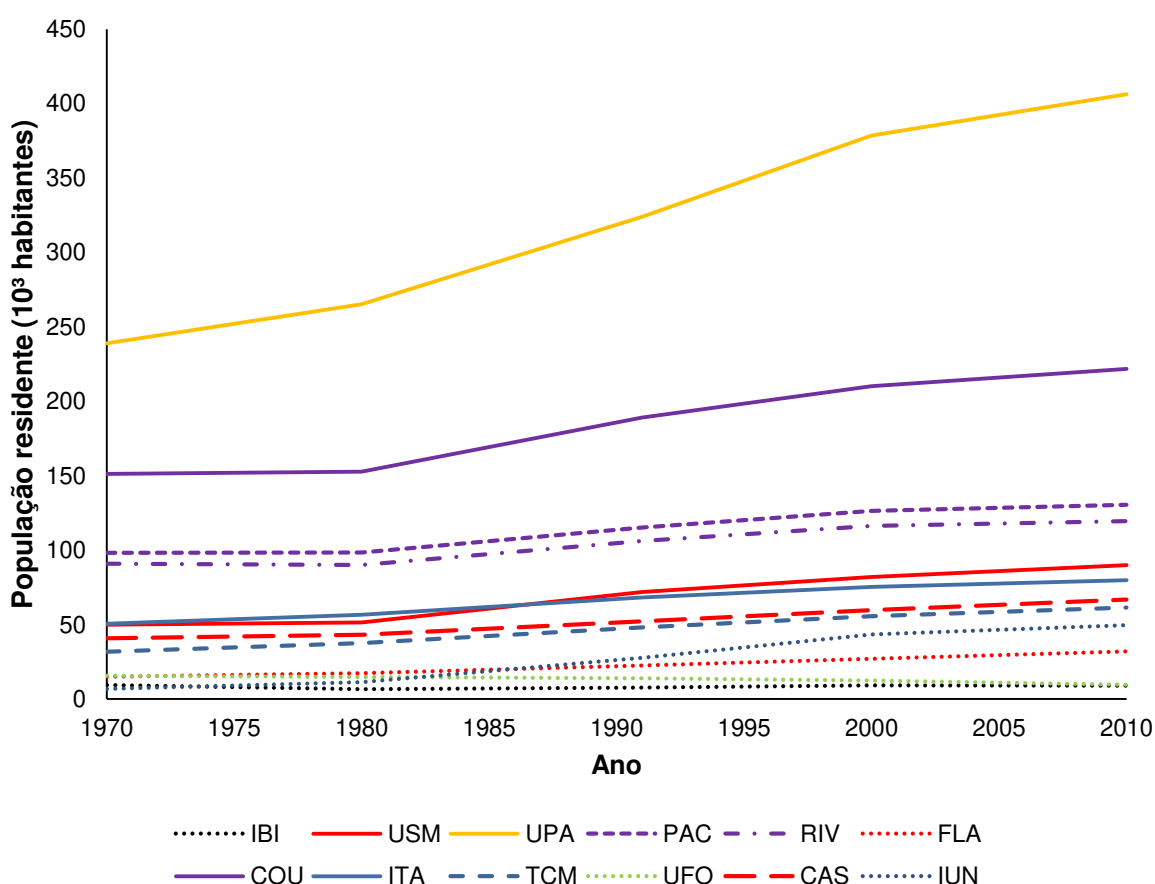
De maneira geral, observa-se que no período avaliado, em todas as áreas de drenagem, ocorreu um incremento inicial do uso agrícola da terra, que se estendeu, no máximo, até meados da década de 1980. Posteriormente, ocorreu uma redução da área agrícola; todavia, com um percentual de ocupação muito próximo àquele de 1969. Para a maior parte das sub-bacias, o período de redução do uso agrícola deve-se, em especial, à redução das áreas sob pastagens, enquanto o aumento ocorreu devido à intensificação da agricultura. Exceção a esta generalização são as sub-bacias IUN, TCM e ITA, nas quais houve expressiva substituição de agricultura por pastagens em meados da década de 1990.

Figura 3 - Porcentagem do uso agropecuário nas áreas de drenagem da BHRI.



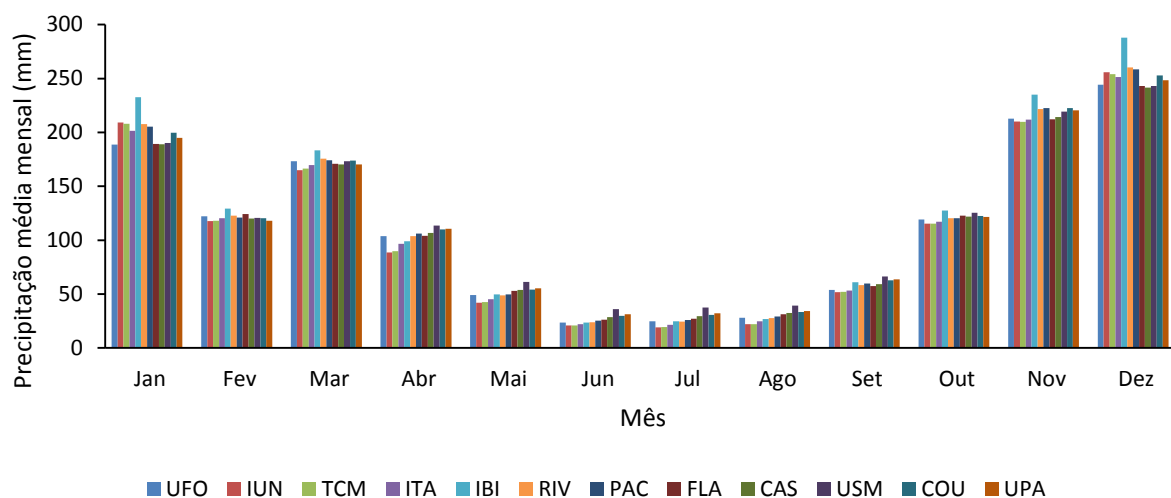
Na Figura 4 são apresentadas as séries históricas de população residente em cada sub-bacia para o período entre 1970 e 2010. De maneira geral, observa-se que as maiores taxas de crescimento populacional ocorreram no período entre 1980 e 2000. Ocorreu redução da população residente apenas em UFO, devido ao fato da inexistência de áreas urbanas dentro desta sub-bacia, ilustrando a migração da população do campo para as cidades, ocorrida em toda a BHRI.

Figura 4 - Séries históricas de população residente em cada área de drenagem da BHRI.



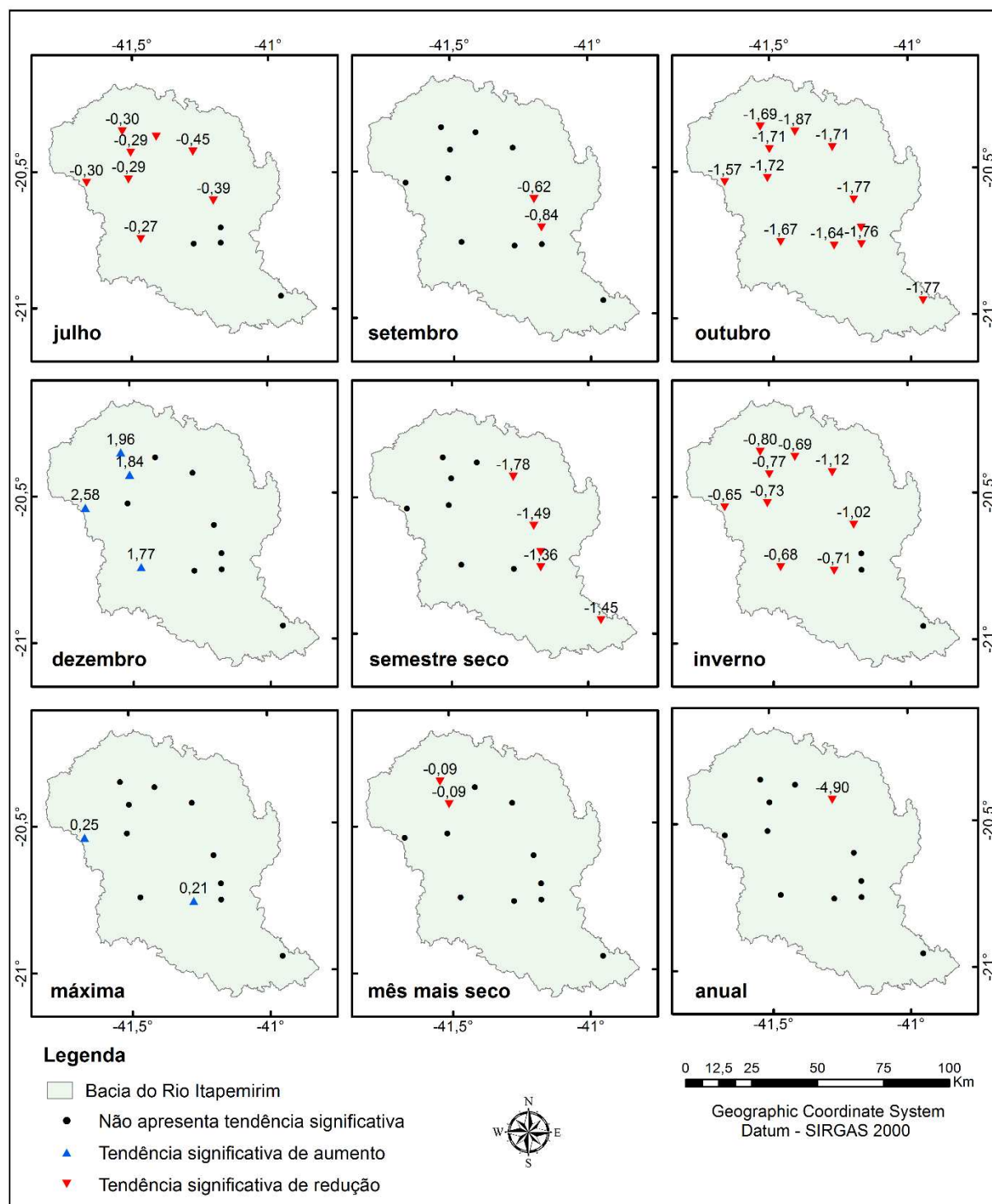
O comportamento médio das precipitações mensais em cada área de drenagem da BHRI é apresentado na Figura 5. Observa-se que os meses de abril a setembro apresentam o menor total precipitado (~300 mm). Nos meses de outubro a março concentram-se as maiores lâminas de chuva, aproximadamente 1100 mm, equivalentes a 79% da precipitação total do ano hidrológico.

Figura 5 - Precipitações médias mensais (1969-2018) em 12 áreas de drenagem BHRI.



A Figura 6 apresenta as áreas de drenagem para as quais as séries de precipitações mensais e sazonais apresentaram tendências significativas com 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Mann-Kendall. Apresentam-se também as inclinações de Sen (mm ano^{-1}) pertinentes às tendências que foram observadas. As tabelas com os resultados estatísticos da aplicação dos testes de Mann-Kendall nos dados de precipitação da bacia do rio Itapemirim, para todas as estações analisadas, estão apresentadas no Apêndice B. Dos 20 índices pluviométricos calculados, apenas nove apresentaram algum tipo de tendência em uma ou mais sub-bacias. Dentre as tendências, a maior parte refere-se à redução de totais precipitados.

Figura 6 - Comportamento das tendências nos índices pluviométricos sazonais para as sub-bacias da BHRI ($p \leq 0,05$). Os números nos rótulos de cada sub-bacias representam a declinação de Sen expressa em mm ano^{-1} .



Nota-se que a maior parte dos índices de precipitação que apresentaram tendência de redução, de maneira geral, referem-se aos meses que possuem

menor precipitação (P_{JUL} e P_{SET}), aos períodos mais secos (P_{SS} , P_{IA} , P_{MS}), e ao mês de outubro, que representa a transição entre o período seco e chuvoso. As reduções nos totais precipitados mensais são de pequena magnitude, inferiores a $2,0 \text{ mm ano}^{-1}$, mas abrangem as áreas de todas as sub-bacias, em especial no mês de outubro. Estes resultados mostram tendência de intensificação da seca, com ampliação de sua duração na BHRI, sendo evidenciada uma mudança na distribuição das chuvas durante o ano, como observado em outro trabalho (REGOTO et al., 2018) que abrangeu a BHRI, mostrando aumento do número de dias consecutivos sem chuva.

O mês de outubro destaca-se por apresentar tendência significativa de redução para todas as estações do estudo, com redução máxima de $1,9 \text{ mm ano}^{-1}$. Essa alteração no regime precipitação pode estar associada a uma defasagem no início do período chuvoso, marcada pela diminuição das chuvas nos meses de setembro e outubro, indicando uma possível tendência de mudança no início do ano hidrológico para o mês de novembro, corroborando outros trabalhos desenvolvidos no Brasil (SENA ET AL. 2018, LEITE-FILHO ET AL. 2020, SILVA ET AL. 2020).

As áreas de drenagem localizadas na bacia do rio Castelo (FLA, CAS e USM) em geral apresentaram maiores reduções (declividade de Sen) dos índices de precipitação. Com relação ao total precipitado anual, apenas a sub-bacia FLA apresentou resultados estatisticamente significativos, evidenciando a tendência de redução de $4,9 \text{ mm ano}^{-1}$. Outro estudo na BHRI, utilizando período de dados entre 1984 e 2014 (MENDES ET AL. 2019), não identificou tendências significativas na P_a .

Tendências de aumento da precipitação ocorreram apenas para a P_{DEZ} e para a P_{max} , as quais ocorreram nas porções Oeste e Noroeste, nas áreas mais altas da BHRI, onde situam-se as nascentes do rio Itapemirim (Caparaó). As magnitudes destes aumentos foram mais expressivas para a P_{DEZ} (entre $1,8$ e $2,6 \text{ mm ano}^{-1}$) que para a P_{max} (inferiores a $0,2 \text{ mm ano}^{-1}$). Estas tendências podem ter relação com as vazões máximas destas porções, bem como do rio Itapemirim, conforme relatado na sequência deste trabalho.

Embora as tendências na precipitação tenham sido poucas e pequenas, os resultados indicam, para a BHRI, a ocorrência de um período seco mais longo e um

período chuvoso com maior concentração das chuvas, corroborando com outros estudos, os quais apontam para intensificação dos eventos externos de chuva no Espírito Santo (TEIXEIRA & SATYAMURTY 2011, ZILLI ET AL. 2017, REGOTO ET AL. 2018). A intensificação das chuvas máximas tem como consequências o aumento da frequência e magnitude das inundações (UNKAŠEVIĆ & TOŠIĆ 2011), bem como o agravamento da degradação dos solos (CARVALHO ET AL. 2020). Por outro lado, a ampliação do período de secas pode levar a perdas de produtividade agrícola (FULLER ET AL. 2018, LIMA ET AL. 2019, CARVALHO ET AL. 2020), principal uso da terra da BHRI e principal atividade econômica (Figura 3).

A Figura 7 apresenta, para as vazões médias mensais, os resultados da análise de tendência (tendência positiva, negativa ou nula e inclinação de Sen) que possuíram significância para a variável analisada nas áreas de drenagem das estações estudadas. Os resultados do teste de tendência de Mann-Kendall, para os valores de vazão médias mensais e anuais, estão apresentados no Apêndice C. Para as vazões que apresentaram tendência significativa pelo teste de Mann-Kendall, foi aplicado o teste de Pettitt (Apêndice C), a fim de identificar se ocorreram mudança nas vazões médias. A Tabela 2 ilustra os casos em que ocorreram mudanças nas vazões médias mensais.

Figura 7- Comportamento das tendências nas vazões médias mensais para as sub-bacias da BHRI ($p \leq 0,05$). Os números nos rótulos de cada sub-bacia representam a declinação de Sen expressa em $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

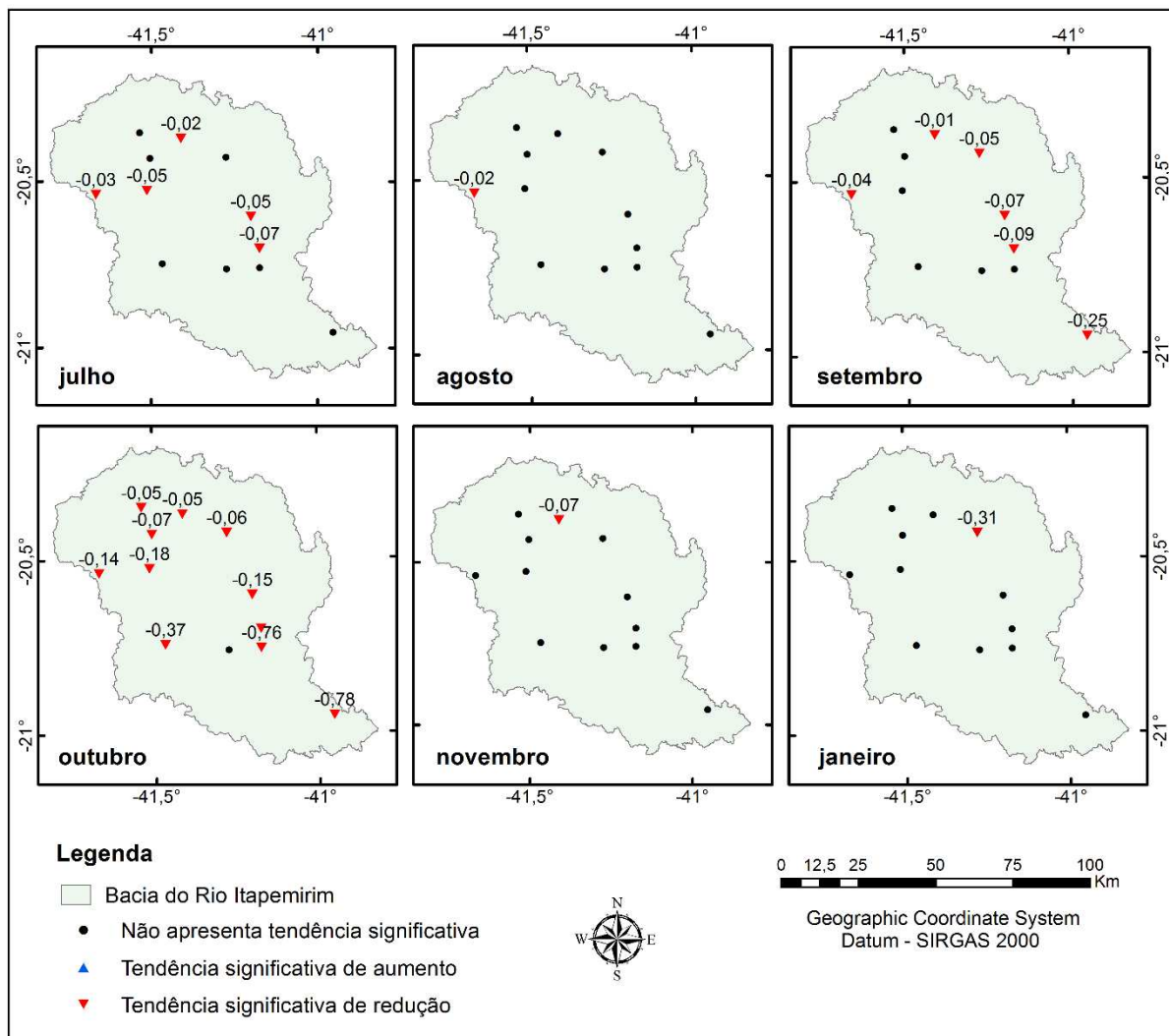


Tabela 2 - Análise dos pontos de ruptura nas vazões médias mensais para as sub-bacias da BHRI ($p \leq 0,05$).

| Estação | Mês | Média no período anterior à mudança (m^3s^{-1}) | Média no período posterior à mudança (m^3s^{-1}) | Ano de mudança | Diferença (%) |
|---------|----------|---|--|----------------|---------------|
| UFO | setembro | 2,184 | 1,424 | 1997 | -35 |
| | outubro | 3,311 | 1,568 | 1998 | -53 |
| | novembro | 6,969 | 3,666 | 2001 | -47 |
| IUN | outubro | 6,33 | 4,55 | 1985 | -28 |
| TCM | outubro | 8,28 | 5,653 | 1985 | -32 |
| ITA | outubro | 12,878 | 7,855 | 1998 | -39 |
| IBI | julho | 4,567 | 3,457 | 1994 | -24 |
| | agosto | 3,716 | 2,853 | 1994 | -23 |
| | setembro | 4,644 | 3,15 | 1997 | -32 |
| | outubro | 11,031 | 6,495 | 1985 | -41 |
| RIV | outubro | 33,493 | 21,386 | 1985 | -36 |
| FLA | setembro | 3,593 | 2,491 | 1994 | -31 |
| | outubro | 4,658 | 3,069 | 1998 | -34 |
| | janeiro | 18,072 | 10,065 | 2004 | -44 |
| CAS | julho | 8,172 | 6,492 | 1994 | -21 |
| | setembro | 7,483 | 5,269 | 1992 | -30 |
| | outubro | 11,314 | 6,69 | 1992 | -41 |
| USM | setembro | 11,439 | 8,511 | 1997 | -26 |
| | outubro | 16,392 | 10,094 | 1999 | -38 |
| COU | outubro | 59,051 | 37,372 | 1985 | -37 |
| UPA | outubro | 62,433 | 39,853 | 1985 | -36 |

Observa-se, pela Figura 7, que todas as tendências observadas concentraram-se nos meses entre Julho e Janeiro, excetuando-se Dezembro. Nesses meses, todas as tendências foram de decréscimo da vazão média mensal. De maneira geral, as tendências de redução das vazões mensais (Figura 7) acompanharam as tendências de redução das precipitações do mesmo mês ou do mês imediatamente anterior (Figura 6).

Destaca-se, na Figura 7, o comportamento do mês de Outubro, no qual há tendência significativa decrescente em quase todas as estações, com redução máxima de $0,78 m^3 s^{-1} ano^{-1}$ (UPA). Essas reduções, associadas à diminuição das chuvas, indicam um prolongamento do período seco do ano hidrológico.

Observa-se, na Tabela 2, que a maior parte das rupturas nas vazões médias dos meses mais secos (Julho, Agosto e Setembro) ocorreu durante a década de 1990, coincidindo com o início do maior crescimento populacional na BHRI e suas sub-bacias (Figura 4), e justificando um maior consumo de água, com consequente redução das vazões médias (WADA ET AL. 2013). As rupturas nos meses chuvosos (Novembro e Janeiro) são mais recentes, do início dos anos 2000.

Já para o mês de transição entre a estação mais seca e a mais chuvosa (Outubro), as mudanças ocorreram em dois períodos. O primeiro no ano de 1985 para as áreas IUN, TCM, IBI, RIV, COU e UPA. O outro período observado é a década de 1990, que apresentou mudança de tendência para a estação CAS a partir do ano de 1992, nas estações UFO, ITA e FLA, a partir do ano de 1998; e para USM no ano de 1999. Desta forma, observa-se que as mudanças para a bacia do Rio Castelo (FLA, CAS e USM) foram mais recentes que para o restante da BHRI.

Com relação às magnitudes das mudanças, observa-se que estas são bastante expressivas. As vazões médias mensais reduziram entre 21 e 35% nos meses mais secos, e entre 44 e 47% para os meses mais chuvosos. O mês de outubro apresentou reduções entre 28 e 53% nas vazões médias, reforçando a tendência de atraso no início do ano hidrológico, anteriormente discutida.

A análise do comportamento das vazões médias mensais torna-se importante uma vez que a mera análise do comportamento da Q_{med} dá a impressão equivocada de que não tem ocorrido redução da disponibilidade hídrica na BHRI. As expressivas reduções nas vazões entre Julho e Outubro caracterizam a diminuição da disponibilidade hídrica de 11 das 12 sub-bacias, sobretudo nesses meses em que a água é mais escassa. Desta forma, pode haver comprometimento do acesso à água por todos os setores usuários durante esses meses em questão. Situações mais preocupantes são evidenciadas em IBI, UFO, FLA (as menores sub-bacias) e CAS (imediatamente à jusante de FLA), nas quais pelo menos três meses apresentaram redução das vazões em valores que variam de 21 a 53%.

Estudo recente relacionado à pegada hídrica na BHRI (LEAL ET AL. 2018) demonstrou preocupação com relação à pegada hídrica azul (água captada diretamente nos corpos hídricos) nas sub-bacias do rio Castelo (FLA, CAS e USM). Segundo os autores, valores de escassez de água azul (EA_{azul}) superiores a 0,5 são preocupantes com relação à manutenção do abastecimento e ocorrem em setembro

nessas sub-bacias, e estão próximos a estes limites em julho e agosto. Como o trabalho citado usou apenas as médias históricas de vazão mensal para obtenção da água azul, é possível que a EA_{azul} esteja subestimada para outubro e esse também seja um mês que preocupe com relação à disponibilidade hídrica.

Na Figura 8 são apresentados os resultados da análise de tendência estatística para os valores de vazão mínima (Q_7 , Q_{30} e Q_{90}). Para as vazões mínimas que apresentaram tendência significativa pelo teste de Mann-Kendall, foi aplicado o teste de Pettitt a fim de identificar se ocorreu mudança da inclinação das curvas de tendência, com 5% de significância (Tabela 3).

Figura 8- Comportamento das tendências nas vazões mínimas de 7, 30 e 90 dias consecutivos (Q_7 , Q_{30} e Q_{90}) para as sub-bacias da BHRI ($p \leq 0,05$). Os números nos rótulos de cada sub-bacia representam a declinação de Sen expressa em $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

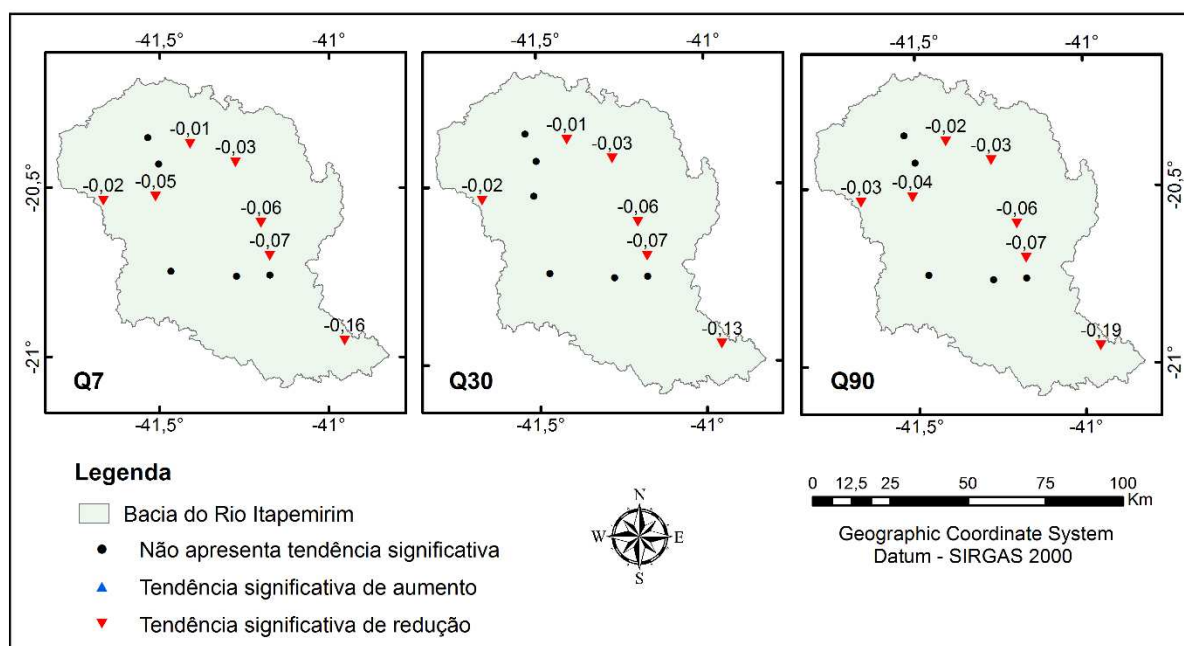


Tabela 3 - Análise dos pontos de ruptura nas vazões mínimas de 7, 30 e 90 (Q₇, Q₃₀ e Q₉₀) dias para as sub-bacias da BHRI (valor-p ≤ 0,05).

| Estação | Vazão | Média no período anterior à mudança (m ³ s ⁻¹) | Média no período posterior à mudança (m ³ s ⁻¹) | Ano de mudança | Diferença (%) |
|---------|-----------------|---|--|----------------|---------------|
| UFO | Q ₇ | 1,364 | 0,874 | 1997 | -36 |
| | Q ₃₀ | 1,704 | 1,092 | 1997 | -36 |
| | Q ₉₀ | 2,006 | 1,352 | 1998 | -33 |
| IBI | Q ₇ | 2,773 | 2,005 | 1992 | -28 |
| | Q ₃₀ | 3,167 | 2,332 | 1994 | -26 |
| | Q ₉₀ | 3,797 | 2,841 | 1994 | -25 |
| FLA | Q ₃₀ | 2,900 | 1,959 | 1994 | -32 |
| | Q ₉₀ | 3,342 | 2,411 | 1994 | -28 |
| CAS | Q ₇ | 5,094 | 3,081 | 1994 | -40 |
| | Q ₃₀ | 6,142 | 4,046 | 1992 | -34 |
| | Q ₉₀ | 7,096 | 5,128 | 1992 | -28 |
| USM | Q ₇ | 7,866 | 5,665 | 1997 | -28 |
| | Q ₃₀ | 9,410 | 6,931 | 1997 | -26 |
| | Q ₉₀ | 10,83 | 8,591 | 1997 | -21 |

Observa-se que a tendência para as três vazões mínimas foi de decréscimo, refletindo o mesmo comportamento das vazões médias dos meses mais secos, os quais são os meses em que essas vazões mínimas ocorrem (Figura 7), em especial Q_{SET} (menor das médias mensais). As sub-bacias mais afetadas foram as do Rio Castelo (FLA, CAS e USM) e as das porções mais elevadas (IBI e UFO). A redução das vazões mínimas aparentemente tem relação espacial com o comportamento de redução das chuvas no período mais seco do ano hidrológico (P_{ms}, P_{ss} e P_{ia}), evidenciados na Figura 6.

De forma diferente dos resultados deste trabalho, (Mendes et al. 2019) encontraram tendência ($p < 0,05$) na Q₇ da BHRI apenas para UFO. Todavia, estes autores trabalharam com uma base de dados mais curta (a partir de 1980). Como os pontos de ruptura das séries utilizadas neste estudo ocorreram entre 1992 e 1997, pelo menos 75% da série analisada por Mendes et al. (2019) estava contida no período mais recente, o que pode ter refletido na estatística do teste. As vazões apresentam respostas não somente ao regime de precipitações, mas também ao uso da terra, uso da água pela irrigação e construção de barragens (Mahmood & Jia

2019). As Figuras 3 e 4 evidenciam mudanças expressivas no uso da terra e do contingente populacional na bacia, a partir da década de 1980, o que pode ter refletivo nos resultados de tendência para as vazões mínimas.

As sub-bacias que apresentaram tendências de decréscimo das vazões mínimas (Tabela 3) são as mesmas para as quais evidenciou-se uma situação mais preocupante com relação à redução das vazões médias mensais no período seco. Reforça-se, portanto, a situação de preocupação no que tange a estas bacias específicas. Os pontos de ruptura das séries de vazões mínimas datam da década de 1990 e apresentam magnitude de redução expressiva (entre 25 e 40%), sendo maiores para a Q_7 que para as demais vazões mínimas. A década de 1990 consiste naquela com maior taxa de crescimento populacional em todas as sub-bacias estudadas (Figura 4), em especial de uma maior expansão dos núcleos urbanos. Portanto, acredita-se que o maior consumo humano de água seja um dos responsáveis pelas reduções das vazões mínimas (WADA ET AL. 2013) a partir desta década. Ressalta-se que as maiores demandas por água para abastecimento urbano, industrial e irrigação atualmente estão associadas a duas regiões de maior redução das vazões: bacia do rio Castelo (FLA, CAS e USM) e Baixo Itapemirim (UPA) (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2018), o que demonstra a necessidade de ações para incrementar a disponibilidade hídrica nestas áreas e ações sobre o planejamento e a gestão do uso da água.

As alterações no uso da terra, caracterizadas pela redução das áreas agrícolas podem ter impactado nas vazões mínimas. Associada à redução da agricultura (Figura 3) e pecuária, houve incremento de florestas na BHRI (MENDES ET AL. 2018). Comparativamente à agricultura, o reflorestamento pode gerar substancial incremento da evapotranspiração real, em especial nos meses mais secos, devido ao aumento da capacidade de captação de água subterrânea pelas raízes mais profundas das florestas naturais ou plantadas (CHRISTINA ET AL. 2017, GRIBOVSKI ET AL. 2017). Desta forma, as vazões mínimas, e até as vazões médias dos meses mais secos, tendem a ser reduzidas, conforme tendências evidenciadas na BHRI.

A Figura 9 apresenta os resultados da análise de tendência (tendência positiva, negativa ou nula, e inclinação de Sen) para as vazões máximas que apresentaram significância nas áreas de drenagem das estações estudadas. Os

resultados do teste de tendência de Mann-Kendall estão apresentados no Apêndice E. Para as Q_{max} que apresentaram tendência significativa pelo teste de Mann-Kendall, foi aplicado o teste de Pettitt (Apêndice E) a fim de identificar se ocorreu mudança nas vazões médias. A Tabela 4 ilustra os casos em que ocorreu ruptura nas vazões máximas.

Figura 9 - Tendências nas vazões máximas anuais para as sub-bacias da BHRI ($p \leq 0,05$). Os números nos rótulos de cada sub-bacia representam a declinação de Sen expressa em $m^3 s^{-1} ano^{-1}$.

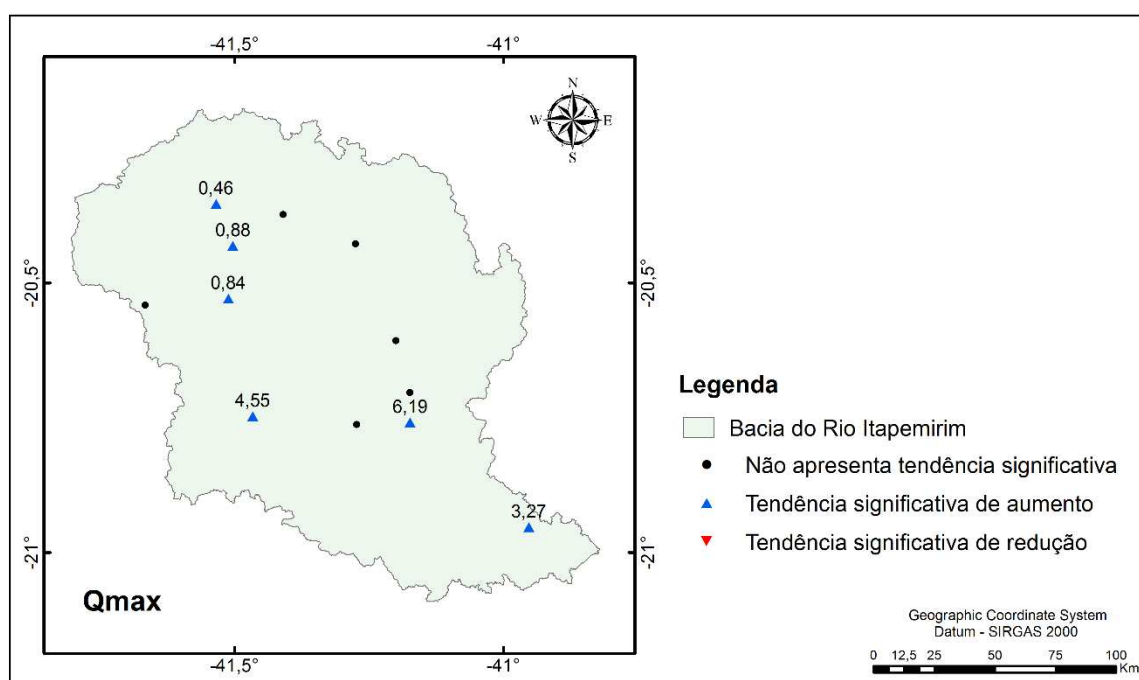


Tabela 4 - Análise dos pontos de ruptura nas vazões máximas para as sub-bacias da BHRI ($p \leq 0,05$).

| Estação | Média no período anterior à mudança ($m^3 s^{-1}$) | Média no período posterior à mudança ($m^3 s^{-1}$) | Ano de mudança | Diferença (%) |
|---------|--|---|----------------|---------------|
| TCM | 68,594 | 101,549 | 1990 | 48 |
| ITA | 104,62 | 133,7 | 1990 | 28 |
| RIV | 334,447 | 477,613 | 1990 | 43 |
| COU | 468,101 | 688,328 | 2000 | 47 |

As tendências de Q_{max} foram significativamente crescentes para as sub-bacias do rio Itapemirim, desde as cabeceiras na porção Oeste e Noroeste da bacia até a foz em UPA. De forma semelhante, outros trabalhos (DO ET AL. 2017, MENDES ET AL. 2019) encontraram, para a BHRI e seu entorno, a predominância de tendência nula no comportamento das Q_{max} , sendo que as poucas tendências evidenciadas foram positivas.

O comportamento das precipitações (Figura 6) demonstrou incremento de P_{DEZ} e P_{max} nas sub-bacias das porções Oeste e Noroeste da BHRI, justificando, em parte, essa tendência de aumento de Q_{max} . Embora as precipitações sejam frequentemente relacionadas às mudanças das Q_{max} (RYBERG ET AL. 2020), esta é a vazão ocorrida em um dia específico, a qual é mais relacionada a eventos isolados ou chuvas intensas que ocorrem em um ou em poucos dias consecutivos, ou seja, é mais relacionada a chuvas extremas do que com totais mensais. Por isso, apesar da precipitação nos demais meses mais chuvosos da bacia não ter apresentado mudanças expressivas de comportamento, o aumento na Q_{max} pode estar associado ao aumento na frequência e intensidade dos dias chuvosos e da precipitação diária extrema (BURN & WHITFIELD 2018), os quais estão aumentando nas porções oeste e noroeste da BHRI (ZILLI ET AL. 2017, REGOTO ET AL. 2018). Ademais, a maior urbanização destas sub-bacias, refletida pelo aumento populacional (Figura 4) ajuda a explicar as maiores Q_{max} (BURN & WHITFIELD 2018, HODGKINS ET AL. 2019), em especial em COU e UPA, imediatamente à jusante dos maiores núcleos urbanos da BHRI.

Observa-se pela Tabela 4 que a ruptura da Q_{max} em TCM, ITA e RIV ocorreu em 1990 e em COU ocorreu em 2000. Estes períodos são marcados por uma maior taxa de crescimento populacional nestas sub-bacias, justificando, em parte, o incremento das Q_{max} devido ao aumento da área urbana, e a impermeabilização do solo, que ocasiona aumento do escoamento superficial, conforme demonstrado em outros estudos (WEI ET AL. 2018, HODGKINS ET AL. 2019, AIRES ET AL. 2020, SEIDL ET AL. 2020). Os aumentos nas Q_{max} são expressivos (entre 28 e 48%) e podem ter relação também com o aumento de eventos de cheia e inundação na BHRI (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2018). Atenção especial deve ser dada para a região logo à jusante de COU, onde situa-se Cachoeiro do

Itapemirim, maior cidade da BHRI, e uma das áreas com maior risco de inundação (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2018).

As mudanças nos padrões de precipitação têm sido observadas ao redor do mundo devido à mudanças climáticas (GÜÇLÜ 2018, DUAN ET AL. 2020). As vazões de referência respondem não só as condições climáticas, à precipitação principalmente, mas também às mudanças no uso terra, às atividades desenvolvidas no local e indicam padrões climáticos regionais e de uso da terra como impulsionadores de mudanças nos fluxos (MAHMOOD & JIA 2019, RYBERG ET AL. 2020). Estudos em escalas regionais são extremamente importantes para auxiliar na tomada de decisão para mitigar os efeitos da variabilidade climática, no que tange a gestão e o manejo de recursos hídricos.

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados podem subsidiar informações para o planejamento e gestão local dos recursos hídricos e, com base nestes, pode-se concluir que para a BHRI:

- Existe uma tendência de redução da precipitação durante os meses mais secos (entre Julho e Outubro).
- Embora não haja tendência de alteração na Q_{med} , foi evidenciada redução nas vazões médias durante os meses mais secos, entre julho e outubro, relacionando-se às reduções nas precipitações mensais.
- A P_{OUT} e a Q_{OUT} apresentaram redução para a maior parte das estações analisadas no estudo, podendo indicar um retardo do início do período chuvoso para novembro.
- Para as vazões mínimas foi evidenciada uma tendência de redução expressiva (entre 25 e 45%) para a maior parte das sub-bacias, em especial nas do Rio Castelo, relacionadas às mudanças nas precipitações, uso do solo e urbanização.
- Houve tendência expressiva de aumento das Q_{max} (entre 28 e 48%), especialmente nas sub-bacias dos rios Braço Norte Direito e Itapemirim, relacionadas às precipitações mais concentradas e à urbanização.

REFERÊNCIAS

- AIRES, U. R. V. et al. The Use of the Normalized Difference Vegetation Index to Analyze the Influence of Vegetation Cover Changes on the Streamflow in the Manhuaçu River Basin, Brazil. **Water Resources Management**, 2020.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (2018). Diagnóstico e prognóstico das condições de uso da água na bacia hidrográfica do rio Itapemirim. Vitória, pp. 583. Retrieved from <https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documentação>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2016). Sistema de Informação Hidrológicas - Hidroweb. Retrieved 3 February 2016, from www.hidroweb.ana.gov.br
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. Precipitação. In: UFRGS; ABRH (Eds.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: 2 reimpressão, 2009. p. 939.
- BEVEN, K. J. et al. Testing a physically-based flood forecasting model (TOPMODEL) for three U.K. catchments. **Journal of Hydrology**, v. 69, n. 1–4, p. 119–143, fev. 1984.
- BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T.; BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T. Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos para Estações no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 215–226, jun. 2017.
- BURN, D. H.; WHITFIELD, P. H. Changes in flood events inferred from centennial length streamflow data records. **Advances in Water Resources**, v. 121, p. 333–349, 2018.
- CARVALHO AA DE, MONTENEGRO AA DE A, SILVA HP DA, LOPES I, MORAIS JEF DE, SILVA TGF DA (2020). Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 24: 15–23. - doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p15-23
- CHRISTINA, M. et al. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. **Functional Ecology**, v. 31, n. 2, p. 509–519, fev. 2017.
- DE ALMEIDA KN, DOS REIS JAT, BUARQUE DC, MENDONÇA ASF, RODRIGUES MB, DE LAIA NASCIMENTO SÁ G (2020). Performance analysis of TRMM satellite in precipitation estimation for the Itapemirim River basin, Espírito Santo state, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**. 141: 791–802. - doi: 10.1007/s00704-020-03204-5
- DIAS, L. C. P. et al. Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. **Global Change Biology**, v. 22, n. 8, p. 2887–2903, ago. 2016.
- DIOP, L. et al. Trend analysis of streamflow with different time scales: a case study of the upper Senegal River. **ISH Journal of Hydraulic Engineering**, v. 24, n. 1, p. 105–114, jan. 2018.
- DO, H. X.; WESTRA, S.; LEONARD, M. A global-scale investigation of trends in annual maximum streamflow. **Journal of Hydrology**, v. 552, p. 28–43, 2017.
- DUAN Z, WANG M, CHANG X, GAO W (2020). Response of river-lake hydrologic

- regimes to local climate change in the Yunnan-Guizhou Plateau region, China. **Regional Environmental Change**. 20: 122. - doi: 10.1007/s10113-020-01712-8
- FULLER TL, SESINK CLEE PR, NJABO KY, TRÓCHEZ A, MORGAN K, MEÑE DB, ANTHONY NM, GONDER MK, ALLEN WR, HANNA R, SMITH TB (2018). Climate warming causes declines in crop yields and lowers school attendance rates in Central Africa. **Science of The Total Environment**. 610–611: 503–510. - doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.041
- GONG, G. et al. A Simple framework for incorporating seasonal streamflow forecasts into existing water resource management practices1. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 46, n. 3, p. 574–585, 2010.
- GRIBOVSZKI, Z. et al. Groundwater uptake of different surface cover and its consequences in great Hungarian plain. **Ecological Processes**, v. 6, n. 1, p. 39, 2017.
- GÜÇLÜ YS (2018). Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. **Journal of Hydrology**. 566: 685–704. - doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.09.034
- HODGKINS, G. A. et al. Effects of climate, regulation, and urbanization on historical flood trends in the United States. **Journal of Hydrology**, v. 573, p. 697–709, 2019.
- INCAPER. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/>>. **Acesso em: 16 mar. 2020**.
- JOSEPH, J. F.; FALCON, H. E.; SHARIF, H. O. Hydrologic Trends and Correlations in South Texas River Basins: 1950–2009. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 12, p. 1653–1662, dez. 2013.
- KENDALL, M. G. Rank correlation methods. 4th ed. ed. London: Griffin, 1975.
- LABAT, D. et al. Evidence for global runoff increase related to climate warming. **Advances in Water Resources**, v. 27, n. 6, p. 631–642, 2004.
- LAN T, ZHANG H, XU C, SINGH VP, LIN K (2020). Detection and attribution of abrupt shift in minor periods in human-impacted streamflow. **Journal of Hydrology**. 584: 124637. - doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124637
- LEAL, A. P. P. N.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Pegada hídrica para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 2, p. 100–111, 2018.
- LEITE-FILHO AT, COSTA MH, FU R (2020). The southern Amazon rainy season: The role of deforestation and its interactions with large-scale mechanisms. **International Journal of Climatology**. 40: 2328–2341. - doi: 10.1002/joc.6335
- LENG, G.; TANG, Q.; RAYBURG, S. Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. **Global and Planetary Change**, v. 126, p. 23–34, 2015.
- LI, Y. et al. Contributions of climate variability and human activities to runoff changes in the upper catchment of the red River Basin, China. **Water (Switzerland)**, v. 8, n. 9, 2016.
- LIMA E DE P, ANDRADE RG, SEDIYAMA GC, BOF LHN (2019). Temporal-spatial Control of the difference between Precipitation and Evapotranspiration in Paracatu Sub-basins. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**. 6: 617–622. - doi: 10.22161/ijaers.6.6.70
- LIU, S. et al. Identification of the non-stationarity of extreme precipitation events and

correlations with large-scale ocean-atmospheric circulation patterns: A case study in the Wei River Basin, China. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 184–195, 2017.

LU H, BRYANT RB, BUDA AR, COLLICK AS, FOLMAR GJ, KLEINMAN PJA (2015). Long-term trends in climate and hydrology in an agricultural, headwater watershed of central Pennsylvania, USA. **Journal of Hydrology: Regional Studies**. 4: 713–731. - doi: 10.1016/j.ejrh.2015.10.004

MAHMOOD, R.; JIA, S. Assessment of hydro-climatic trends and causes of dramatically declining stream flow to Lake Chad, Africa, using a hydrological approach. **Science of The Total Environment**, v. 675, p. 122–140, jul. 2019.

MANN, H. B. Non-Parametric Test Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

MENDES, N. G. DE S. et al. Relationship between the streamflows and precipitations in Itapemirim river basin. **FLORESTA**, v. 49, n. 2, p. 171, 2019.

MENDES, N. G. DE S.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Forest coverage and streamflow of watersheds in the tropical Atlantic rainforest. **Revista Arvore**, v. 42, n. 2, 2018.

MILLY, P. C. D. et al. Climate change: Stationarity is dead: Whither water management? **Science**, v. 319, n. 5863, p. 573–574, 2008.

MORAES, J. M. et al. Trends in Hydrological Parameters of a Southern Brazilian Watershed and its Relation to Human Induced Changes. **Water Resources Management**, v. 12, n. 4, p. 295–311, 1998.

ONYUTHA, C. et al. Analyses of rainfall trends in the Nile River Basin. **Journal of Hydro-Environment Research**, v. 13, p. 36–51, 1 dez. 2016.

PETTITT, A. N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126, 1979.

PIRNIA, A. et al. Using the mann–kendall test and double mass curve method to explore stream flow changes in response to climate and human activities. **Journal of Water and Climate Change**, v. 10, n. 4, p. 725–742, 2019.

REGOTO, P. et al. Trends in Extreme Precipitation over Espírito Santo State - Southeast Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 41, n. 1, p. 365–381, 2018.

RYBERG KR, HODGKINS GA, DUDLEY RW (2020). Change points in annual peak streamflows: Method comparisons and historical change points in the United States. **Journal of Hydrology**. 583: 124307. - doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124307

SALARIJAZI, M. et al. Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun River at the Ahvaz hydrometric station. **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 32, p. 4540–4552, 2012.

SEIDL, M. et al. Impact of urbanisation (trends) on runoff behaviour of Pampulha watersheds (Brazil). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 13, p. 14259–14270, maio 2020.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the Americal Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968.

SENA ET, DIAS MAFS, CARVALHO LM V., DIAS PLS (2018). Reduced Wet-Season

- Length Detected by Satellite Retrievals of Cloudiness over Brazilian Amazonia: A New Methodology. **Journal of Climate**. 31: 9941–9964. - doi: 10.1175/JCLI-D-17-0702.1
- SEYAM, M.; OTHMAN, F. Long-term variation analysis of a tropical river's annual streamflow regime over a 50-year period. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 121, n. 1–2, p. 71–85, 2015.
- SILVA FB, ALMEIDA LT DE, VIEIRA E DE O, SILVA DD DA, MACIEL IP, PARMA JÚNIOR F (2020). Pluviometric and fluviometric trends in association with future projections in areas of conflict for water use. **Journal of Environmental Management**. 271: 110991. - doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110991
- SOUZA, N. S. et al. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 453–462, 2017.
- TEIXEIRA M DA S, SATYAMURTY P (2011). Trends in the Frequency of Intense Precipitation Events in Southern and Southeastern Brazil during 1960–2004. **Journal of Climate**. 24: 1913–1921. - doi: 10.1175/2011JCLI3511.1
- UNKAŠEVIĆ M, TOŠIĆ I (2011). A statistical analysis of the daily precipitation over Serbia: trends and indices. **Theoretical and Applied Climatology**. 106: 69–78. - doi: 10.1007/s00704-011-0418-8
- THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. Proc. K. Ned. **Akad. Wet. A**, v. 53, p. 386–392, 1950.
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.
- WADA, Y. et al. Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 3, p. 34036, 2013.
- WEI, L.; HUBBART, J. A.; ZHOU, H. Variable Streamflow Contributions in Nested Subwatersheds of a US Midwestern Urban Watershed. **Water Resources Management**, v. 32, n. 1, p. 213–228, 2018.
- XU, C. et al. Climate variations in northern Xinjiang of China over the past 50 years under global warming. **Quaternary International**, v. 358, p. 83–92, 2015.
- ZAREI Z, KARAMI E, KESHAVARZ M (2020). Co-production of knowledge and adaptation to water scarcity in developing countries. **Journal of Environmental Management**. 262: 110283. - doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110283
- ZHANG, X. et al. Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China. **Water Resources Research**, v. 44, n. 7, p. 1–12, 2008.
- ZILLI, M. T. et al. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269–2279, 2017.

APÊNDICES

Tabela 2A. Estações pluviométricas utilizadas no estudo com informações relativas ao código, ao nome, à latitude, à longitude, e à altitude

| Código | Nome da estação | Latitude | Longitude | Altitude |
|---------------|--------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 1941000 | Ipanema | -19.799 | -41.706 | 260 |
| 1941008 | Laranja da Terra | -19.901 | -41.058 | 250 |
| 2040004 | Guarapari (DNOS) | -20.652 | -40.509 | 6 |
| 2040005 | Iconha – montante | -20.784 | -40.826 | 25 |
| 2040006 | Usina Paineiras | -20.953 | -40.953 | 40 |
| 2040007 | Santa Maria do Jetibá | -20.028 | -40.744 | 710 |
| 2040008 | Garrafão (DNOS) | -20.143 | -40.975 | 940 |
| 2040009 | Anchieta (DNOS) | -20.804 | -40.656 | 6 |
| 2040011 | Matilde (DNOS) | -20.557 | -40.811 | 515 |
| 2040012 | Marechal Floriano (DNOS) | -20.412 | -40.682 | 544 |
| 2040015 | Perobinha (DNOS) | -20.284 | -40.783 | 640 |
| 2040017 | Duas Barras (DNOS) | -20.728 | -40.883 | - |
| 2040020 | Vila Nova Maravilha | -20.588 | -40.949 | 980 |
| 2040023 | São Rafael | -20.296 | -40.934 | 818 |
| 2040035 | Vitória | -20.517 | -40.517 | 36.2 |
| 2041000 | Atílio Vivacqua | -20.913 | -41.195 | 76 |
| 2041001 | Guaçuí | -20.774 | -41.682 | 576 |
| 2041002 | Castelo | -20.606 | -41.200 | 107 |
| 2041003 | Rive | -20.747 | -41.466 | 127 |
| 2041005 | Caiana | -20.694 | -41.922 | 747 |
| 2041008 | Dores do Manhumirim | -20.108 | -41.728 | 458 |
| 2041010 | Jacigua (DNOS) | -20.702 | -41.016 | 580 |
| 2041011 | Conceição do Castelo (DNOS) | -20.352 | -41.239 | 600 |
| 2041013 | Iúna | -20.346 | -41.538 | 615 |
| 2041014 | Dores do Rio Preto | -20.686 | -41.846 | 772 |
| 2041015 | Fazenda Monte Alegre | -20.945 | -41.401 | 450 |
| 2041016 | Ibitirama | -20.541 | -41.666 | 794 |
| 2041017 | Santa Cruz - Caparaó | -20.323 | -41.704 | 920 |
| 2041018 | Usina Fortaleza | -20.371 | -41.409 | 580 |
| 2041019 | Itaici | -20.528 | -41.511 | 380 |
| 2041020 | Arace (Fazenda Modelo) | -20.367 | -41.061 | 1075 |
| 2041021 | Burarama | -20.681 | -41.348 | 180 |
| 2041023 | Afonso Cláudio - montante | -20.079 | -41.121 | 300 |
| 2041046 | Varre – Sai | -20.931 | -41.868 | 688 |
| 2042000 | Carangola | -20.740 | -42.024 | 399 |
| 2042027 | Porciuncula | -20.969 | -42.052 | 188 |
| 2140000 | Barra do Itapemirim (DNOS) | -21.008 | -40.835 | 4 |
| 2141001 | São Francisco Paula - Cacimbas | -21.483 | -41.103 | 15 |
| 2141014 | Ponte do Itabapoana | -21.206 | -41.463 | 59 |
| 2141015 | Mimoso do Sul | -21.065 | -41.363 | 67 |
| 2141016 | São José do Calçado | -21.017 | -41.663 | 150 |
| 2141017 | São José das Torres | -21.073 | -41.238 | 120 |

APÊNDICE B

Tabela 1B. Resultados estatísticos do teste de Mann Kendall para P_a das estações de fluviométricas.

| Estação | P_a (mm) | tau | Z_{MK} | p-valor | Decli do Sen (mm ano ⁻¹) |
|---------|------------|-------|----------|---------|--------------------------------------|
| UFO | 1343 | -0.12 | -1.221 | 0.222 | -2.9 |
| IUN | 1317 | 0.05 | 0.502 | 0.616 | 1.4 |
| TCM | 1318 | 0.04 | 0.452 | 0.651 | 1.6 |
| ITA | 1335 | -0.01 | -0.050 | 0.960 | -0.1 |
| IBI | 1480 | 0.08 | 0.820 | 0.412 | 2.4 |
| RIV | 1395 | 0.02 | 0.167 | 0.867 | 0.6 |
| PAC | 1397 | 0.00 | 0.033 | 0.973 | 0.1 |
| FLA | 1362 | -0.20 | -2.074 | 0.038 | -4.9 |
| CAS | 1368 | -0.16 | -1.656 | 0.098 | -3.7 |
| USM | 1426 | -0.14 | -1.472 | 0.141 | -3.4 |
| COU | 1412 | -0.04 | -0.402 | 0.688 | -1.1 |
| UPA | 1400 | -0.05 | -0.519 | 0.604 | -1.3 |

Tabela 2B. Resultados estatísticos do teste de Mann Kendall para as precipitações médias mensais das estações de fluviométricas.

| Teste de Mann Kendall | | | | | |
|-----------------------|-------|--------|---------|----------|-------------------------------------|
| Estação | Prec. | tau | p-valor | Z_{MK} | Dec. do Sen (mm ano ⁻¹) |
| UFO | Jan | -0.120 | 0.222 | -1.221 | -1.219 |
| | Fev | 0.071 | 0.472 | 0.719 | 0.372 |
| | Mar | 0.086 | 0.384 | 0.870 | 0.783 |
| | Abr | -0.027 | 0.789 | -0.268 | -0.176 |
| | Mai | -0.068 | 0.493 | -0.686 | -0.199 |
| | Jun | 0.051 | 0.604 | 0.519 | 0.056 |
| | Jul | -0.210 | 0.032 | -2.141 | -0.331 |
| | Ago | -0.076 | 0.442 | -0.770 | -0.154 |
| | Set | -0.140 | 0.155 | -1.422 | -0.483 |
| | Out | -0.291 | 0.003 | -2.978 | -1.866 |
| | Nov | -0.014 | 0.894 | -0.134 | -0.075 |
| | Dez | 0.148 | 0.132 | 1.506 | 1.271 |
| IUN | Jan | -0.012 | 0.907 | -0.117 | -0.161 |
| | Fev | 0.089 | 0.366 | 0.903 | 0.579 |
| | Mar | 0.042 | 0.676 | 0.418 | 0.352 |
| | Abr | 0.022 | 0.828 | 0.217 | 0.077 |
| | Mai | 0.017 | 0.867 | 0.167 | 0.037 |

| | | | | | |
|-----|-----|--------|-------|--------|--------|
| | Jun | -0.050 | 0.616 | -0.502 | -0.075 |
| | Jul | -0.273 | 0.005 | -2.794 | -0.301 |
| | Ago | -0.162 | 0.098 | -1.656 | -0.239 |
| | Set | -0.115 | 0.242 | -1.171 | -0.332 |
| | Out | -0.280 | 0.004 | -2.861 | -1.691 |
| | Nov | 0.074 | 0.452 | 0.753 | 0.932 |
| | Dez | 0.200 | 0.041 | 2.041 | 1.961 |
| | Jan | -0.011 | 0.920 | -0.100 | -0.114 |
| | Fev | 0.100 | 0.307 | 1.021 | 0.633 |
| | Mar | 0.050 | 0.616 | 0.502 | 0.42 |
| | Abr | 0.017 | 0.867 | 0.167 | 0.07 |
| | Mai | 0.024 | 0.815 | 0.234 | 0.042 |
| TCM | Jun | -0.037 | 0.713 | -0.368 | -0.059 |
| | Jul | -0.259 | 0.008 | -2.643 | -0.286 |
| | Ago | -0.156 | 0.112 | -1.589 | -0.235 |
| | Set | -0.113 | 0.248 | -1.154 | -0.345 |
| | Out | -0.287 | 0.003 | -2.928 | -1.713 |
| | Nov | 0.076 | 0.442 | 0.770 | 0.925 |
| | Dez | 0.193 | 0.048 | 1.974 | 1.838 |
| | Jan | -0.047 | 0.639 | -0.468 | -0.51 |
| | Fev | 0.089 | 0.366 | 0.903 | 0.595 |
| | Mar | 0.061 | 0.536 | 0.619 | 0.484 |
| | Abr | 0.006 | 0.960 | 0.050 | 0.021 |
| | Mai | -0.011 | 0.920 | -0.100 | -0.031 |
| ITA | Jun | -0.014 | 0.894 | -0.134 | -0.018 |
| | Jul | -0.231 | 0.018 | -2.359 | -0.291 |
| | Ago | -0.104 | 0.292 | -1.054 | -0.199 |
| | Set | -0.151 | 0.124 | -1.539 | -0.387 |
| | Out | -0.283 | 0.004 | -2.894 | -1.717 |
| | Nov | 0.045 | 0.651 | 0.452 | 0.593 |
| | Dez | 0.180 | 0.066 | 1.840 | 1.534 |
| | Jan | -0.016 | 0.880 | -0.151 | -0.121 |
| | Fev | 0.066 | 0.503 | 0.669 | 0.625 |
| | Mar | 0.032 | 0.751 | 0.318 | 0.326 |
| | Abr | 0.016 | 0.880 | 0.151 | 0.079 |
| | Mai | 0.082 | 0.403 | 0.836 | 0.193 |
| IBI | Jun | 0.027 | 0.789 | 0.268 | 0.065 |
| | Jul | -0.241 | 0.014 | -2.459 | -0.304 |
| | Ago | -0.123 | 0.210 | -1.255 | -0.226 |
| | Set | -0.127 | 0.198 | -1.288 | -0.465 |
| | Out | -0.257 | 0.009 | -2.627 | -1.57 |
| | Nov | 0.100 | 0.307 | 1.021 | 1.123 |
| | Dez | 0.246 | 0.012 | 2.509 | 2.583 |

| | | | | | |
|-----|-----|--------|-------|--------|--------|
| RIV | Jan | -0.056 | 0.569 | -0.569 | -0.648 |
| | Fev | 0.069 | 0.482 | 0.703 | 0.471 |
| | Mar | 0.079 | 0.422 | 0.803 | 0.619 |
| | Abr | -0.006 | 0.960 | -0.050 | -0.035 |
| | Mai | 0.014 | 0.894 | 0.134 | 0.055 |
| | Jun | 0.053 | 0.592 | 0.535 | 0.069 |
| | Jul | -0.193 | 0.048 | -1.974 | -0.267 |
| | Ago | -0.107 | 0.277 | -1.087 | -0.246 |
| | Set | -0.133 | 0.175 | -1.355 | -0.429 |
| | Out | -0.277 | 0.005 | -2.827 | -1.672 |
| | Nov | 0.042 | 0.676 | 0.418 | 0.422 |
| | Dez | 0.193 | 0.048 | 1.974 | 1.773 |
| PAC | Jan | -0.051 | 0.604 | -0.519 | -0.685 |
| | Fev | 0.073 | 0.462 | 0.736 | 0.511 |
| | Mar | 0.091 | 0.358 | 0.920 | 0.792 |
| | Abr | -0.011 | 0.920 | -0.100 | -0.049 |
| | Mai | -0.014 | 0.894 | -0.134 | -0.04 |
| | Jun | 0.066 | 0.503 | 0.669 | 0.107 |
| | Jul | -0.174 | 0.076 | -1.773 | -0.281 |
| | Ago | -0.117 | 0.235 | -1.188 | -0.265 |
| | Set | -0.140 | 0.155 | -1.422 | -0.496 |
| | Out | -0.288 | 0.003 | -2.944 | -1.641 |
| | Nov | 0.038 | 0.700 | 0.385 | 0.364 |
| | Dez | 0.180 | 0.066 | 1.840 | 1.64 |
| FLA | Jan | -0.110 | 0.262 | -1.121 | -1.397 |
| | Fev | -0.040 | 0.688 | -0.402 | -0.226 |
| | Mar | 0.027 | 0.789 | 0.268 | 0.28 |
| | Abr | -0.024 | 0.815 | -0.234 | -0.138 |
| | Mai | -0.099 | 0.315 | -1.004 | -0.345 |
| | Jun | 0.020 | 0.841 | 0.201 | 0.029 |
| | Jul | -0.249 | 0.011 | -2.543 | -0.449 |
| | Ago | -0.144 | 0.141 | -1.472 | -0.337 |
| | Set | -0.180 | 0.066 | -1.840 | -0.679 |
| | Out | -0.301 | 0.002 | -3.078 | -1.714 |
| | Nov | -0.016 | 0.880 | -0.151 | -0.162 |
| | Dez | 0.096 | 0.332 | 0.970 | 0.88 |
| CAS | Jan | -0.115 | 0.242 | -1.171 | -1.2 |
| | Fev | -0.001 | 1.000 | 0.000 | -0.001 |
| | Mar | 0.047 | 0.639 | 0.468 | 0.377 |
| | Abr | -0.053 | 0.592 | -0.535 | -0.214 |
| | Mai | -0.069 | 0.482 | -0.703 | -0.261 |
| | Jun | 0.043 | 0.664 | 0.435 | 0.086 |
| | Jul | -0.203 | 0.038 | -2.074 | -0.385 |

| | | | | | |
|-----|-----|--------|-------|--------|--------|
| | Ago | -0.130 | 0.186 | -1.322 | -0.318 |
| | Set | -0.211 | 0.031 | -2.158 | -0.624 |
| | Out | -0.318 | 0.001 | -3.246 | -1.766 |
| | Nov | -0.029 | 0.776 | -0.284 | -0.285 |
| | Dez | 0.089 | 0.366 | 0.903 | 1.05 |
| | Jan | -0.102 | 0.300 | -1.037 | -1.228 |
| | Fev | 0.006 | 0.960 | 0.050 | 0.027 |
| | Mar | 0.048 | 0.628 | 0.485 | 0.477 |
| | Abr | -0.078 | 0.432 | -0.786 | -0.425 |
| | Mai | -0.071 | 0.472 | -0.719 | -0.318 |
| USM | Jun | 0.056 | 0.569 | 0.569 | 0.103 |
| | Jul | -0.158 | 0.108 | -1.606 | -0.311 |
| | Ago | -0.115 | 0.242 | -1.171 | -0.308 |
| | Set | -0.231 | 0.018 | -2.359 | -0.844 |
| | Out | -0.329 | 0.001 | -3.363 | -1.829 |
| | Nov | -0.012 | 0.907 | -0.117 | -0.052 |
| | Dez | 0.092 | 0.349 | 0.937 | 0.966 |
| | Jan | -0.064 | 0.514 | -0.652 | -0.781 |
| | Fev | 0.045 | 0.651 | 0.452 | 0.294 |
| | Mar | 0.071 | 0.472 | 0.719 | 0.776 |
| | Abr | -0.051 | 0.604 | -0.519 | -0.241 |
| | Mai | -0.042 | 0.676 | -0.418 | -0.105 |
| COU | Jun | 0.068 | 0.493 | 0.686 | 0.123 |
| | Jul | -0.144 | 0.141 | -1.472 | -0.271 |
| | Ago | -0.117 | 0.235 | -1.188 | -0.255 |
| | Set | -0.182 | 0.063 | -1.857 | -0.647 |
| | Out | -0.316 | 0.001 | -3.229 | -1.759 |
| | Nov | 0.004 | 0.973 | 0.033 | 0.053 |
| | Dez | 0.154 | 0.116 | 1.573 | 1.405 |
| | Jan | -0.071 | 0.472 | -0.719 | -0.81 |
| | Fev | 0.029 | 0.776 | 0.284 | 0.177 |
| | Mar | 0.081 | 0.412 | 0.820 | 0.672 |
| | Abr | -0.051 | 0.604 | -0.519 | -0.306 |
| | Mai | -0.064 | 0.514 | -0.652 | -0.152 |
| UPA | Jun | 0.071 | 0.472 | 0.719 | 0.123 |
| | Jul | -0.125 | 0.204 | -1.271 | -0.249 |
| | Ago | -0.110 | 0.262 | -1.121 | -0.268 |
| | Set | -0.189 | 0.054 | -1.924 | -0.643 |
| | Out | -0.321 | 0.001 | -3.279 | -1.767 |
| | Nov | -0.001 | 1.000 | 0.000 | -0.016 |
| | Dez | 0.149 | 0.128 | 1.522 | 1.374 |

Tabela 3B. Resultados estatísticos do teste de Mann Kendall para as precipitações sazonais das estações de fluviométricas.

| Teste de Mann Kendall | | | | | |
|-----------------------|-------|---------|---------|-----------------|--------------------------------------|
| Estação | Prec. | tau | p-valor | Z _{MK} | Decl. do Sen (mm ano ⁻¹) |
| UFO | PMS | -0.133 | 0.175 | -1.355 | -0.066 |
| | PMC | 0.035 | 0.725 | 0.351 | 0.22 |
| | PMAX | 0.109 | 0.270 | 1.104 | 0.088 |
| | PIA | -0.1935 | 0.048 | -1.974 | -0.694 |
| | PVA | 0.007 | 0.952 | 0.059 | 0.095 |
| | PSS | -0.113 | 0.248 | -1.154 | -0.963 |
| | PSC | 0.010 | 0.925 | 0.092 | 0.217 |
| IUN | PMS | -0.244 | 0.013 | -2.493 | -0.086 |
| | PMC | 0.097 | 0.324 | 0.987 | 0.855 |
| | PMAX | 0.185 | 0.059 | 1.890 | 0.223 |
| | PIA | -0.291 | 0.003 | -2.978 | -0.804 |
| | PVA | 0.129 | 0.194 | 1.263 | 2.021 |
| | PSS | -0.100 | 0.307 | -1.021 | -0.591 |
| | PSC | 0.100 | 0.315 | 0.979 | 2.458 |
| TCM | PMS | -0.228 | 0.020 | -2.325 | -0.086 |
| | PMC | 0.105 | 0.284 | 1.071 | 0.921 |
| | PMAX | 0.180 | 0.066 | 1.840 | 0.215 |
| | PIA | -0.277 | 0.005 | -2.827 | -0.767 |
| | PVA | 0.126 | 0.206 | 1.230 | 1.953 |
| | PSS | -0.092 | 0.349 | -0.937 | -0.629 |
| | PSC | 0.104 | 0.299 | 1.012 | 2.328 |
| ITA | PMS | -0.189 | 0.054 | -1.924 | -0.076 |
| | PMC | 0.082 | 0.403 | 0.836 | 0.584 |
| | PMAX | 0.136 | 0.165 | 1.389 | 0.165 |
| | PIA | -0.238 | 0.015 | -2.426 | -0.733 |
| | PVA | 0.092 | 0.358 | 0.895 | 1.244 |
| | PSS | -0.105 | 0.284 | -1.071 | -0.812 |
| | PSC | 0.095 | 0.341 | 0.928 | 1.547 |
| IBI | PMS | -0.131 | 0.181 | -1.338 | -0.059 |
| | PMC | 0.135 | 0.170 | 1.372 | 1.272 |
| | PMAX | 0.251 | 0.010 | 2.560 | 0.25 |
| | PIA | -0.200 | 0.041 | -2.041 | -0.647 |
| | PVA | 0.129 | 0.194 | 1.263 | 2.452 |
| | PSS | -0.112 | 0.255 | -1.138 | -0.725 |
| | PSC | 0.121 | 0.226 | 1.179 | 3.126 |
| RIV | PMS | -0.113 | 0.248 | -1.154 | -0.049 |
| | PMC | 0.102 | 0.300 | 1.037 | 0.824 |

| | | | | | |
|-----|------|--------|-------|--------|--------|
| | PMAX | 0.182 | 0.063 | 1.857 | 0.188 |
| | PIA | -0.208 | 0.034 | -2.125 | -0.682 |
| | PVA | 0.082 | 0.415 | 0.795 | 1.422 |
| | PSS | -0.123 | 0.210 | -1.255 | -0.885 |
| | PSC | 0.109 | 0.275 | 1.062 | 2.289 |
| | PMS | -0.078 | 0.432 | -0.786 | -0.04 |
| | PMC | 0.112 | 0.255 | 1.138 | 0.81 |
| PAC | PMAX | 0.203 | 0.038 | 2.074 | 0.206 |
| | PIA | -0.195 | 0.046 | -1.991 | -0.711 |
| | PVA | 0.082 | 0.415 | 0.795 | 1.276 |
| | PSS | -0.149 | 0.128 | -1.522 | -1.162 |
| | PSC | 0.105 | 0.291 | 1.029 | 1.928 |
| | PMS | -0.148 | 0.132 | -1.506 | -0.075 |
| | PMC | 0.004 | 0.973 | 0.033 | 0.018 |
| FLA | PMAX | 0.094 | 0.340 | 0.954 | 0.115 |
| | PIA | -0.275 | 0.005 | -2.811 | -1.116 |
| | PVA | -0.003 | 0.979 | -0.025 | -0.071 |
| | PSS | -0.221 | 0.024 | -2.259 | -1.776 |
| | PSC | -0.014 | 0.898 | -0.125 | -0.198 |
| | PMS | -0.176 | 0.073 | -1.790 | -0.086 |
| | PMC | 0.022 | 0.828 | 0.217 | 0.168 |
| CAS | PMAX | 0.123 | 0.210 | 1.255 | 0.128 |
| | PIA | -0.244 | 0.013 | -2.493 | -1.018 |
| | PVA | 0.005 | 0.966 | 0.042 | 0.219 |
| | PSS | -0.211 | 0.031 | -2.158 | -1.49 |
| | PSC | 0.010 | 0.925 | 0.092 | 0.258 |
| | PMS | -0.187 | 0.056 | -1.907 | -0.143 |
| | PMC | 0.032 | 0.751 | 0.318 | 0.285 |
| USM | PMAX | 0.118 | 0.228 | 1.205 | 0.142 |
| | PIA | -0.169 | 0.085 | -1.723 | -0.917 |
| | PVA | -0.015 | 0.884 | -0.142 | -0.135 |
| | PSS | -0.221 | 0.024 | -2.259 | -1.801 |
| | PSC | -0.005 | 0.966 | -0.042 | -0.028 |
| | PMS | -0.133 | 0.175 | -1.355 | -0.082 |
| | PMC | 0.071 | 0.472 | 0.719 | 0.643 |
| COU | PMAX | 0.176 | 0.073 | 1.790 | 0.187 |
| | PIA | -0.190 | 0.052 | -1.941 | -0.905 |
| | PVA | 0.039 | 0.700 | 0.376 | 0.675 |
| | PSS | -0.193 | 0.048 | -1.974 | -1.36 |
| | PSC | 0.056 | 0.577 | 0.544 | 0.973 |
| | PMS | -0.131 | 0.181 | -1.338 | -0.077 |
| UPA | PMC | 0.061 | 0.536 | 0.619 | 0.589 |
| | PMAX | 0.162 | 0.098 | 1.656 | 0.179 |

| | | | | |
|-----|--------|-------|--------|--------|
| PIA | -0.182 | 0.063 | -1.857 | -0.837 |
| PVA | 0.024 | 0.817 | 0.226 | 0.447 |
| PSS | -0.207 | 0.035 | -2.108 | -1.447 |
| PSC | 0.039 | 0.700 | 0.376 | 0.732 |

APÊNDICE C

Tabela 1C. Resultados estatísticos do teste de Mann Kendall para as vazões médias anuais das estações de fluviométricas.

| Estação | tau | Z _{MK} | p-valor | Decl. do Sen (m ³ /s.ano) |
|---------|-------|-----------------|---------|--------------------------------------|
| UFO | -0.15 | -1.539 | 0.124 | 0.0 |
| IUN | 0.00 | 0.000 | 1.000 | 0.0 |
| TCM | 0.02 | 0.234 | 0.815 | 0.0 |
| ITA | -0.03 | -0.335 | 0.738 | 0.0 |
| IBI | -0.05 | -0.483 | 0.629 | 0.0 |
| RIV | -0.02 | -0.164 | 0.871 | 0.0 |
| PAC | 0.26 | - | 0.079 | 0.8 |
| FLA | -0.14 | -1.171 | 0.241 | -0.1 |
| CAS | -0.13 | -1.305 | 0.192 | -0.1 |
| USM | -0.11 | - | 0.291 | -0.1 |
| COU | 0.04 | - | 0.746 | 0.1 |
| UPA | 0.02 | - | 0.821 | 0.1 |

Tabela 2C. Resultados estatísticos do teste de Mann Kendall para as vazões médias mensais das estações de fluviométricas.

| Teste de Mann Kendall | | | | | |
|-----------------------|-------|--------|----------|-----------------|-------------------------------------|
| Estação | Vazão | tau | p-valor | Z _{MK} | Dec. do Sen (m ³ /s.ano) |
| UFO | Jan | -0.08 | 0.422 | -0.803 | -0.034 |
| | Fev | -0.125 | 0.204 | -1.271 | -0.028 |
| | Mar | 0.007 | 0.947 | 0.067 | 0.003 |
| | Abr | -0.012 | 0.907 | -0.117 | -0.004 |
| | Mai | -0.032 | 0.751 | -0.318 | -0.004 |
| | Jun | -0.087 | 0.375 | -0.887 | -0.007 |
| | Jul | -0.199 | 0.042 | -2.033 | -0.015 |
| | Ago | -0.136 | 0.165 | -1.389 | -0.009 |
| | Set | -0.240 | 0.014 | -2.451 | -0.015 |
| | Out | -0.399 | < 0.0001 | -4.082 | -0.049 |
| | Nov | -0.236 | 0.016 | -2.409 | -0.071 |
| | Dez | 0.042 | 0.670 | 0.427 | 0.014 |
| IUN | Jan | 0.00 | 1.000 | 0.000 | -0.002 |
| | Fev | -0.004 | 0.973 | -0.033 | -0.002 |
| | Mar | 0.068 | 0.493 | 0.686 | 0.028 |
| | Abr | 0.096 | 0.332 | 0.970 | 0.032 |
| | Mai | 0.089 | 0.366 | 0.903 | 0.016 |
| | Jun | 0.053 | 0.592 | 0.535 | 0.011 |
| | Jul | -0.025 | 0.802 | -0.251 | -0.004 |

| | | | | | |
|-----|-----|---------|----------|--------|---------|
| | Ago | -0.009 | 0.933 | -0.084 | -0.001 |
| | Set | -0.019 | 0.854 | -0.184 | -0.003 |
| | Out | -0.285 | 0.004 | -2.911 | -0.053 |
| | Nov | -0.117 | 0.235 | -1.188 | -0.041 |
| | Dez | 0.089 | 0.366 | 0.903 | 0.051 |
| | Jan | 0.00 | 0.987 | 0.017 | 0.003 |
| | Fev | 0.001 | 1.000 | 0.000 | 4.00E-4 |
| | Mar | 0.092 | 0.349 | 0.937 | 0.053 |
| | Abr | 0.091 | 0.358 | 0.920 | 0.046 |
| | Mai | 0.091 | 0.358 | 0.920 | 0.023 |
| | Jun | 0.051 | 0.610 | 0.510 | 0.01 |
| TCM | Jul | -0.026 | 0.795 | -0.259 | -0.006 |
| | Ago | -0.009 | 0.933 | -0.084 | -0.002 |
| | Set | -0.037 | 0.713 | -0.368 | -0.007 |
| | Out | -0.316 | 0.001 | -3.229 | -0.073 |
| | Nov | -0.102 | 0.300 | -1.037 | -0.055 |
| | Dez | 0.113 | 0.248 | 1.154 | 0.09 |
| | Jan | -0.03 | 0.776 | -0.284 | -0.037 |
| | Fev | -0.042 | 0.676 | -0.418 | -0.043 |
| | Mar | 0.056 | 0.569 | 0.569 | 0.064 |
| | Abr | 0.051 | 0.604 | 0.519 | 0.050 |
| | Mai | 0.021 | 0.834 | 0.209 | 0.012 |
| | Jun | -0.028 | 0.783 | -0.276 | -0.01 |
| ITA | Jul | -0.202 | 0.040 | -2.058 | -0.051 |
| | Ago | -0.112 | 0.255 | -1.138 | -0.032 |
| | Set | -0.189 | 0.054 | -1.924 | -0.045 |
| | Out | -0.406 | < 0.0001 | -4.149 | -0.178 |
| | Nov | -0.136 | 0.165 | -1.389 | -0.145 |
| | Dez | 0.082 | 0.403 | 0.836 | 0.134 |
| | Jan | -0.06 | 0.524 | -0.638 | -0.1006 |
| | Fev | -0.1020 | 0.3069 | -1.026 | -0.079 |
| | Mar | 0.0153 | 0.8842 | 0.147 | 0.0147 |
| | Abr | 0.1378 | 0.1661 | 1.388 | 0.0609 |
| | Mai | 0.0825 | 0.4079 | 0.828 | 0.0191 |
| | Jun | -0.0765 | 0.4451 | -0.767 | -0.0119 |
| IBI | Jul | -0.2551 | 0.0095 | -2.577 | -0.0338 |
| | Ago | -0.2245 | 0.0229 | -2.267 | -0.0204 |
| | Set | -0.2891 | 0.0031 | -2.922 | -0.0397 |
| | Out | -0.3520 | 0.0003 | -3.560 | -0.1353 |
| | Nov | -0.0765 | 0.4451 | -0.767 | -0.0807 |
| | Dez | 0.1429 | 0.1508 | 1.440 | 0.1859 |
| | Jan | -0.02 | 0.884 | - | -0.0432 |
| RIV | Fev | -0.0782 | 0.4349 | - | -0.1566 |

| | | | | | |
|-----|-----|---------|----------|--------|---------|
| | Mar | -0.0153 | 0.8842 | - | -0.0425 |
| | Abr | 0.0187 | 0.8572 | - | 0.0472 |
| | Mai | 0.0510 | 0.6129 | - | 0.0532 |
| | Jun | 0.0051 | 0.9658 | - | 0.0015 |
| | Jul | -0.1387 | 0.1626 | -1.396 | -0.0878 |
| | Ago | -0.0808 | 0.4178 | -0.810 | -0.0463 |
| | Set | -0.1642 | 0.0979 | -1.655 | -0.0829 |
| | Out | -0.3980 | < 0.0001 | -4.026 | -0.3735 |
| | Nov | -0.0884 | 0.3767 | -0.888 | -0.2674 |
| | Dez | 0.0952 | 0.3406 | 0.957 | 0.3292 |
| | Jan | 0.05 | 0.750 | - | 0.8805 |
| | Fev | 0.2536 | 0.0877 | - | 1.8283 |
| | Mar | 0.1449 | 0.3381 | - | 1.0877 |
| | Abr | 0.1957 | 0.1916 | - | 0.8688 |
| | Mai | 0.1594 | 0.2905 | - | 0.4329 |
| PAC | Jun | 0.1739 | 0.2476 | - | 0.2802 |
| | Jul | 0.1449 | 0.3381 | - | 0.1871 |
| | Ago | 0.0580 | 0.7133 | - | 0.0705 |
| | Set | 0.0725 | 0.6416 | - | 0.1172 |
| | Out | 0.0072 | 0.9805 | - | 0.0125 |
| | Nov | 0.1014 | 0.5080 | - | 0.6263 |
| | Dez | 0.2246 | 0.1320 | - | 1.745 |
| | Jan | -0.31 | 0.010 | - | -0.3092 |
| | Fev | -0.1194 | 0.3308 | - | -0.0713 |
| | Mar | -0.1337 | 0.2753 | - | -0.0753 |
| | Abr | 0.0018 | 1.0000 | - | 0.0102 |
| | Mai | -0.0196 | 0.8832 | - | -0.0052 |
| FLA | Jun | -0.1266 | 0.3022 | - | -0.0282 |
| | Jul | -0.1836 | 0.1315 | - | -0.0237 |
| | Ago | -0.2299 | 0.0575 | - | -0.0327 |
| | Set | -0.3333 | 0.0052 | - | -0.0521 |
| | Out | -0.3084 | 0.0101 | - | -0.061 |
| | Nov | -0.1872 | 0.1240 | - | -0.1403 |
| | Dez | -0.0267 | 0.8370 | - | -0.0346 |
| | Jan | -0.16 | 0.112 | -1.589 | -0.2277 |
| | Fev | -0.1151 | 0.2416 | -1.171 | -0.0929 |
| | Mar | -0.0024 | 0.9867 | -0.017 | -0.0031 |
| | Abr | -0.0041 | 0.9733 | -0.033 | -0.0027 |
| CAS | Mai | -0.0710 | 0.4719 | -0.719 | -0.0307 |
| | Jun | -0.1445 | 0.1410 | -1.472 | -0.0393 |
| | Jul | -0.2294 | 0.0192 | -2.342 | -0.0542 |
| | Ago | -0.1657 | 0.0911 | -1.690 | -0.0317 |
| | Set | -0.3306 | 0.0007 | -3.379 | -0.0714 |

| | | | | | |
|-----|-----|---------|----------|--------|---------|
| | Out | -0.4122 | < 0.0001 | -4.216 | -0.1471 |
| | Nov | -0.0906 | 0.3575 | -0.920 | -0.1103 |
| | Dez | 0.0122 | 0.9068 | 0.117 | 0.0159 |
| USM | Jan | -0.10 | 0.307 | - | -0.1698 |
| | Fev | -0.0867 | 0.3860 | - | -0.1324 |
| | Mar | 0.0595 | 0.5540 | - | 0.0793 |
| | Abr | 0.0068 | 0.9522 | - | 0.0139 |
| | Mai | -0.0034 | 0.9795 | - | -0.0015 |
| | Jun | -0.0561 | 0.5773 | - | -0.0214 |
| | Jul | -0.2058 | 0.0373 | - | -0.0726 |
| | Ago | -0.1650 | 0.0964 | - | -0.0545 |
| | Set | -0.2330 | 0.0181 | - | -0.09 |
| | Out | -0.3810 | < 0.0001 | - | -0.2322 |
| | Nov | -0.1190 | 0.2323 | - | -0.1936 |
| | Dez | 0.0272 | 0.7905 | - | 0.0528 |
| | COU | Jan | 0.15 | 0.201 | - |
| Fev | | 0.0953 | 0.4095 | - | 0.6895 |
| Mar | | 0.1607 | 0.1603 | - | 0.706 |
| Abr | | 0.0839 | 0.4687 | - | 0.3355 |
| Mai | | 0.0811 | 0.4842 | - | 0.2166 |
| Jun | | 0.0982 | 0.3954 | - | 0.1454 |
| Jul | | -0.0811 | 0.4842 | - | -0.1076 |
| Ago | | 0.0469 | 0.6896 | - | 0.0366 |
| Set | | 0.0128 | 0.9205 | - | 0.0212 |
| Out | | -0.3087 | 0.0061 | - | -0.7576 |
| Nov | | -0.1181 | 0.3051 | - | -0.8713 |
| Dez | | 0.0612 | 0.6000 | - | 0.5267 |
| UPA | | Jan | 0.03 | 0.792 | - |
| | Fev | 0.0145 | 0.8952 | - | 0.0478 |
| | Mar | 0.1343 | 0.1926 | - | 0.8871 |
| | Abr | 0.0802 | 0.4398 | - | 0.451 |
| | Mai | 0.0338 | 0.7490 | - | 0.0994 |
| | Jun | 0.0357 | 0.7347 | - | 0.0575 |
| | Jul | -0.1208 | 0.2420 | - | -0.1504 |
| | Ago | -0.0705 | 0.4977 | - | -0.0855 |
| | Set | -0.2155 | 0.0351 | - | -0.2516 |
| | Out | -0.3971 | < 0.0001 | - | -0.7778 |
| | Nov | -0.0705 | 0.4977 | - | -0.4305 |
| | Dez | 0.0242 | 0.8213 | - | 0.1957 |

Tabela 3C. Resultados estatísticos do teste de Pettitt para as vazões médias mensais das estações de fluviométricas que apresentaram tendência significativa nos resultados de MK.

| Teste de Pettitt | | | | |
|------------------|-------|-----|------|---------|
| Estação | Vazão | K | t | p-valor |
| UFO | Jul | 285 | 1997 | 0.052 |
| | Set | 371 | 1997 | 0.002 |
| | Out | 448 | 1998 | 0.000 |
| | Nov | 299 | 2001 | 0.033 |
| IUN | Out | 448 | 1998 | 0.000 |
| TCM | Out | 313 | 1985 | 0.011 |
| ITA | Jul | 141 | 2013 | 0.615 |
| | Out | 313 | 1985 | 0.010 |
| IBI | Jul | 312 | 1994 | 0.007 |
| | Ago | 308 | 1994 | 0.007 |
| | Set | 310 | 1997 | 0.008 |
| | Out | 310 | 1985 | 0.007 |
| RIV | Out | 346 | 1985 | 0.002 |
| FLA | Jan | 152 | 2004 | 0.032 |
| | Set | 152 | 1994 | 0.035 |
| | Out | 164 | 1998 | 0.017 |
| CAS | Jul | 306 | 1994 | 0.012 |
| | Set | 360 | 1992 | 0.001 |
| | Out | 398 | 1992 | 0.000 |
| USM | Jul | 220 | 1994 | 0.124 |
| | Set | 300 | 1997 | 0.012 |
| | Out | 376 | 1999 | 0.000 |
| COU | Out | 225 | 1985 | 0.003 |
| UPA | Set | 199 | 1997 | 0.123 |
| | Out | 293 | 1985 | 0.004 |

APÊNDICE D

Tabela 1D. Resultados estatísticos do teste de Mann Kendall para as vazões mínimas das estações de fluviométricas.

| Teste de Mann Kendall | | | | | |
|-----------------------|-------|--------|---------|-----------------|--|
| Estação | Vazão | tau | p-valor | Z _{MK} | Dec. do Sen (m ³ /s.ano) |
| UFO | Q7 | -0.255 | 0.009 | -2.602 | -0.012 |
| | Q30 | -0.223 | 0.023 | -2.275 | -0.012 |
| | Q90 | -0.229 | 0.019 | -2.342 | -0.015 |
| IUN | Q7 | -0.003 | 0.980 | -0.025 | 0.000 |
| | Q30 | 0.006 | 0.960 | 0.050 | 0.001 |
| | Q90 | -0.022 | 0.828 | -0.217 | -0.003 |
| TCM | Q7 | -0.142 | 0.148 | -1.447 | -0.014 |
| | Q30 | -0.060 | 0.547 | -0.602 | -0.007 |
| | Q90 | -0.052 | 0.598 | -0.527 | -0.008 |
| ITA | Q7 | -0.228 | 0.020 | -2.326 | -0.048 |
| | Q30 | -0.143 | 0.146 | -1.455 | -0.038 |
| | Q90 | -0.195 | 0.046 | -1.991 | -0.045 |
| IBI | Q7 | -0.321 | 0.001 | -3.241 | -0.023 |
| | Q30 | -0.276 | 0.005 | -2.784 | -0.023 |
| | Q90 | -0.344 | 0.000 | -3.474 | -0.030 |
| RIV | Q7 | -0.110 | 0.270 | -1.103 | -0.040 |
| | Q30 | -0.107 | 0.283 | -1.078 | -0.046 |
| | Q90 | -0.151 | 0.128 | -1.526 | -0.074 |
| PAC | Q7 | -0.004 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Q30 | 0.029 | 0.864 | 0.174 | 0.015 |
| | Q90 | 0.065 | 0.677 | 0.422 | 0.074 |
| FLA | Q7 | -0.251 | 0.037 | -2.076 | -0.034 |
| | Q30 | -0.283 | 0.018 | -2.343 | -0.031 |
| | Q90 | -0.316 | 0.008 | -2.609 | -0.031 |
| CAS | Q7 | -0.377 | 0.000 | -3.856 | -0.063 |
| | Q30 | -0.344 | 0.000 | -3.513 | -0.064 |
| | Q90 | -0.313 | 0.001 | -3.195 | -0.057 |
| USM | Q7 | -0.361 | 0.000 | -3.646 | -0.075 |
| | Q30 | -0.306 | 0.002 | -3.095 | -0.075 |
| | Q90 | -0.281 | 0.004 | -2.836 | -0.068 |
| COU | Q7 | -0.118 | 0.305 | -1.031 | -0.085 |
| | Q30 | -0.038 | 0.746 | -0.327 | -0.037 |
| | Q90 | -0.041 | 0.727 | -0.352 | -0.036 |
| UPA | Q7 | -0.217 | 0.033 | -2.121 | -0.157 |
| | Q30 | -0.206 | 0.044 | -2.007 | -0.126 |

Q90 -0.217 0.033 -2.121 -0.191

Tabela 2D. Resultados estatísticos do teste de Pettitt para as vazões mínimas das estações de fluviométricas que apresentaram tendência significativa nos resultados de MK.

| Teste de Pettitt | | | | |
|------------------|-------|--------|------|---------|
| Estação | Vazão | K | t | p-valor |
| UFO | Q7 | 365.00 | 1997 | 0.003 |
| | Q30 | 365.00 | 1997 | 0.002 |
| | Q90 | 362.00 | 1998 | 0.003 |
| ITA | Q7 | 212.00 | 2012 | 0.169 |
| | Q90 | 180.00 | 2012 | 0.324 |
| IBI | Q7 | 363.00 | 1992 | 0.001 |
| | Q30 | 360.00 | 1994 | 0.001 |
| | Q90 | 378.00 | 1994 | 0.000 |
| FLA | Q7 | 132.00 | 1992 | 0.090 |
| | Q30 | 154.00 | 1994 | 0.030 |
| | Q90 | 152.00 | 1994 | 0.034 |
| CAS | Q7 | 408.00 | 1994 | 0.000 |
| | Q30 | 398.00 | 1992 | 0.000 |
| | Q90 | 392.00 | 1992 | 0.001 |
| USM | Q7 | 360.00 | 1997 | 0.001 |
| | Q30 | 354.00 | 1997 | 0.002 |
| | Q90 | 334.00 | 1997 | 0.003 |
| UPA | Q7 | 203.00 | 1985 | 0.110 |
| | Q30 | 202.00 | 1994 | 0.115 |
| | Q90 | 200.00 | 1994 | 0.122 |

APÊNDICE E

Tabela 1E. Resultados estatísticos do teste de Mann Kendall para as vazões máximas das estações de fluviométricas.

| Teste de Mann Kendall - Qmax | | | | |
|------------------------------|--------|---------|--------|--|
| Estação | tau | p-valor | ZMK | Dec. do Sen (m ³ /s.ano) |
| UFO | -0.006 | 0.960 | -0.050 | 0.000 |
| IUN | 0.261 | 0.008 | 2.668 | 0.461 |
| TCM | 0.274 | 0.005 | 2.794 | 0.876 |
| ITA | 0.211 | 0.032 | 2.150 | 0.840 |
| IBI | -0.003 | 0.986 | -0.017 | -0.028 |
| RIV | 0.217 | 0.029 | 2.190 | 4.551 |
| PAC | 0.127 | 0.399 | 0.844 | 7.057 |
| FLA | -0.103 | 0.398 | -0.845 | -0.401 |
| CAS | 0.141 | 0.150 | 1.439 | 0.576 |
| USM | 0.107 | 0.281 | 1.078 | 0.490 |
| COU | 0.266 | 0.019 | 2.339 | 6.188 |
| UPA | 0.205 | 0.046 | 1.998 | 3.274 |

Tabela 2E. Resultados estatísticos do teste de Pettitt para as vazões máximas das estações de fluviométricas que apresentaram tendência significativa nos resultados de MK.

| Teste de Pettitt - Qmax | | | |
|-------------------------|-----|------|---------|
| Estação | K | t | p-valor |
| IUN | 201 | 2009 | 0.434 |
| TCM | 332 | 1990 | 0.004 |
| ITA | 332 | 1990 | 0.005 |
| RIV | 257 | 1990 | 0.044 |
| COU | 185 | 2000 | 0.027 |
| UPA | 215 | 1990 | 0.078 |