



Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

---

**Engenharia Civil e Ambiental**

**ALINE SATIE TERAMOTO**

**EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ALTERAÇÕES DO USO E  
OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE AS VAZÕES DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA, UGRHI-1 (SP)**

Sorocaba

2024



**ALINE SATIE TERAMOTO**

**EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ALTERAÇÕES DO USO E  
OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE AS VAZÕES DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA, UGRHI-1 (SP)**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Ricardo  
Nogueira Vilanova

Sorocaba  
2024



T315e Teramoto, Aline Satie  
Efeitos das mudanças climáticas e alterações do uso e ocupação do solo sobre as vazões de bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira, UGRHI-1 (SP) / Aline Satie Teramoto. -- Bauru, 2024  
96 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru  
Orientador: Mateus Ricardo Nogueira Vilanova

1. Tendências hidrológicas. 2. Mudanças climáticas. 3. Uso e ocupação do solo. 4. Serra da Mantiqueira. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia, Bauru  
Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE ALINE SATIE TERAMOTO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 23 dias do mês de janeiro do ano de 2024, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de ALINE SATIE TERAMOTO, intitulada **EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ALTERAÇÕES DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE AS VAZÕES DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA, UGHRI-1 (SP)**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. MATEUS RICARDO NOGUEIRA VILANOVA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá Unesp, Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> VIVIAN SILVEIRA DOS SANTOS BARDINI (Participação Virtual) do(a) Faculdade de Tecnologia / Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP / Limeira, Profa. Dra. MARIANA FERREIRA BENESSIUTI MOTTA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil/FEG / Universidade Estadual Paulista . Após a exposição pela mestrande e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final:  \_ \_ A P R O V A D A \_ \_ \_ . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente



MATEUS RICARDO NOGUEIRA VILANOVA  
Data: 25/01/2024 10:24:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Faculdade de Engenharia - Câmpus de Bauru -

Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, 17033360, Bauru - São Paulo  
[http://www.feb.unesp.br/posgrad\\_civil](http://www.feb.unesp.br/posgrad_civil) CNPJ: 48.031.918/0030-69.

Aos meus avós,  
Isidoro e Aparecida (em memória),  
por todo amor e ensinamento  
durante minha infância.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me proporcionado vida e forças para concluir o meu trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Mateus Ricardo Nogueira Vilanova, pela paciência, companheirismo, ensinamentos e que, desde a primeira reunião, demonstrou interesse e dedicação em me orientar.

Às Profa. Dra. Vivian Silveira dos Santos Bardini e Profa. Dra. Mariana Ferreira Benessiuti Motta, que aceitaram compor a banca de avaliação e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Salvador Carpi Jr por sempre ter acreditado no meu trabalho, e auxiliado com a realização dos créditos complementares.

À minha família, pela compreensão, incentivo e apoio, não somente durante o curso, mas em todos os momentos da minha vida.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UNESP de Bauru e Sorocaba, pelo acolhimento, conhecimentos compartilhados ao longo do curso, e conselhos que colaboraram com esta pesquisa.

Aos meus amigos que fiz durante a pós-graduação, e às pessoas que passaram pela minha vida nesse período, que colaboraram, indireta ou diretamente, com minha dissertação.

Aos funcionários da FEB/Unesp, principalmente à Secretaria, pela assistência e prontidão em ajudar.

## Resumo

Alterações do uso e ocupação do solo e mudanças climáticas afetam o ciclo hidrológico e, conseqüentemente, os regimes das variáveis hidrológicas. Tendências ou mudanças em séries de vazão acarretam prejuízos para as bacias hidrográficas, exigindo a aplicação de instrumentos para o planejamento de recursos hídricos, como os testes não paramétricos e realização do mapa dinâmico da região. Para tanto, foram aplicados os testes de Mann-Kendall, para averiguar a existência de tendências de aumento ou diminuição das séries médias/totais anuais e sazonais de precipitações e vazões das bacias estudadas, bem como a identificação de possíveis momentos de mudança dos padrões destas variáveis por meio do teste de Pettitt. Conjuntamente, para avaliar se possíveis mudanças foram decorrentes de mudanças do clima e/ou de alterações do uso e ocupação do solo, analisou-se a tendência e ponto de mudança nas séries de evapotranspiração de referência (Etr) e real (Eta), e imagens de satélite das bacias da UGRHi-1 (Serra da Mantiqueira), utilizando técnicas de classificação supervisionada. Os resultados obtidos no teste de Mann-Kendall consistiram em tendências crescentes nas chuvas durante o inverno das duas estações de precipitação analisadas, e tendências de diminuição no verão da estação 61250000 e de aumento no verão da Eta. O teste de Pettitt constatou reduções nas vazões da estação 61250000 nos anos de 1967, no verão, e de 1988, no outono, bem como na Etr no verão em 1998, e em 2006 na Eta durante o outono. A análise de uso e ocupação do solo detectou degradação gradativa na bacia do Rio Sapucaí-Mirim, e conversão e expansão da área urbana na área da bacia do Rio Sapucaí-Guaçu. Isto posto, com fundamento na análise da contribuição das variáveis hidrológicas nas alterações das vazões, verificou-se que a hipótese da tendência e ponto de mudança nas séries fluviométricas de verão e outono é baseada no uso e ocupação do solo.

### Palavras-chave

Tendências hidrológicas, mudanças climáticas, uso e ocupação do solo, Serra da Mantiqueira.

## **Abstract**

Changes in land use and occupation and climate change affect the hydrological cycle and, consequently, the regimes of hydrological variables. Trends or changes in flow series cause damage to river basins, requiring the application of instruments for planning water resources, such as non-parametric tests and the creation of a dynamic map of the region. To this end, the Mann-Kendall tests were applied to verify the existence of upward or downward trends in the average/total annual and seasonal precipitation and flow series of the basins studied, as well as the identification of possible moments of change in the patterns of these variables using the Pettitt test. In addition, to assess whether possible changes were due to climate change and/or changes in land use and occupation, the trend and point of change in the reference (Etr) and actual (Eta) evapotranspiration series and satellite images of the UGRHi-1 (Serra da Mantiqueira) basins were analyzed using supervised classification techniques. The results obtained in the Mann-Kendall test consisted of increasing trends in rainfall during the winter of the two precipitation stations analyzed, and decreasing trends in the summer of the 61250000 station and increasing trends in the summer of Eta. The Pettitt test found reductions in the flows at the 61250000 station in the years 1967, in the summer, and 1988, in the fall, as well as at Etr in the summer in 1998, and in 2006 at Eta during the fall. The analysis of land use and occupation detected gradual degradation in the Sapucaí-Mirim river basin, and conversion and expansion of the urban area in the Sapucaí-Guaçu river basin. That said, based on the analysis of the contribution of hydrological variables to changes in flows, it was found that the hypothesis of the trend and point of change in the summer and fall fluviometric series is based on land use and occupation.

### **Keywords**

Hydrologic trends, climate change, land use and occupation, Serra da Mantiqueira.

## Índice de Figuras

Figura 1: Fluxograma da metodologia.....	19
Figura 2:Área da UGRHI-01 .....	21
Figura 3: Mapa altimétrico da UGRHI-01.....	27
Figura 4: Área das bacias dos Rios Sapucaí-Mirim e Sapucaí-Guaçu .....	33
Figura 5: Fluxograma de classificação supervisionada .....	35
Figura 6: Gráficos de tendência e ponto de mudança das chuvas anuais da estação 2245011 .	38
Figura 7: Gráficos de tendência e ponto de mudança nas chuvas sazonais da estação 2245011 .....	39
Figura 8: Gráficos de tendência e ponto de mudança das chuvas anuais da estação 2245010.	40
Figura 9: Gráficos de tendência e ponto de mudança nas chuvas sazonais da estação 2245010 .....	41
Figura 10: Gráficos de tendência e ponto de mudança das vazões médias anuais da estação 61320000 .....	43
Figura 11: Gráficos de tendência e ponto de mudança das vazões sazonais da estação 61320000 .....	44
Figura 12: Gráficos de tendência e ponto de mudança das vazões médias anuais da estação 61250000 .....	45
Figura 13: Tendência e pontos de mudança das chuvas sazonais da estação 61250000 .....	46
Figura 14: Gráficos de tendência e ponto de mudança da Etr sazonal .....	48
Figura 15: Gráficos de tendência e ponto de mudança da Eta sazonal.....	49
Figura 16: Gráficos de Mann Kendall e de Pettitt nas vazões de 1984 a 2014 .....	50
Figura 17: Mapas de uso e ocupação de solo do Rio Sapucaí-Mirim .....	52
Figura 18: Mapas de uso e ocupação do solo do Rio Sapucaí-Guaçu .....	53
Figura 19: Eventos ocorridos em Campos do Jordão .....	59

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Exemplos de estudos sobre alterações hidrológicas .....	16
Tabela 2: Estações fluviométricas .....	24
Tabela 3: Estações pluviométricas.....	24
Tabela 4: Preenchimento das séries de vazão e precipitação .....	25
Tabela 5: Correlações (r) entre os dados mensais das estações base e auxiliares .....	25
Tabela 6: Dados das imagens de satélite para as estações 61250000 e 61320000 .....	28
Tabela 7: Coeficientes de autocorrelação lag 1 ( $r_1$ ) significativos ( $p \leq 0,05$ ) das séries hidrológicas.....	32
Tabela 8: Bandas e resolução espectral dos satélites Landsat TM, ETM e OLI TIRS .....	34
Tabela 9: Resultados do teste de Mann-Kendall para as estações de chuva .....	37
Tabela 10: Resultado do teste de Pettitt para as estações de chuva .....	38
Tabela 11: Resultados dos testes de Mann-Kendall e Pettitt para as séries de vazão .....	42
Tabela 12: Resultado do teste de Pettitt para as estações de vazão .....	42
Tabela 13: Resultado do teste de Mann Kendall para a Etr.....	47
Tabela 14: Resultado do teste de Pettitt para a Etr .....	47
Tabela 15: Resultado do teste de Mann Kendall para a Eta .....	48
Tabela 16: Resultado do teste de Pettitt para a Eta.....	49
Tabela 17: Resultado do teste de Mann Kendall para vazão (1984 a 2014).....	51
Tabela 18: Resultado do teste de Pettitt para a Eta.....	51
Tabela 19: Áreas das classes de cobertura da bacia do Rio Sapucaí-Mirim, em km <sup>2</sup> .....	54
Tabela 20: Áreas das classes de cobertura do Rio Sapucaí-Guaçu, em km <sup>2</sup> .....	55

## Sumário

<b>RESUMO .....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>IV</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>V</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>8</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>9</b>
3.1 VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA E ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS .....	9
3.2 EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS VAZÕES FLUVIAIS.....	10
3.3 EFEITOS DAS ALTERAÇÕES DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE AS VAZÕES FLUVIAIS.....	12
3.4 ANÁLISE DA ESTACIONARIEDADE .....	13
3.5 EXEMPLOS DE ESTUDOS DE ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS.....	14
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
4.1.1 <i>Unidade de gestão e hidrografia</i> .....	20
4.1.2 <i>Clima</i> .....	21
4.1.3 <i>Geologia e solos</i> .....	22
4.1.4 <i>Uso e ocupação do solo</i> .....	22
4.2 BASE DE DADOS UTILIZADAS.....	23
4.2.1 <i>Dados fluviométricos</i> .....	24
4.2.2 <i>Dados pluviométricos</i> .....	24
4.2.3 <i>Preenchimento de falhas nas séries históricas</i> .....	25
4.2.4 <i>Dados de evapotranspiração</i> .....	26
4.3 MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) .....	27
4.4 IMAGENS DE SATÉLITE .....	28
4.5 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS E PONTOS DE MUDANÇAS.....	28
4.5.1 <i>Teste Mann Kendall</i> .....	28
4.5.2 <i>Teste Pettitt</i> .....	30

4.5.3	<i>Autocorrelação das séries</i> .....	31
4.6	ANÁLISE DA MUDANÇA DO USO E OCUPAÇÃO SOLO.....	33
4.6.1	<i>Delimitação das Bacias Hidrográficas</i> .....	33
4.7	DEFINIÇÃO DE CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA).....	34
4.8	ATRIBUIÇÃO DE CAUSAS DAS MUDANÇAS DE VAZÃO.....	35
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
5.1	TENDÊNCIAS E PONTOS DE MUDANÇA DA PRECIPITAÇÃO.....	37
5.2	TENDÊNCIAS E PONTOS DE MUDANÇA DAS VAZÕES.....	42
5.3	TENDÊNCIAS E PONTOS DE MUDANÇA NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO .....	47
5.3.1	<i>Evapotranspiração de referência</i> .....	47
5.3.2	<i>Evapotranspiração real</i> .....	48
5.3.3	<i>Análise complementar: testes em período pareado de vazão e evapotranspiração</i> .....	50
5.4	ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	51
5.4.1	<i>Rio Sapucaí-Mirim</i> .....	54
5.4.2	<i>Rio Sapucaí-Guaçu</i> .....	54
5.6	DISCUSSÃO.....	56
5.6.1	<i>Contribuição de mudanças climáticas</i> .....	57
5.6.2	<i>Contribuição de atividades humanas</i> .....	58
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>63</b>
	<b>APENDICE A – SÉRIES DE DADOS HIDROLÓGICOS PREENCHIDAS DAS ESTAÇÕES BASE</b> .....	<b>70</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para o bem estar social, econômico e cultural da população (LIU et al., 2013). A manutenção dos recursos hídricos é decorrente de um planejamento que visa a proteção dos aspectos qualitativos e quantitativos da água, considerando atividades humanas, crescimento populacional e mudanças climáticas (ZOLFAGHARPOUR; SAGHAFIAN; DELAVAR, 2022).

A descentralização urbana altera a paisagem natural, transformando áreas com floresta nativa em solo exposto ou terras agrícolas, e afetando a permeabilidade do solo (PANG et al., 2022). Somado a isso, a variabilidade climática altera o ciclo hidrológico (SHAO et al., 2018).

O ciclo da água é um fenômeno que relaciona a superfície terrestre e a atmosfera. A água proveniente da atmosfera cai sobre a superfície no formato de chuva, e ao atingir um solo com cobertura vegetal, intercepta em folhas e caules e, assim, evapora (TUCCI, 2001).

A vegetação também pode dificultar o escoamento da água, facilitando a infiltração no solo, diminuindo o risco de erosão, visto que o escoamento superficial é influenciado pela ação da gravidade e níveis topográficos (TUCCI, 2001).

O comportamento das variáveis hidrológicas ao longo do tempo é baseado na apresentação de tendências (crescente ou decrescente) e/ou pontos de oscilação (KUNDZEWICZ; ROBSON, 2004) na quantidade de água de uma bacia hidrográfica (MEKONNEN et al., 2018a).

Os dados hidrológicos podem ser agrupados em séries temporais, e a sua alteração pode ser avaliada por meio de testes não paramétricos, como os testes de Mann Kendall e Pettitt (XU et al., 2019; ZHANG et al., 2008; ZOLFAGHARPOUR; SAGHAFIAN; DELAVAR, 2022).

A não estacionariedade de uma série temporal hidrológica pode ser originada por mudanças climáticas e/ou fatores antrópicos que, por sua vez, podem ser relacionados ao uso e ocupação do solo (WANG et al., 2013). A identificação das causas das alterações pode ser feita a partir da análise da estacionariedade dos componentes do ciclo hidrológico, e/ou pela avaliação de alterações do uso e ocupação do solo, por meio de mapas gerados a partir de imagens de satélite das bacias hidrográficas (ABOELNOUR; GITAU; ENGEL, 2020; MEKONNEN et al., 2018a).

Identificar e entender as causas de mudanças hidrológicas nas bacias hidrográficas são fundamentais para a preservação ambiental, e para o gerenciamento dos recursos hídricos (em termos de qualidade e quantidade), de forma a se planejar ações para garantir a sua disponibilidade para os usos múltiplos, e mitigar os efeitos de eventos extremos.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo geral da pesquisa é identificar a existência de tendências e mudanças bruscas nas vazões médias de duas pequenas bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira, na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHi) 1 do Estado de São Paulo e, uma vez identificadas mudanças e/ou tendências, correlacioná-las a mudanças do clima/precipitação e/ou do uso e ocupação do solo na bacia.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Identificar tendências de aumento ou diminuição das vazões na área de estudo;
- Identificar possíveis pontos (momentos) de mudança nas séries temporais;
- Realizar o mapeamento de uso e ocupação do solo das áreas das bacias hidrográficas analisadas;
- Identificar tendências e pontos de mudanças nas séries de evapotranspiração, a partir da constatação de alteração das vazões;
- Associar às contribuições climáticas (precipitação e evapotranspiração) e humanas (mapeamento de uso e ocupação do solo e fatores antrópicos externos).

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Variáveis hidrológicas da bacia hidrográfica e alterações hidrológicas**

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água, composta por vertentes e uma rede de drenagem que, por sua vez, é constituída por cursos de água que convergem o escoamento para o exutório (ponto de saída do recurso hídrico) (TUCCI, 2001).

A estabilidade dos atributos hidrológicos garante o controle das funções ecológicas da bacia hidrográfica, preservando a qualidade da água e manutenção de habitat para a flora e seres vivos (STEIN, 2017).

Entretanto, a descontinuidade da circulação de água da superfície terrestre para a atmosfera, principalmente em áreas urbanas, modificam o comportamento das variáveis hidrológicas (ADNAN; ATKINSON, 2011).

A mudança das variáveis hidrológicas, como a redução de vazão (XU et al., 2019), não prejudica simplesmente a quantidade de água, como também seu aspecto qualitativo, visto que a alteração fluviométrica afeta a segurança hídrica (ZHANG et al., 2008).

A projeção da alteração das variáveis hidrológicas é baseada na dinâmica do seu comportamento e relação da origem da sua causa (STROHMENGER et al., 2022). O comportamento hidrológico ao longo do tempo requer a avaliação dos impactos das transformações do solo na área da bacia hidrográfica (DOGAN; KARPUZCU, 2021), bem como compreender modificações provocadas pelas alterações de variáveis hidrológicas (HU et al., 2022).

As alterações das variáveis hidrológicas são caracterizadas pela não estacionariedade do comportamento de suas séries (JIANG et al., 2015). As mudanças podem estar relacionadas à atividades naturais ou intervenções humanas, tais como o acelerado processo de industrialização, desmatamento e práticas agrícolas, acarretando, direta ou indiretamente, fenômenos como o aquecimento global (MULUGETA; FEDLER; AYANA, 2019).

O aquecimento global/mudanças climáticas é relacionado à mudanças do ciclo hidrológico e seus sistemas: alterações nos padrões, intensidade e extremidade da precipitação, derretimento de neve e geleira, aumento do vapor de água, e escoamento superficial (BATES et al., 2008).

Swain et al. (2021), em um estudo nas bacias do Rio Bahmani e do Rio Baitarani, na Índia,

ênfâtizaram a relevância e dificuldade de averiguar quantitativamente mudanças climáticas e atividades humanas nas alterações de vazão.

A estacionariedade de uma série temporal de variáveis hidrológicas é avaliada, primeiramente, pela presença de alteração lenta e, a partir da constatação de uma tendência, é possível que tal mudança prossiga futuramente (VILLARINI et al., 2009). E, posteriormente, a análise da mudança brusca na série, cuja principal diferença com o primeiro método é a alteração do regime para o seguinte, podendo permanecer até um próximo ano de mudança brusca (VILLARINI et al., 2009).

### **3.2 Efeitos das mudanças climáticas sobre as vazões fluviais**

Alterações nas séries de precipitação e evapotranspiração são causadas por mudanças climáticas e afetam o escoamento superficial (JIANG et al., 2015). Considerando o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, e os processos de transferência entre as fases atmosférica (fase, esta, diretamente afetada pelas mudanças climáticas) e terrestre do ciclo hidrológico, a precipitação é o fenômeno responsável pela entrada de água (proveniente da fase atmosférica) na fase terrestre, enquanto a evapotranspiração atua de forma oposta no balanço, retirando água da fase terrestre e tornando-a disponível na atmosfera.

O balanço hídrico é composto pelo equilíbrio da precipitação, evapotranspiração e vazão (XU; MILLIMAN; XU, 2010), onde a quantidade de água de uma bacia hidrográfica é influenciada pela chuva e qualquer desvio no recurso hídrico acarreta alteração na evapotranspiração (MILLIMAN et al., 2008).

A precipitação desempenha uma função relevante para atividades agrícolas, abastecimento de água, e desenvolvimento sócio-econômico (GAO et al., 2020), ou seja, a investigação de alterações de chuva, principalmente mensais e sazonais, é fundamental para a gestão de recursos hídricos (MULUGETA; FEDLER; AYANA, 2019). A precipitação é um dos fenômenos hidrometeorológicos mais afetados pelas mudanças climáticas, sendo as consequências destas mudanças (excesso ou redução da precipitação) facilmente perceptíveis (por exemplo, inundações decorrentes de chuvas intensas ou escassez hídrica causada por secas).

Por sua vez, a evapotranspiração também é um fenômeno fundamental para a gestão dos recursos hídricos (URREA et al., 2006; PENG et al., 2017), principalmente para calcular as necessidades de manejo de água para irrigação (YASSEN; NAM; HONG, 2020), e igualmente susceptível às mudanças climáticas.

A evapotranspiração é afetada por fatores meteorológicos, dentre eles, a radiação solar, a velocidade do vento, a umidade e a temperatura do ar (ALLEN et al., 1998). A radiação é a principal fonte energética para a evapotranspiração, dado que a demanda evaporativa aumenta com o acréscimo da temperatura do ar, elevando o déficit de saturação (CARNEVSKIS; LOURENÇO, 2018). E, em oposição à temperatura, a umidade relativa do ar é inversamente proporcional à demanda evaporativa.

As classificações de evapotranspiração consistem em evapotranspiração de referência ( $E_{tr}$ ) e evapotranspiração real ( $E_{ta}$ ) (CARNEVSKIS; LOURENÇO, 2018). A  $E_{tr}$  é definida pela presença de água (REICHARDT; TIMM, 2016). A  $E_{ta}$ , por sua vez, ocorre independente da disponibilidade de água no processo, e quando não há retenção hídrica,  $E_{ta} = E_{tr}$ , logo  $E_{ta} \leq E_{tr}$  (CARNEVSKIS; LOURENÇO, 2018).

Juntamente com seus processos associados, a evapotranspiração é responsável pela maior parte do transporte global de energia através do calor latente, desenvolvendo uma função importante para a distribuição hídrica na superfície terrestre (MAUSER; SCHADLICH, 1998), relacionada à cobertura vegetal (SU et al., 2021).

A determinação da evapotranspiração é relativamente difícil em comparação às outras variáveis hidrológicas, e pode ser feita por balanço hídrico do solo e lisímetros (exigindo especificidade e precisão), bem como por dados meteorológicos (ALLEN et al., 1998). Um dos principais métodos utilizados para o cálculo da  $E_{tr}$ , a partir de dados meteorológicos, é o *Food and Agricultural Organization of the United Nations Penman-Monteith* (PM-FAO56) (ALLEN et al., 1998).

O modelo SSEBop, empregado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), determina a estimativa de uso de recursos hídricos pela irrigação nos EUA, tem sido adaptado e se tornado uma ferramenta simplificada para a gestão da água (ANA, 2020), com ampla presença na literatura. Em um estudo no cerrado brasileiro (SOUSA; FONSECA; BENDINI, 2022), o SSEBop foi utilizado para estimar a evapotranspiração, tendo sido considerado pelos autores uma ferramenta simples e com precisão, apesar da superestimativa da variável. Resultado semelhante foi observado na bacia do Rio Lijiang, na China (YAO; MALLIK, 2022), onde a evapotranspiração apresentou valores elevados em comparação a outros métodos. No entanto, o método foi recomendado, devido ao bom funcionamento, principalmente utilizando imagens de satélite Landsat 8 (YAO; MALLIK, 2022).

Senay et al. (2020) aplicaram o método SSEBop em seis continentes, tendo obtido valores subestimados de  $E_{ta}$  na Europa e Ásia, e superestimados na África e Austrália. Todavia,

apresentou confiabilidade para avaliar uma situação de escassez hídrica, pois nos anos secos/quentes a evapotranspiração apresentou uma queda, assim como nos anos úmidos, a evapotranspiração foi elevada.

Uma avaliação da aplicação do sensoriamento remoto em modelo hidrológico foi realizada em Michigan, nos EUA (HERMAN et al., 2018), tendo o modelo SSEBop apresentado o melhor desempenho, sendo recomendado para utilização em outras regiões. O bom desempenho do modelo SSEBop foi igualmente observado em um estudo, em 2005 a 2010, no Delta do Nilo e Vale do Nilo, com o mesmo objetivo de identificar o melhor método de sensoriamento remoto em hidrologia para estimar a evapotranspiração real (AYYAD et al., 2019). Os autores enfatizam a relevância da aplicação do modelo SSEBop, uma vez que é confiável e vantajoso para estimar a evapotranspiração com poucos dados.

### **3.3 Efeitos das alterações do uso e ocupação do solo sobre as vazões fluviais**

A intervenção humana na área de bacias hidrográficas pode ser atribuída ao desordenado processo de urbanização, atividades agrícola e transformação do solo (JIANG et al., 2015), assim sendo, a compreensão de alterações do uso do solo é relevante para o planejamento dos recursos hídricos (MEKONNEN et al., 2018b; ANIL; RAMESH, 2017; MONDAL; LE; LAKSHMI, 2022).

O desequilíbrio hídrico ocasionado pela alteração das variáveis vazão e evapotranspiração ressalta que a mudança foi ocasionada por fatores antrópicos, como a retirada de água (XU; MILLIMAN; XU, 2010). As atividades humanas na bacia hidrográfica são classificadas em construção de barragens, desmatamento e reflorestamento (ZHAO et al., 2014).

Uma comparação da relação da variabilidade climática com o mapeamento do uso e ocupação do solo podem apresentar um resultado semelhante (SWAIN et al., 2021), no entanto, as transformações do solo podem evidenciar maior contribuição para a investigação das alterações, principalmente nas séries de vazão (ANIL; RAMESH, 2017; ZHANG et al., 2008).

O modelo hidrológico, por meio de mapeamento, associa mudanças em séries de chuva e vazão com alterações do uso e ocupação do solo (ADNAN; ATKINSON, 2011) que, assim como as variáveis hidrológicas, averiguam diferentes classes de uso do espaço em um intervalo de tempo (MARHAENTO; BOOIJ; HOEKSTRA, 2017).

Atualmente, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é um instrumento de gestão para examinar os recursos naturais (MOHAMMED; HANI; KADHIM, 2018). O sensoriamento remoto por satélite, apesar da imprecisão em sua classificação (MEKONNEN et al., 2018a), tem sido amplamente empregado em estudos hidrológicos (MONDAL; LE; LAKSHMI, 2022; ANIL; RAMESH, 2017). Um dos processos consiste na classificação supervisionada, baseada na verossimilhança, que aplicada em imagens de satélite da área da bacia hidrográfica estudada, em determinado período, resulta na classificação de categorias, resultando em mapas de uso e ocupação do solo (MOHAMMED; HANI; KADHIM, 2018). Esse processo pode ser aplicado em imagens de diversas épocas, permitindo avaliar as mudanças do uso e ocupação do solo ao longo do tempo.

### **3.4 Análise da estacionariedade**

Os testes estatísticos, como um instrumento de avaliação de transformações ocasionadas por mudanças climáticas (PANG et al., 2022) e antropização (ZOLFAGHARPOUR; SAGHAFIAN; DELAVAR, 2022), tem a função de detectar mudanças em séries de vazão e precipitação (LIU et al., 2013), bem como seu ponto de alteração (ZHANG et al., 2008).

A análise estatística de tendências de uma variável ao longo do tempo pode ser baseada em testes não paramétricos (FERREIRA et al., 2021). Em oposição aos testes paramétricos, os de distribuição livre possuem dados que podem variar temporariamente e são embasados em hipóteses (KUNDZEWICZ; ROBSON, 2004).

A realização do teste não paramétrico é baseada em declarações, caracterizadas por hipóteses nula e alternativa (KUNDZEWICZ; ROBSON, 2004). Portanto, para a análise da tendência de uma série, a hipótese nula seria baseada na estacionariedade, e a alternativa na existência de uma tendência de aumento ou diminuição ao longo do tempo.

A identificação da mudança em uma série temporal pode ser realizada pelo teste de Mann Kendall (KUNDZEWICZ; ROBSON, 2004). Tal teste tem como fundamento a idealização de uma tendência, utilizando uma variável ao longo do tempo (HELSEL et al., 2020).

A determinação do ponto (momento) de alteração de uma série temporal e a determinação do valor da significância pode ser realizada pelo teste não paramétrico de Pettitt (HELSEL et al., 2020; KUNDZEWICZ; ROBSON, 2004).

Os testes de Mann Kendall e de Pettitt são amplamente utilizados para a análise de tendências e pontos de mudanças em séries temporais, com facilidade de aplicação por meio de

pacotes estatísticos em um conjunto extenso de dados hidrológicos, contudo, quando ausentes, sua precisão é afetada (ZHOU et al., 2023).

### **3.5 Exemplos de estudos de alterações hidrológicas**

Os estudos, organizados na Tabela 1, aplicaram o teste de Mann Kendall e de Pettitt para analisar variáveis hidrológicas, e as causas foram divididas em fatores climáticos e de uso e ocupação do solo.

Xu et al. (2019) analisaram a alteração da série fluviométrica no Rio Yihe, na cidade de Luoyang, em um período de 1960 a 2008, aplicando os testes Mann Kendall e Pettitt. A tendência para os dados de chuva e vazão foi de diminuição, e o ponto de mudança foi identificado no ano de 1985. A causa da alteração consistiu em mudanças climáticas e, em menor proporção, atividades humanas. Vale destacar que uma série temporal pode apresentar somente uma variação em sua estacionariedade, e não apresentar um ponto de mudança pelo teste de Pettitt, uma vez que a alteração foi gradativa (MEKONNEN et al., 2018).

Adnan e Atkinson (2011), após a observação de episódios de enchente na Malásia, aplicaram o teste de Mann Kendall para as séries fluviométricas e pluviométricas no Rio Kelantan, entre 1975 e 2006, e constataram tendências decrescentes para as duas variáveis. A análise da mudança do uso e ocupação do solo constatou que a não estacionariedade das séries temporais foi causada pela transformação de área florestal para terras agrícolas.

Zhang et al. (2008) utilizaram os testes de Mann Kendall e Pettitt em séries de vazão e precipitação nas Bacias do Planalto de Loess, e os testes não paramétricos detectaram tendências de decréscimo nos dados analisados, juntamente com o ponto de mudança entre 1971 e 1985. Os resultados do mapeamento de uso e ocupação do solo constataram alterações a partir do ano de 1950, coincidindo com as medidas para preservar o solo do processo de erosão, logo, medidas de conservação, de caráter biológico ou de engenharia, acarretaram diminuição das vazões fluviais.

As tendências de aumento das chuvas no inverno e de diminuição no verão foram identificadas na bacia do Rio Awash, na Etiópia (MULUGETA; FEDLER; AYANA, 2019). A conjectura para a não estacionariedade sazonal das chuvas é fundamentada em mudanças climáticas, e a atenuação da precipitação no verão pode ser estabilizada pelo aumento da tendência pluviométrica nos meses de seca.

Uma projeção de séries de precipitação e vazão na bacia do Rio Tonle Sap constatou que

alterações nas chuvas, embora pequenas, acarretaria mudanças nas séries de vazões, assim como uma correlação existente entre as variáveis hidrológicas (SOK et al., 2022). A influência da precipitação no comportamento das vazões é mais significativa em séries mensais relativamente à anuais.

Modificações em séries de vazões são complementares às de precipitação, conforme observadas nos Rios Baitarani e Brahmani, onde a resposta para o comportamento foi uma junção de mudanças climáticas, topografia da bacia hidrográfica e uso do solo, principalmente por um dos rios ser composto, em metade de seu território, por áreas agrícolas (SWAIN et al., 2021). Ressaltando a simultaneidade das consequências de mudanças climáticas e outras atividades humanas na bacia hidrográfica.

Tabela 1: Exemplos de estudos sobre alterações hidrológicas

<b>AUTORES</b>	<b>LOCAL DO ESTUDO</b>	<b>VARIÁVEIS HIDROMETEOROLÓGICAS ANALISADAS</b>	<b>PERÍODO</b>	<b>MÉTODOS UTILIZADOS PARA DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS E ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS</b>	<b>FATORES ANALISADOS CONTRIBUINTES PARA AS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS</b>
(ADNAN; ATKINSON, 2011)	Rios Galas e Kelantan na Malásia	Vazão precipitação	1975-2006	Teste de Mann Kendall	Mudança de uso e ocupação do solo
(ANIL; RAMESH, 2017)	Bacia do Rio Harangi na Índia	Vazão Precipitação Temperatura	2001-2011	Teste de Mann Kendall	Mudança do uso e ocupação do solo
(DITTMER, 2013)	Bacia do Rio Columbia	Vazão Precipitação Temperatura	1904-2009	Teste de Mann Kendall	Mudanças climáticas
(HU et al., 2022)	Bacia do Rio Amarelo na China	Vazão Precipitação Evapotranspiração	1956-2015	Teste de Mann Kendall	Mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo
(KIBRIA et al., 2016)	Rio Mississipi em Dakota do Sul	Vazão Precipitação	1951-2013	Teste de Mann Kendall	Mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo
(LIU et al., 2013)	Bacia do Rio Tangwang	Vazão Precipitação	1964-2006	Teste de Mann Kendall	Mudanças climáticas e de uso e ocupação do

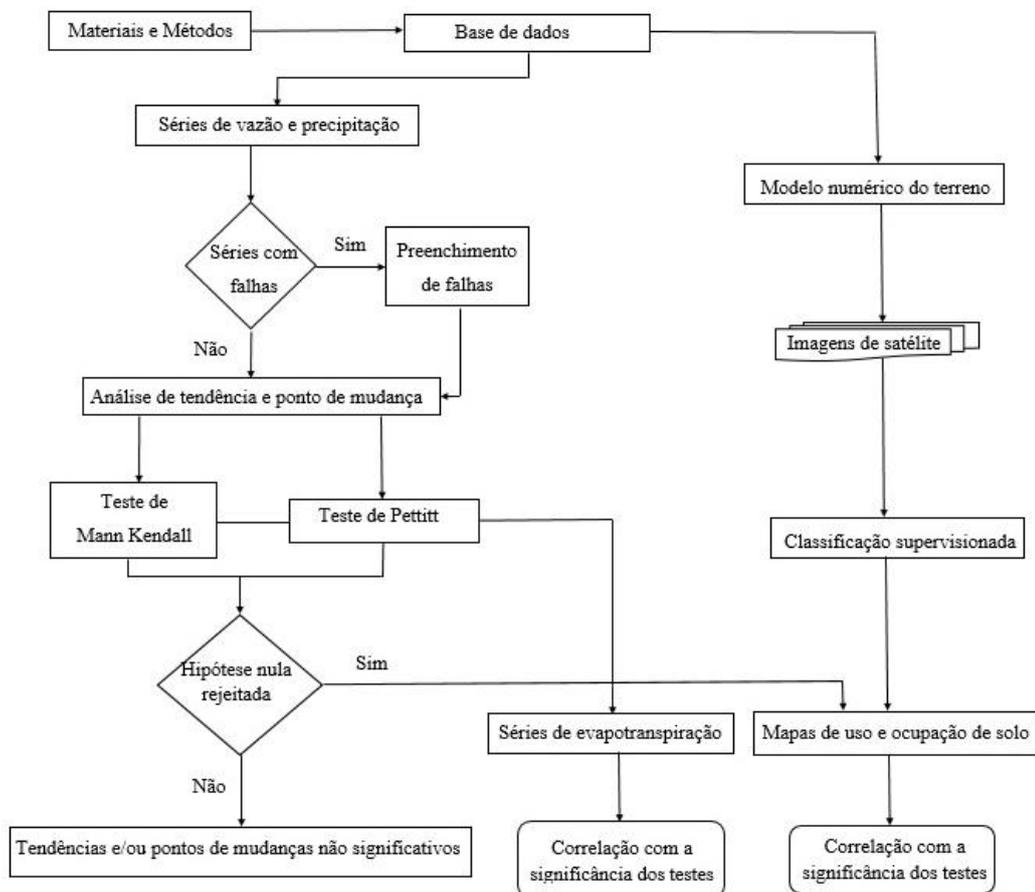
AUTORES	LOCAL DO ESTUDO	VARIÁVEIS HIDROMETEOROLÓGICAS ANALISADAS	PERÍODO	MÉTODOS UTILIZADOS PARA DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS E ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS	FATORES ANALISADOS CONTRIBUINTES PARA AS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS
	na China	Temperatura			solo
(MARHAENTO; BOOIJ; HOEKSTRA, 2017)	Bacia hidrográfica de Samin na Indonésia	Vazão Precipitação Evapotranspiração	1990-2013	Teste de Mann Kendall	Mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo
(MEKONNEN et al., 2018b)	Bacia do Rio Nilo Azul na África	Vazão Precipitação	1971-2010	Teste de Mann Kendall e de Pettitt	Mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo
(SHAO et al., 2018)	Bacia do Rio Amarelo na China	Vazão Precipitação Velocidade do vento Temperatura	1970-2014	Teste de Mann Kendall	Mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo
(STROHMENGER et al., 2022)	Bacia hidrográfica de Strengbach na França	Vazão Precipitação Temperatura	1988-2018	Teste de Mann Kendall	Mudanças climáticas
(SWAIN et al., 2021)	Bacia do Rio Brahmani na	Vazão Precipitação	1979-2018	Teste de Mann Kendall	Mudanças climáticas

<b>AUTORES</b>	<b>LOCAL DO ESTUDO</b>	<b>VARIÁVEIS HIDROMETEOROLÓGICAS ANALISADAS</b>	<b>PERÍODO</b>	<b>MÉTODOS UTILIZADOS PARA DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS E ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS</b>	<b>FATORES ANALISADOS CONTRIBUINTES PARA AS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS</b>
	Índia	Temperatura			
(XU et al., 2019)	Bacia do Rio Amarelo na China	Vazão Precipitação Evapotranspiração	1960-2008	Teste de Mann Kendall e de Pettitt	Mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo
(ZHANG et al., 2008)	Planalto de Loess na China	Vazão Precipitação Evapotranspiração	1956-2000	Teste de Mann Kendall e de Pettitt	Mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo
(ZOLFAGHARPOUR; SAGHAFIAN; DELAVAR, 2022)	Bacia do Rio Zayandeh – Rud no Irã	Vazão	1962-2013	Mann Kendall Pettitt	Mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos da pesquisa foram divididos em 4 principais etapas: (1) levantamento e preparação de dados (séries históricas de vazão e precipitação, e evapotranspiração, além de imagens de satélite); (2) aplicação dos testes não paramétricos Mann Kendall e Pettitt nas séries históricas de dados, visando analisar a existência de tendências e possíveis momentos de mudança; (3) elaboração e análise de mapas de uso e ocupação de solo nas bacias hidrográficas estudadas em diferentes períodos, de forma a se associar possíveis mudanças hidrológicas às mudanças da cobertura e uso do solo; (4) análise e interpretação dos resultados dos testes não paramétricos e mapas de uso e ocupação do solo, para atribuir as causas de mudanças significativas das vazões a mudanças climáticas, mudanças da cobertura do solo, a combinações de ambas, ou a fatores “externos” (por exemplo, aumento da captação de água). A Figura 1 resume os métodos utilizados na pesquisa, descritos detalhadamente nas próximas seções.

Figura 1: Fluxograma da metodologia



Fonte: Autor (2023)

Esse consistiu na obtenção e preparação das séries de vazão, chuva e evapotranspiração, para aplicação dos testes não paramétricos, cujos resultados estatisticamente significativos foram a mudanças do uso e ocupação de solo nas bacias hidrográficas e/ou mudanças climáticas. Os mapas de cobertura do solo foram produzidos por meio da técnica de classificação supervisionada, após delimitação das bacias hidrográficas a partir de modelos numéricos de terreno.

## **4.1 Caracterização da área de estudo**

A pesquisa foi realizada no trecho paulista da Serra da Mantiqueira (SM), uma das maiores cadeias montanhosas da Região Sudeste do Brasil que, a partir do Decreto nº 91.304/1985 (BRASIL, 1985), se tornou uma Área de Proteção Ambiental (APASM), cujo objetivo é a garantia da preservação da paisagem e conservação da vegetação, flora e vida selvagem. A Serra da Mantiqueira, reconhecida por seus cursos d'água, engloba três estados: Minas Gerais (60%), São Paulo (30%) e Rio de Janeiro (10%) (CBH-SM, 2015).

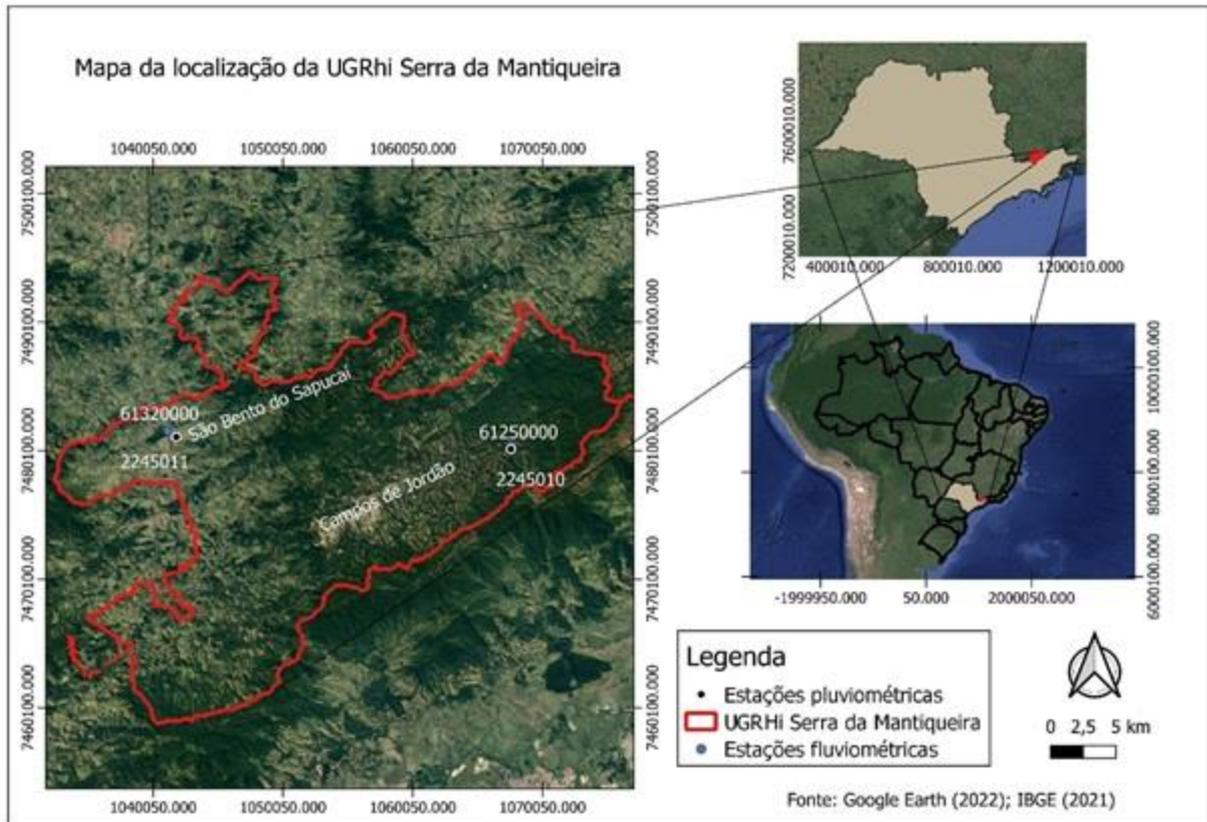
No Estado de São Paulo, em sua porção leste, parte da SM é localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHi-1), com área total de 676,12 km<sup>2</sup>, abrangendo os municípios Campos do Jordão, Santo Antônio do Pinhal e São Bento do Sapucaí (Figura 2) (CBH-SM, 2015).

### **4.1.1 Unidade de gestão e hidrografia**

A UGRHi-1 (Figura 2) possui uma área total de 676,12 km<sup>2</sup> e está inserida na Bacia do Rio da Prata e da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná (CBH-SM, 2015). Sua extensão é equivalente a 0,28% do estado de São Paulo, e subdividida em duas sub bacias: Rios Sapucaí-Mirim (57,22%) e Sapucaí-Guaçu (42,78%) (CBH-SM, 2015).

O Rio Sapucaí-Mirim (BRSM) compreende 386,85 km<sup>2</sup> de área de drenagem (CBH-SM, 2015), enquanto o Rio Sapucaí-Guaçu (BRSG) possui uma área de aproximadamente 290 km<sup>2</sup> (CBH-SM, 2015).

Figura 2: Área da UGRHI-01



Fonte: Autor (2022)

#### 4.1.2 Clima

O clima da região é considerado tropical, definido como temperado ou mesotérmico úmido (Cfb) pela classificação Köppen (ICMBIO, 2018), com invernos frios e verões geralmente brandos (LOPES et al., 2013). As temperaturas variam entre 13,4°C (ICMBIO, 2018) e 19°C (LOPES et al., 2013), sendo que, em Campos do Jordão, a temperatura mínima pode atingir 5,15°C, principalmente nos meses de junho a agosto (ICMBIO, 2018).

A umidade relativa do ar apresenta valores superiores a 70% (LOPES et al., 2013). As precipitações anuais variam entre 1000 e 2000 mm (LOPES et al., 2013), com distribuição sazonal definida, sendo um período seco nos meses de maio a agosto, e um chuvoso entre setembro e abril (ICMBIO, 2018).

Em virtude da altitude (Figura 3), afloramentos de rocha e volume de precipitação, a região da UGRHI-1 apresenta riscos de deslizamentos de terra (BENITES et al., 2003) e inundações, sobretudo em Campos de Jordão (CBH-SM, 2015).

### **4.1.3 Geologia e solos**

Os solos da Bacia Hidrográfica da Serra da Mantiqueira são classificados em Cambissolos Húmicos e Háplicos (90,97%), e Neossolos Flúvicos e Litólicos (9,03%) (SILVA, 2014a), apresentando texturas médias e arenosas (BENITES et al., 2003).

Os Cambissolos são caracterizados pela ampla diversidade de cores, profundidades e podem variar entre pedregosos e rochosos, são comumente relacionados aos relevos mais íngremes. Os Cambissolos Háplicos e Húmicos são observados, principalmente, em Campos do Jordão, posto que a região possui níveis topográficos próximos a 2000 m, e clima com temperaturas mais baixas, favorecendo a umidade no solo (SILVA, 2014b).

Identificou-se, nas bacias da UGRHi-1, a presença de Neossolo Flúvico, cuja característica é a drenagem irregular e propensão à agricultura, e Neossolo Litólico, com fragmentos de rocha maiores que 2 mm, restritas ao uso relacionado à pouca profundidade e declividade acentuada (SILVA, 2014b).

São predominantes os granitos e gnaisses, uma vez que a bacia é contida, em maior parte do seu território, no Complexo Varginha-Guaxupé (ICMBIO, 2018), e em rochas de grau metamórfico intermediário, assim como os migmatitos (BENITES et al., 2003).

A Unidade Geomorfológica é a do Planalto de Campos do Jordão, onde o relevo aparenta falhas influenciadas pela tectônica que, por sua vez, formam vales na direção NE-SO com profundidades de 158 a 372 m (ICMBIO, 2018).

O relevo da bacia é definido pela variação de forte ondulado a montanhoso em cerca de 80% de seu território, bem como a relação de precipitação com altitude que intensifica o escoamento superficial, exigindo a proteção de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e declividades (SILVA, 2014a).

### **4.1.4 Uso e ocupação do solo**

O município de Campos do Jordão, com um grau de urbanização<sup>1</sup> de 99,4% (SEADE, 2021), possui como atividades econômicas o comércio, o turismo (principalmente nos meses de inverno, destacando os setores hoteleiro e gastronômico), fabricação de doces, têxtil, cervejaria e artesanato, extração de água mineral, e aquicultura (CBH-SM, 2015).

---

<sup>1</sup> Grau de urbanização é definido pela razão entre quantidade da população urbana e população total (SEADE, 2021), sendo assim, o parâmetro não representa uma característica física da área estudada, mas, sim, demográfica.

Em Santo Antônio do Pinhal, o grau de urbanização é equivalente a 70,8%, e a atividade econômica corresponde a 83,8% serviços, 5,7% indústria e 6,5% agropecuária (SEADE, 2021).

São Bento do Sapucaí, o município menos urbanizado (52%), é o que possui a maior porcentagem que utiliza a agropecuária como renda (11,04%), onde a maioria corresponde a serviços (78,3%), como produtos de madeira, e indústria com 5,4% (SEADE, 2021).

Os usos do solo na UGRHi-1 são classificados em cobertura arbórea (60,33%), cobertura herbácea arbustiva (30,98%), solo exposto (7,62%), área construída (1,03%), área úmida (0,03%), e em apenas 0,01% desconhecido, em razão da impossibilidade de identificação da classe pela presença de sombra ou nuvens (CBH-SM, 2015).

Nas duas sub-bacias (BRSM e BRSG), o uso predominante é a cobertura arbórea (mais de 40%), principalmente na BRSG (42,17% da área) (CBH-SM, 2015). Em contrapartida, o grau de urbanização é maior nesse mesmo rio, equivalente a 6,96% da área, em oposição ao Sapucaí-Mirim com somente 1,78% (CBH-SM, 2015). O detalhamento do uso e ocupação do solo nos trechos das bacias estudados é apresentado nas seções seguintes.

## 4.2 Base de dados utilizadas

As séries históricas de dados fluviométricos e pluviométricos foram obtidas na base Hidroweb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Foram selecionadas duas estações fluviométricas nos municípios Campos do Jordão (61250000) e São Bento do Sapucaí (61320000), localizadas na BRSG e BRSM, respectivamente. As estações pluviométricas foram selecionadas em função da sua proximidade com as estações fluviométricas (2245011 com a 61320000, e 2245010 com a 61250000).

Nas análises temporais, foi considerado o ano hidrológico típico do Sudeste Brasileiro, iniciando em outubro (início do período úmido) e terminando em setembro do ano seguinte (final do período seco). Além dos dados mensais, foram analisados, também, os sazonais: verão (janeiro, fevereiro e março), outono (abril, maio e junho), inverno (julho, agosto e setembro), e primavera (outubro, novembro e dezembro).

Uma série hidrológica com total integridade dos dados é caracterizada por não apresentar interrupção (falhas de dados) ao longo de seus anos (TUCCI, 2001), e na ocorrência da descontinuidade dos dados hidrológicos, faz-se necessário o preenchimento das falhas. Neste trabalho, considerou-se a integridade mínima (razão entre a quantidade de dados da amostra e

a quantidade de dados da amostra sem falhas no mesmo período) de 90% para a seleção das estações.

#### 4.2.1 Dados fluviométricos

As estações fluviométricas base selecionadas para a pesquisa (Figura 1) são apresentadas na Tabela 2. As análises foram desenvolvidas com dados de vazões médias anuais e as sazonais.

Tabela 2: Estações fluviométricas

Código ANA	AD* (km <sup>2</sup> )	Coordenadas		Período	INT****	QMLT **** (m <sup>3</sup> /s)
		Latitude	Longitude			
61250000	109	-22°41'16"		10/1935	≈100%	3,9
			-45°28'47"	09/2014		
61320000	475	-22°41'9"		10/1937	≈93%	10,7
			-45°44'11"	09/2014		

\* Área de drenagem; \*\* Anos hidrológicos; \*\*\* Integridade da série; \*\*\*\* Vazão média de longo termo.

#### 4.2.2 Dados pluviométricos

As estações pluviométricas base empregadas no estudo, descritas na Tabela 3, foram ordenadas a partir dos anos hidrológicos, bem como para o cálculo da precipitação total anual média.

A análise das séries de chuva foi baseada nos valores de precipitação totais anuais.

Tabela 3: Estações pluviométricas

Código ANA	Coordenadas		AH*	Período	Precipitação total anual média (mm)
	Latitude	Longitude			
2245010	-22°41'24"	-45°28'48"	80	10/1941 - 09/2021	1718
2245011	-22°41'24"	-45°43'48"	80	10/1941 - 09/2021	1211

\* Anos hidrológicos

### 4.2.3 Preenchimento de falhas nas séries históricas

Os critérios para preenchimento das falhas consistiram em considerar estações auxiliares próximas (FERREIRA et al., 2021), situadas à jusante ou montante da estação base e na observação da proximidade (TUCCI, 2001), assim como avaliar o uso das próprias estações base (Tabelas 2 e 3) para o fornecimento de dados entre si.

As estações base e auxiliares utilizadas para o preenchimento, em escala anual, de falhas nas séries históricas de vazão e chuva são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Preenchimento das séries de vazão e precipitação

ESTAÇÃO BASE	ESTAÇÕES AUXILIARES	CRITÉRIO DE PRÉ-SELEÇÃO
61320000 (BRSM)	61250000 (BRSG)	
2245010 (BRSG)	2245011 (BRSM) e 2245029	Proximidade geográfica.
2245011 (BRSM)	2245010 (BRSG) e 2245029	

Para avaliar, objetivamente, a adequação das estações auxiliares para o preenchimento das falhas das estações base, foram calculados os seus coeficientes de correlação ( $r$ ). Conforme a Tabela 5, verifica-se que os dados apresentaram correlações positivas significativas ( $p$ -value < 0,01), de nível forte a moderado. Validadas as correlações entre os dados das estações base e auxiliares, utilizou-se a regressão linear para o preenchimento das falhas das séries, conforme indicado por Tucci (2001). Para o preenchimento das lacunas coincidentes das séries fluviométricas das duas estações, no mês 12/1988, utilizou-se uma equação polinomial, ajustando as vazões de cada série aos respectivos tempos. As séries históricas preenchidas das estações base, utilizadas nas análises, são apresentados no Apêndice A.

Tabela 5: Correlações ( $r$ ) entre os dados mensais das estações base e auxiliares

Estação base	Estação auxiliar	Tipo de dado	$r$	$p$ -value
61250000	61320000	Médias mensais	0,84	
2245010	2245011	Totais mensais	0,81	
2245010	2245029	Totais mensais	0,81	< 0,01
2245011	2245010	Totais mensais	0,81	
2245011	2245029	Totais mensais	0,79	

#### 4.2.4 Dados de evapotranspiração

Devido à indisponibilidade de dados hidrometeorológicos completos e com extensão adequada ao período de análise nas principais bases nacionais, a evapotranspiração real (Eta) e de referência (Etr), para os anos de 1984 a 2020, foram determinadas indiretamente, utilizando o método do Balanço de Energia de Superfície Simplificado Operacional (SSEBop) (ANA, 2020).

Nesta pesquisa, o modelo SSEBop foi aplicado por meio da ferramenta/aplicativo *online* disponibilizado pela ANA (ANA, 2020), através da qual se definiu a região de interesse a partir do centróide da bacia do Rio Sapucaí-Guaçu<sup>2</sup>, nas coordenadas 22° 43' 49,44" S e 45°32'58" O.

Mediante banco de dados disponível no aplicativo do SSEBop, foram utilizados dados meteorológicos do INMET que, cujos anos com falhas (1991, 1992, 1996, 2003 e 2004), foram complementados com dados do CNEP *Climate Forecast System Version 2* (CFSV2). A primeira fonte é baseada em dados das estações meteorológicas do Brasil, com um tamanho de pixel de 0,25 x 0,25 grau, e o CFSV2 com 0,2 x 0,2 grau. As duas fontes de dados apresentam um desempenho semelhante, podendo superestimar os valores de Eta (SOUSA; FONSECA; BENDINI, 2022).

A partir da indicação do centróide da bacia, os valores diários de evapotranspiração real e de referência foram obtidos no ponto. O preenchimento de falhas, por regressão linear simples, foi realizado no *software Microsoft Office Excel*, onde o coeficiente de correlação (CFSV2 para INMET) consistiu em 0,85 para as Etr e Eta.

A evapotranspiração real diária depende do balanço de energia (ANA, 2020) e é determinada pela Equação 1 (SENAY et al., 2013), em mm/dia:

$$Eta = E_{tf} \times E_{tr} \quad (1)$$

Em que a Etr foi determinada por meio da FAO *Penman-Monteith*, e a E<sub>tf</sub> (Equação 2) consistiu na razão da diferença das temperaturas quente (T<sub>h</sub>) e de superfície (T<sub>s</sub>) pela subtração da T<sub>h</sub> pela temperatura fria (T<sub>c</sub>) (SENAY et al., 2013):

---

<sup>2</sup> Considerou-se somente a bacia do Rio Sapucaí-Guaçu pois, conforme os resultados dos testes não paramétricos, apenas esta apresentou tendências significativas das vazões fluviais.

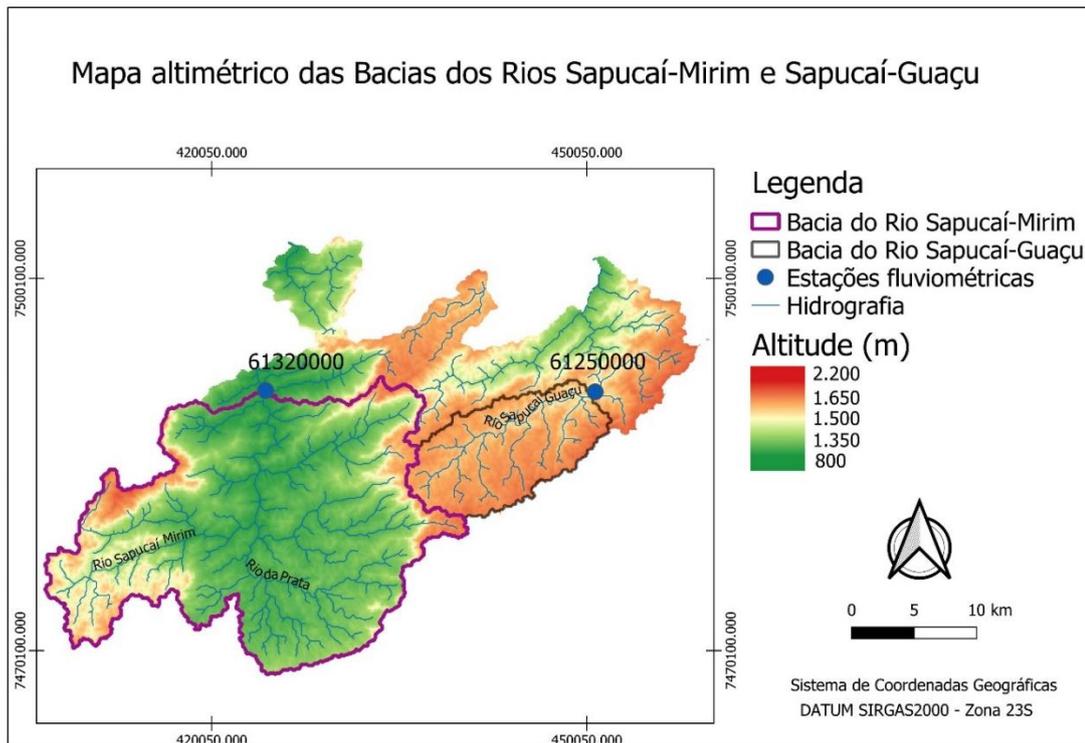
$$E_{tf} = \frac{T_h - T_s}{T_h - T_c} \quad (2)$$

### 4.3 Modelo digital de terreno (MDT)

O MDT (Figura 3) foi obtido a partir de dados SRTM (<https://www.cnpemembrapa.br/projetos/relevobr/download/index.htm>), na quadrícula SF-23-Y-B.

O arquivo foi delimitado, primeiramente, na região da URGH-1, cujo contorno foi realizado pelos vetores obtidos mediante Secretaria do Meio Ambiente (em: <https://www.infraestrurameioambiente.sp.gov.br/cpla/sub-bacias-do-estado-de-sao-paulo/>). Posteriormente, os vetores das estações fluviométricas, 61320000 (BRSM) e 61250000 (BRSG), obtidos pelo Google Earth©, foram demarcados no modelo digital de elevação.

Figura 3: Mapa altimétrico da UGRHI-01



Fonte: Autor (2022)

## 4.4 Imagens de satélite

Para a análise da evolução do uso e ocupação do solo nas bacias estudadas, foram consideradas imagens do satélite Landsat (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/>). As imagens foram obtidas no Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), através do Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

As imagens de satélite foram selecionadas a partir da demarcação das bacias hidrográficas. O período das imagens (Tabela 6) para a BRSM foi de 1987 a 2020, enquanto para a BRSG o intervalo de tempo foi de 1985 a 2021.

Tabela 6: Dados das imagens de satélite para as estações 61250000 e 61320000

Satélite e Sensor	Bandas	61250000 (BRSG)		61320000 (BRSM)	
		Data	Órbita/Ponto	Data	Órbita/Ponto
Landsat 8 OLI TIRS	1 a 8	28/06/2021	218/076	04/09/2020	219/076
		25/08/2013	218/076	01/09/2013	219/076
Landsat 7 ETM	1 a 7	26/06/2000	218/076	17/06/2000	219/076
Landsat 5 TM	1 a 7	30/07/1992	218/076	22/06/1993	219/076
		27/07/1985	218/076	22/06/1987	219/076

## 4.5 Análise de tendências e pontos de mudanças

As séries de dados pluviométricos e fluviométricos foram analisadas com base em testes estatísticos não paramétricos. Primeiramente, foi averiguada a estacionariedade por meio do teste de Mann-Kendall (MANN, 1945) e, posteriormente, a identificação de possíveis pontos (momentos) de mudança nas séries temporais, pelo teste de Pettitt (PETTITT, 1979). Para complementar a análise, considerando outras variáveis climáticas além da chuva, os mesmos testes foram aplicados às séries de Etr e Eta. Esta abordagem permitiu avaliar, de forma mais consistente, a atribuição das causas das mudanças de vazão identificadas a fatores climáticos.

A aplicação dos testes mencionados foi feita através do *software* R (R Core Team, 2019).

### 4.5.1 Teste Mann Kendall

O teste Mann Kendall foi utilizado para identificar tendências (de aumento ou diminuição) em séries de variáveis hidrológicas. Sendo recomendado pela Organização Meteorológica

Mundial (OMM), o teste é baseado na correlação entre as séries temporais e sua unidade de tempo, e não é influenciado por dados ausentes e/ou discrepantes (MULUGETA; FEDLER; AYANA, 2019).

A estatística  $S$  (Equação 6) foi baseada nas observações a partir do conjunto  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ , onde  $n$  é a extensão das séries temporais, visto que é um teste livre e sua significância não é afetada pela distribuição real das séries. Uma hipótese é comprovadamente nula ( $H_0$ ) ao não apresentar uma tendência, e hipótese alternativa ( $H_1$ ) ao reproduzir uma tendência, podendo esta ser negativa (LIU et al., 2013) ou positiva (KIBRIA et al., 2016).

A estatística  $S$  (Equação 3) foi determinada a partir da somatória de  $sgn$  da diferença da variável  $X_j$  (posterior) em relação a  $X_i$  (anterior) (MULUGETA; FEDLER; AYANA, 2019):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (3)$$

Os valores de  $sgn(X_j - X_i)$ , por sua vez, foram obtidos com base no sinal da diferença:

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (X_j - X_i) < 0 \end{cases}$$

Com fundamento na constatação da hipótese nula  $H_0$ , a variância  $S$  (Equação 4) foi determinada por distribuição normal, uma vez que  $n > 10$  (DAS; BANEERJE, 2021):

$$S = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (4)$$

Em que  $g$  representa o número de grupos,  $t_p$  número de observações semelhantes na série e  $p$  a probabilidade. E, assim, por meio do sinal da variância, o índice  $Z$  (Equação 5) foi calculado, determinando sua tendência (MULUGETA; FEDLER; AYANA, 2019):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

O crescimento de uma tendência é avaliado pelo valor de  $Z$ , ou seja, se a estatística for positiva indicará uma tendência crescente (MEKONNEN et al., 2018c).

O teste Mann Kendall, no software R, foi aplicado com o pacote “*Trend*” (POHLERT, 2020) com a função “*Mk.test*”.

A probabilidade  $p$  foi comparada com um nível de significância de referência (5%,  $\alpha = 0,05$ ) (AIRES et al., 2020). Portanto, se a probabilidade  $p$  foi menor que a significância ( $p < \alpha$ ), a hipótese nula foi rejeitada, indicando uma tendência insignificante.

#### 4.5.2 Teste Pettitt

O teste Pettitt é definido como um teste não paramétrico usado para identificar a possível mudança nas séries temporais (PETTITT, 1979). O método detecta a partir das variáveis o ponto de mudança na sequência de variáveis aleatórias, identificado quando ocorre uma mudança bruta na série. A hipótese é considerada nula  $H_0$  quando a série não apresentou um ponto de alteração, e hipótese alternativa  $H_1$  pela existência de um ponto de mudança (ZUO et al., 2016). O teste utiliza uma versão Mann Whitney  $U_{t,N}$ , cuja finalidade é averiguar se as amostras,  $X_1, \dots, X_t$  e  $X_{t+1}, \dots, X_N$  pertencem à equivalente população.

A partir da determinação dos valores de  $t$  entre 1 e  $T$ , o cálculo (Equação 6) do número de repetições que um valor da segunda amostra é maior que o da primeira foi obtido (DAS; BANEERJE, 2021):

$$U_{t,N} = U_{t,N} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(X_t - X_j) \quad (6)$$

Sendo que:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

A localização do ponto de mudança brusca na série, representando o máximo valor de  $U_{t,N}$ , foi calculada por meio da Equação 7 (PETTITT, 1979):

$$k(t) = \max_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad (7)$$

Assim sendo, sua significância foi determinada pela Equação 8 (DAS; BANEERJE, 2021):

$$P = 2e^{\left\{ \frac{-6(K_N)^2}{(N^3 + N^2)} \right\}} \quad (8)$$

Sendo:

- $k(t)$  é o ponto de alteração da série;
- $P$  representa o nível de significância;
- $K_N$  equivale ao valor crítico;
- $N$  número de amostras da série.

Para a aplicação do teste Pettitt, no software, foi utilizado o pacote “*Trend*” (POHLERT, 2020) com a função “*pettitt.test*”. O nível de significância considerado neste estudo foi  $\alpha = 0,05$ .

### **4.5.3 Autocorrelação das séries**

Os dados de uma série temporal, para a aplicação de testes não paramétricos, devem apresentar aleatoriedade e independência serial e, uma vez correlacionados, podem acarretar erros em sua análise (HELSEL et al., 2020).

Os erros são consistidos nos tipos I e II (HELSEL et al., 2020). O primeiro tipo é baseado na apresentação de um resultado “falso positivo”, onde a hipótese nula é rejeitada, quando a hipótese alternativa é a verdadeira. E o erro tipo II é caracterizado pela falha da rejeição da hipótese nula, dado que a alternativa é falsa.

A correção dos erros tipos I e II é realizada, primeiramente, com o cálculo do coeficiente de correlação serial lag-1, representando um atraso/defasagem de 1, com um intervalo de confiança de 95% (HAMED, 2008). A partir de uma série temporal, o coeficiente de autocorrelação para o lag-1 (Equação 9) foi determinado pela correlação entre as primeiras  $N-1$ ,  $X_t$ ,  $t=1, 2, 3, \dots, N-1$  e as posteriores observações  $X_{t+1}$ , onde  $t = 2, 3, \dots, N$  (GAO et al., 2020).

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^{N-1} (x_t - \bar{x})(x_{t+1} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2} \quad (9)$$

Os coeficientes de autocorrelação lag-1 das estações de chuva e vazão (Tabela 7) foram calculados por meio do software R, com os pacotes “stats” e função “ACF” (GAO et al., 2020).

Tabela 7: Coeficientes de autocorrelação lag 1 ( $r_1$ ) significativos ( $p \leq 0,05$ ) das séries hidrológicas

Estação	Tipo de dado	r1
2245011 (chuva da BRSM)	Total anual	0,27
	Média anual	0,44
61320000 (vazão da BRSM)	Verão	0,32
	Outono	0,33
	Primavera	0,24
61250000 (vazão da BRSG)	Média anual	0,24
Etr (BRSG)	Outono	0,41

Conforme a Tabela 7, as estações 2245011 (Anual), 61250000 (Anual e 61320000 (Anual, Primavera, Verão e Outono), e a Etr (Outono) apresentaram  $r_1$  significativos e, portanto, seus dados foram corrigidos. O método para correção da correlação serial é denominado “prewhitening” (ADNAN; ATKINSON, 2011) e foi aplicado nas estações 2245011, 61250000 e 61320000, e Etr utilizando a Equação 10:

$$x_{pt} = x_{t+1} - rx_t \quad (10)$$

onde  $x_t$  representa o valor anterior na série,  $x_{t+1}$  o valor posterior, e  $r$  o coeficiente lag-1.

Esse processo de correção é comumente empregado para a aplicação de testes de tendência (VILLARINI et al., 2009). Contudo, é evidente a relevância da correção para o teste de Pettitt, em virtude da correlação serial afetar mais a verificação da análise do ponto de mudança em comparação ao teste de Mann-Kendall, principalmente para a melhoria do erro tipo I (SERINALDI; KILSBY, 2015). Isto posto, o método *prewhitening* foi aplicado nas séries das estações 2245011, 61250000 e 61320000, e Etr para os testes de Mann-Kendall e de Pettitt.

## 4.6 Análise da mudança do uso e ocupação solo

### 4.6.1 Delimitação das Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas foram delimitadas por meio do *software* QGIS 3.10.5, a partir do Modelo Numérico do Terreno (Figura 3). O procedimento foi baseado, primeiramente, na obtenção dos segmentos de fluxo e rede de drenagem da URGHi-1, com as ferramentas “GRASS” e “*r.watershed*”.

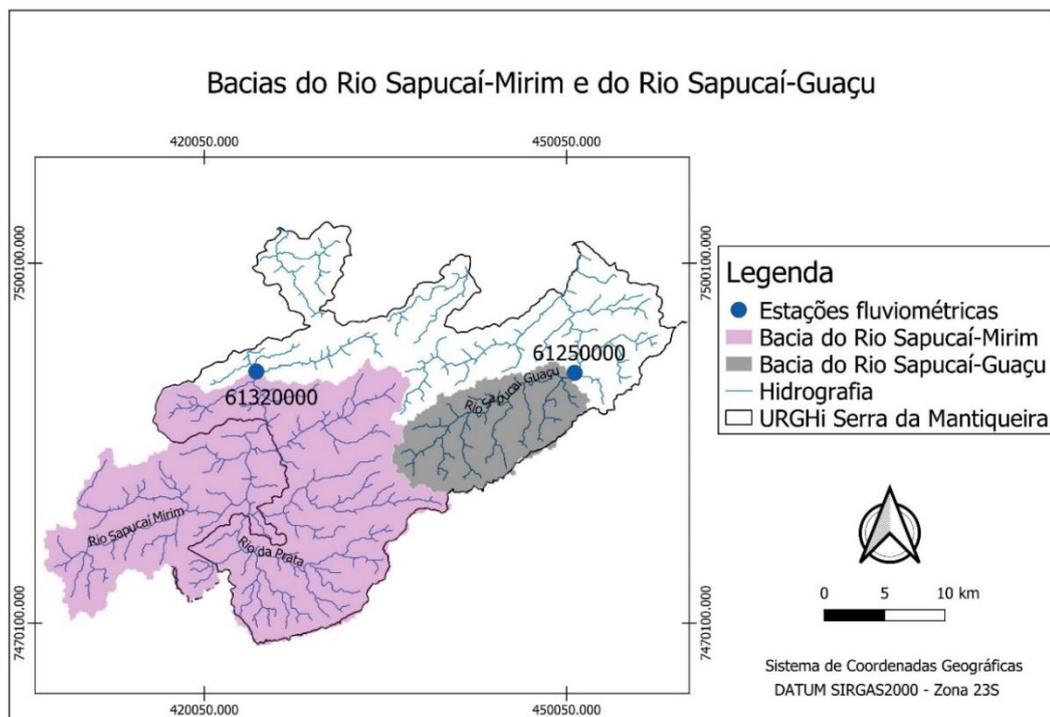
As coordenadas das estações fluviométricas 61320000 (BRSM) e 61250000 (BRSG) foram carregadas, de forma a se identificar os exutórios das suas respectivas áreas de drenagem.

Assim sendo, na ferramenta “*water.outlet*”, as estações de vazão foram utilizadas como coordenadas do exutório, determinando as áreas das bacias. Uma vez que se considerou, para delimitação de cada bacia, a montante da respectiva estação fluviométrica.

Os mapas foram gerados em arquivos vetoriais, para tanto, as sub-bacias selecionadas após análise foram dissolvidas, formando as áreas das bacias, e a rede de drenagem foi convertida em vetor.

A Figura 4 apresenta as áreas de drenagem das estações fluviométricas utilizadas.

Figura 4: Área das bacias dos Rios Sapucaí-Mirim e Sapucaí-Guaçu



Fonte: Autor (2023)

## 4.7 Definição de classes de uso e ocupação do solo (classificação supervisionada)

O uso e ocupação do solo foram avaliados por meio da classificação supervisionada, com o auxílio do *plugin* de Classificação Semiautomática (SCP) (CONGEDO, 2021). As imagens foram trabalhadas pelo *software* Quantum GIS (QGIS) 3.10.5, de caráter gratuito.

O processamento da imagem (Figura 5), com início pela possibilidade de correção da projeção, foi baseado na aplicação da composição falsa-cor nas imagens que já possuem composição colorida, alterando as bandas para cada satélite *Landsat* (LIU; AN, 2020).

A composição das imagens deve considerar bandas visíveis em azul, verde e vermelho, assim como o Infravermelho próximo (NIR), relevante para o realce da vegetação, e o Infravermelho de ondas curtas (SWIR) para fins geológicos (NASA, 2018). Para mais, bandas com resolução espectral de 30 m são ideais para analisar do uso e ocupação do solo (ABOWARDA et al., 2021) em áreas de bacia hidrográfica.

As bandas e resolução espectral dos respectivos satélites foram organizadas na Tabela 8. As bandas selecionadas foram: 1 a 5 (Landsat 5 e 7) e 1 a 7 (Landsat 8).

Tabela 8: Bandas e resolução espectral dos satélites Landsat TM, ETM e OLI TIRS

Bandas	Landsat 5 TM	Landsat 7 ETM	Landsat 8 OLI TIRS
1	Azul – 30 m	Azul – 30 m	Aerossol – 30 m
2	Verde – 30 m	Verde – 30 m	Azul – 30 m
3	Vermelho – 30 m	Vermelho – 30 m	Verde – 30 m
4	NIR – 30 m	NIR – 30 m	Vermelho – 30 m
5	SWIR-1 – 30 m	SWIR-1 – 30 m	NIR – 30 m
6	TIR – 120 m	TIR – 60 m	SWIR-1 – 30 m
7	SWIR-2 – 30 m	SWIR-2 – 30 m	SWIR-2 – 30 m
8		Pancromático – 15 m	Pancromático – 15 m
9			Cirrus – 30 m
10			TIR-1 – 100 m
11			TIR-2 – 100 m

Fonte: (NASA, 2018)

Posteriormente, foi realizada a seleção dos polígonos de treinamento, cujos tipos de cobertura são conhecidos. O algoritmo de classificação a ser utilizado foi o de Distância

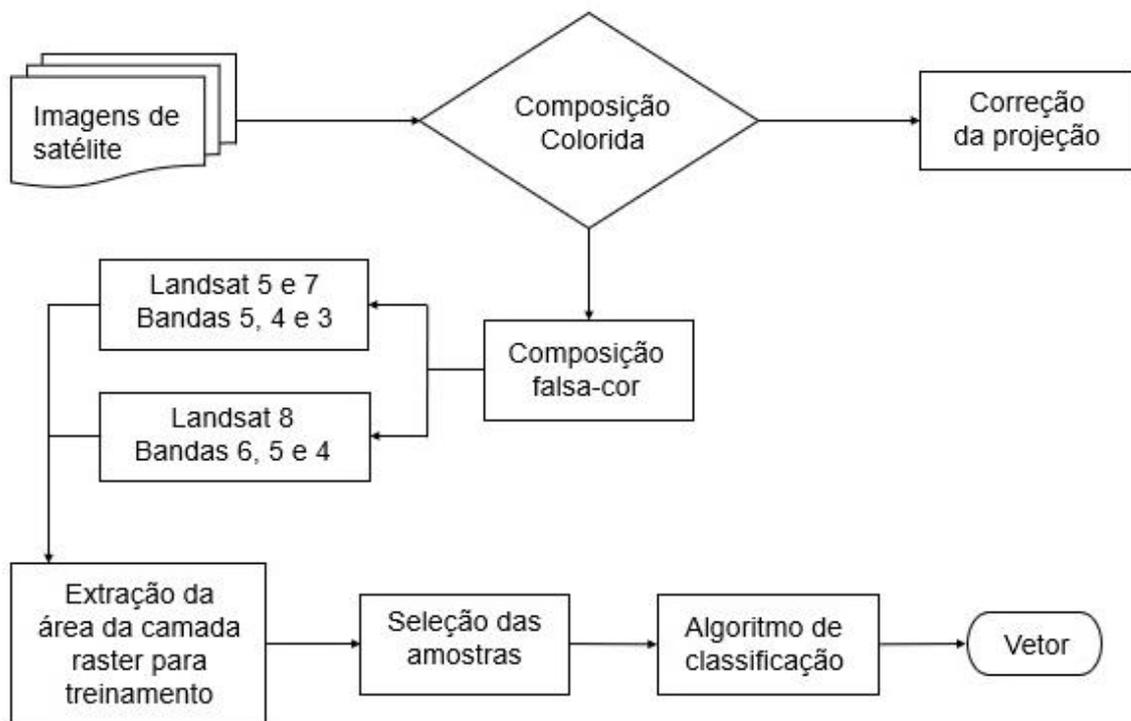
Mínima, onde cada pixel tem uma designação de classe em função da sua contiguidade com a média dos valores dos pixels nas amostras de treinamento (CORREIA; TEODORO; DUARTE, 2017).

O critério para a definição das classes de uso e ocupação do solo foi embasado pela predominância na bacia, como áreas com cobertura vegetal, solo exposto e agricultura. Na classificação, foram consideradas as seguintes classes de cobertura do solo: floresta nativa, floresta plantada, campos e pastagem (incluindo solo exposto, agricultura e vegetação herbácea), e área urbanizada.

Ainda pelo software QGIS, o final do processo foi determinado pela geração do vetor e elaboração dos layouts de impressão, obtendo os mapas de uso e ocupação de solo.

Assim, as áreas foram calculadas, determinando os percentuais de alteração entre os anos de 1975 e 2020, de acordo com a classificação dos setores (MEKONNEN et al., 2018).

Figura 5: Fluxograma de classificação supervisionada



Fonte: Autor (2022)

#### 4.8 Atribuição de causas das mudanças de vazão

Após identificadas mudanças de vazão significativas através dos testes de Mann-Kendall e

Pettit, realizou-se uma análise integrada para atribuir as causas destas mudanças a:

- Mudanças climáticas, sobretudo da precipitação (chuva) e, de forma complementar, da evapotranspiração;
- Mudanças do uso e ocupação do solo;
- Fatores antrópicos externos, como a implantação de captações de água;
- Uma combinação dos fatores indicados anteriormente.

A análise integrada foi feita por meio da comparação pareada dos sinais (aumento ou diminuição) das tendências (resultados do teste de Mann-Kendall) das variáveis hidrológicas estudadas, bem como dos momentos de mudanças bruscas destas variáveis (resultados do teste de Pettit). Havendo sincronia de sinais e temporais destes resultados, pode-se atribuir (pelo menos, parcialmente) à mudança das vazões a mudanças do clima.

As mudanças de uso e ocupação do solo foram avaliadas por meio do mapeamento das áreas das bacias hidrográficas, a partir da inter-relação entre o ano de alteração constatado nas séries não estacionárias de vazão e o período destacado pela antropização. E, assim como as alterações do solo, os fatores antrópicos foram analisados qualitativamente por meio de correlação do período/sazonalidade das mudanças fluviométricas com os eventos ocorridos nos municípios das bacias hidrográficas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Tendências e pontos de mudança da precipitação

Os valores obtidos para a análise de tendências das estações de chuva foram organizados na Tabela 9, posto que a confirmação da hipótese alternativa foi determinada pelo *p-value* menor que 0,05. Para verificação dos pontos de mudanças, utilizou-se a Tabela 10, com o mesmo  $\alpha$  (0,05).

Tabela 9: Resultados do teste de Mann-Kendall para as estações de chuva

Estação	Tipo de dado	Z	S	Var(S)	tau	<i>p-value</i>
<b>2245011</b> <b>(BRSM)</b>	Anual	-0,17	36.10 <sup>6</sup>	42,3.10 <sup>9</sup>	-0,01	0,86
	Verão	-1,56	-328	44092	-0,13	0,12
	Outono	0,17	37	44091	0,01	0,86
	Inverno*	2,01	423	44091	0,16	0,04
	Primavera	-0,13	-29	44091	-0,01	0,89
<b>2245010</b> <b>(BRSG)</b>	Anual	0,64	136.10 <sup>6</sup>	44,1.10 <sup>9</sup>	0,05	0,52
	Verão	-1,13	-238	44092	0,09	0,26
	Outono	1,42	299	44091	0,11	0,16
	Inverno*	2,15	452	44092	0,17	0,03
	Primavera	0,05	12	44092	< 0,01	0,96

\* tendências significativas.

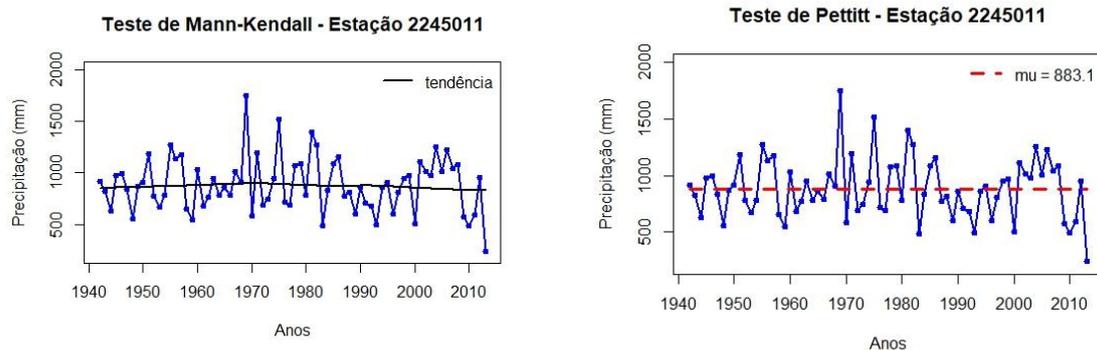
Tabela 10: Resultado do teste de Pettitt para as estações de chuva

Estação	Tipo de dado	U	<i>p-value</i>	K
<b>2245011</b> <b>(BRSM)</b>	Anual	229	0,87	67
	Verão	442	0,10	29
	Outono	280	0,61	47
	Inverno	438	0,11	26
	Primavera	431	0,12	46
<b>2245010</b> <b>(BRSG)</b>	Anual	282	0,60	40
	Verão	394	0,19	26
	Outono	378	0,23	34
	Inverno*	486	0,06	28
	Primavera	196	1,00	19

\* tendências significativas.

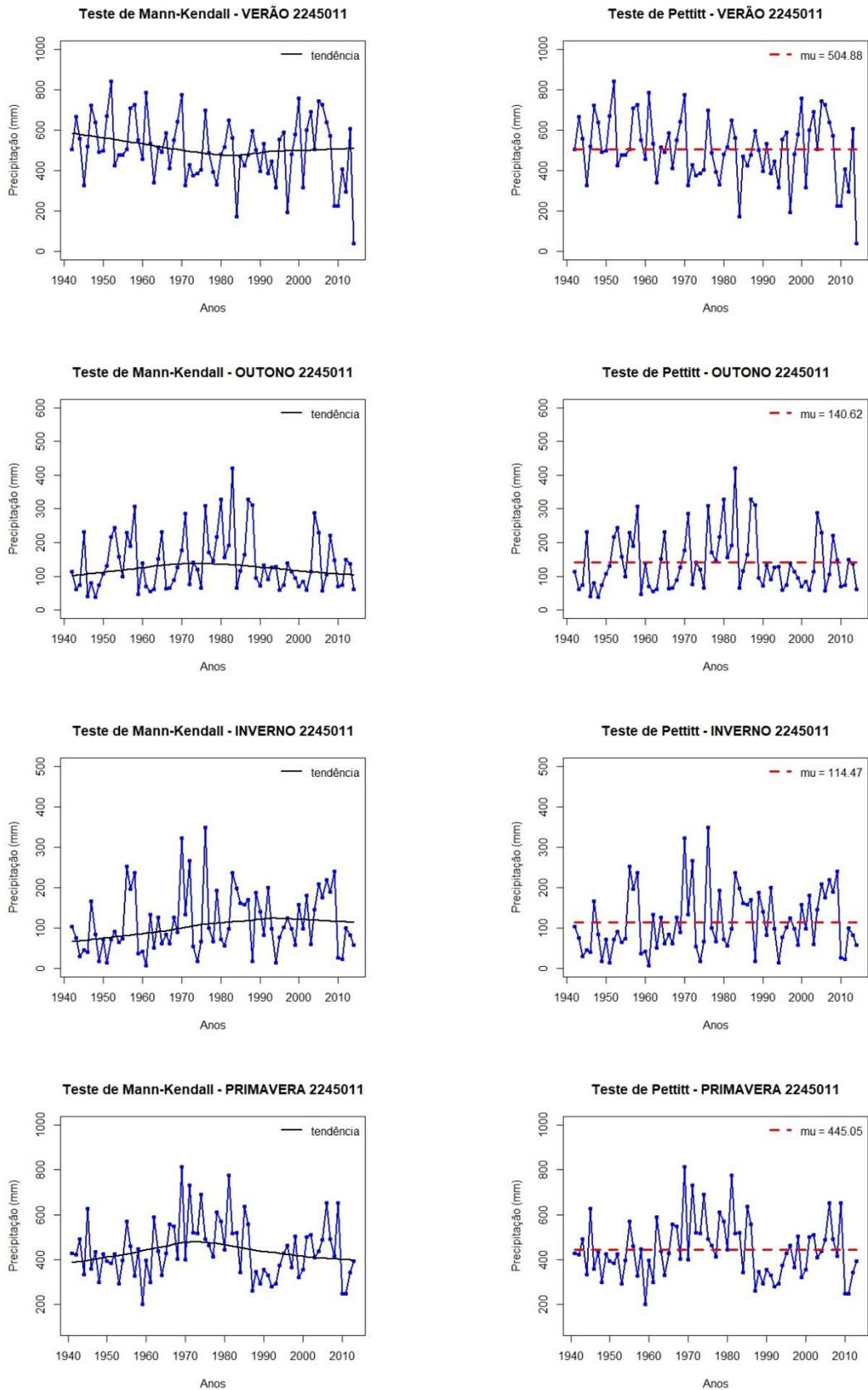
Os dados médios anuais de chuva da estação 2245011 não apresentaram tendência significativa segundo o teste de Mann Kendall ( $p\text{-value} = 0,87$ ), e nenhum ponto de alteração conforme o teste de Pettitt ( $p\text{-value}$  de 0,62) (Figura 6).

Figura 6: Gráficos de tendência e ponto de mudança das chuvas anuais da estação 2245011



No entanto, as chuvas no inverno da estação 2245011 apresentaram uma tendência de aumento significativa, com base no valor positivo da estatística Z (2,01). Em contrapartida ao teste de Mann-Kendall, nenhuma chuva sazonal apresentou um ponto de mudança. Os gráficos de tendência das chuvas sazonais de verão demonstraram uma diminuição, e de outono um aumento (Figura 7), ambos sem significância.

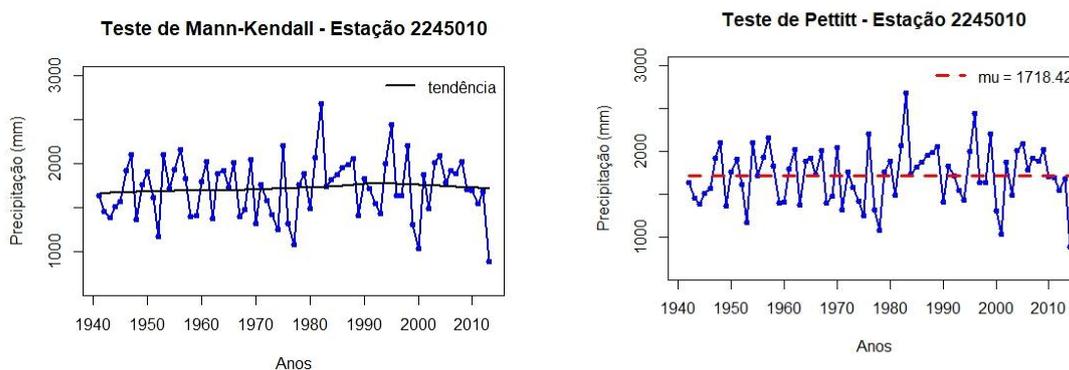
Figura 7: Gráficos de tendência e ponto de mudança nas chuvas sazonais da estação 2245011



As chuvas totais na primavera demonstraram um comportamento ressaltando duas mudanças, estatisticamente insignificantes, caracterizadas por uma queda, aumento e atenuação novamente, justificando o baixo  $p$ -value no teste de Pettitt, embora maior que 0,05.

De forma semelhante, as chuvas médias anuais da estação 2245010 não apresentaram tendência significativa segundo o teste de Mann Kendall ( $p$ -value = 0,52), e nenhum ponto de alteração conforme o teste de Pettitt ( $p$ -value de 0,6) (Figura 8).

Figura 8: Gráficos de tendência e ponto de mudança das chuvas anuais da estação 2245010

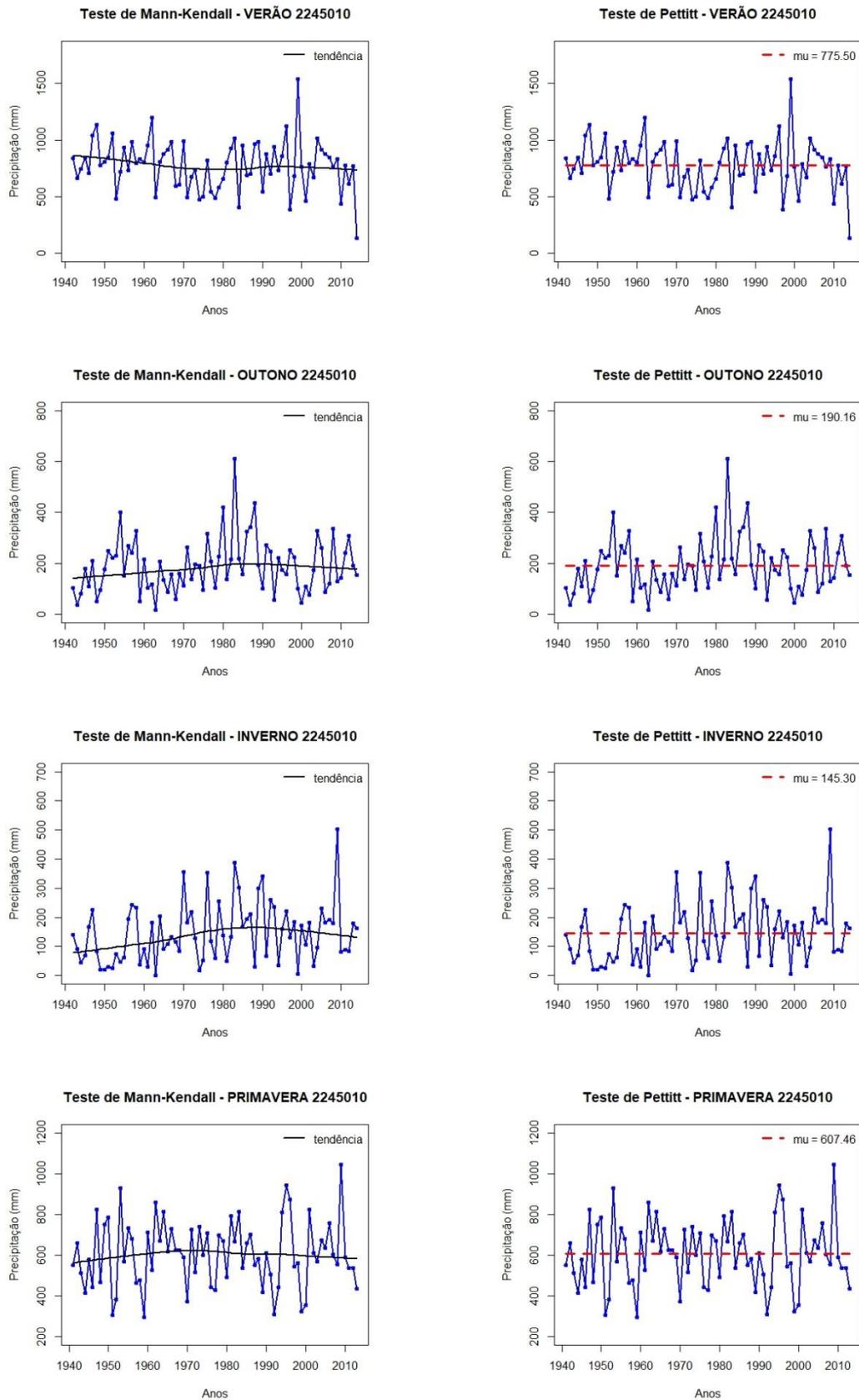


Assim como a estação pluviométrica da bacia do Rio Sapucaí-Mirim, as chuvas de inverno da estação 2245010 apresentaram uma tendência estatisticamente significativa de aumento, bem como com valores semelhantes de  $Z$  (2,15). Da mesma forma, as chuvas totais no verão salientaram uma tendência decrescente (Figura 9) sem significância, e o teste de Pettitt, com um  $p$ -value maior que 0,05, não apresentou um ponto de mudança significativo durante as chuvas sazonais.

A estacionariedade das chuvas totais na primavera foi evidenciada devido aos  $p$ -values de 1,0 e 0,96 obtidos nos testes de Pettitt e Mann-Kendall.

As chuvas totais na primavera demonstraram um comportamento ressaltando duas mudanças, estatisticamente insignificantes, caracterizadas por uma queda, aumento e atenuação novamente, justificando o baixo  $p$ -value no teste de Pettitt, embora maior que 0,05.

Figura 9: Gráficos de tendência e ponto de mudança nas chuvas sazonais da estação 2245010



## 5.2 Tendências e pontos de mudança das vazões

A análise da tendência e do ponto de mudança das vazões pode ser averiguada segundo os valores obtidos nos testes de Mann Kendall (Tabela 11) e de Pettitt (Tabela 12), considerando  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 11: Resultados dos testes de Mann-Kendall e Pettitt para as séries de vazão

Estação	Tipo de dado	Z	S	Var(S)	tau	p-value
<b>61320000</b> (BRSM)	Anual	-0,74	-0,15.10 <sup>9</sup>	42,3.10 <sup>9</sup>	-0,06	0,46
	Verão	-1,27	-262	42316	-0,10	0,20
	Outono	-1,10	-228	42316	-0,09	0,27
	Inverno	0,09	20	44092	0,01	0,93
	Primavera	0,24	50	42316	0,02	0,81
<b>61250000</b> (BRSG)	Anual	-1,7	-3,5.10 <sup>9</sup>	42,3.10 <sup>9</sup>	-0,14	0,09
	Verão*	-3,50	-736	44092	-0,28	<0,01
	Outono	-1,52	-320	44092	-0,12	0,13
	Inverno	1,09	230	44092	0,09	0,28
	Primavera	-0,74	-156	44092	-0,06	0,46

\* tendências significativas.

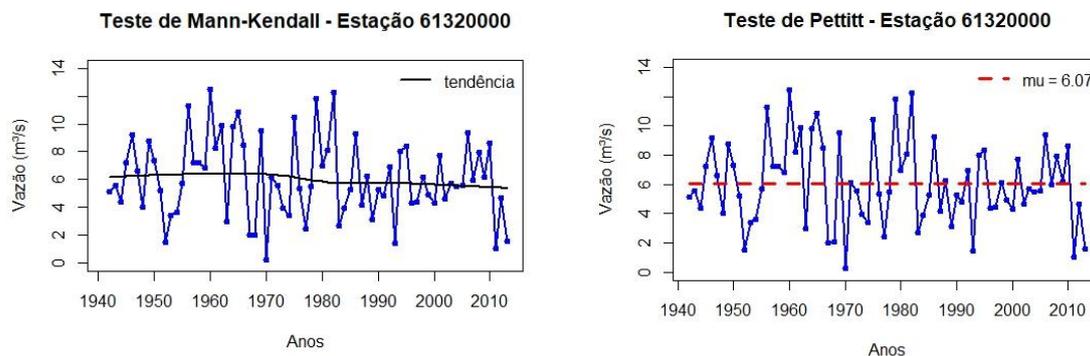
Tabela 12: Resultado do teste de Pettitt para as estações de vazão

Estação	Tipo de dado	U	p-value	K
<b>61320000</b> (BRSM)	Anual	315	0,42	25
	Verão	405	0,15	25
	Outono	343	0,31	25
	Inverno	300	0,51	14
	Primavera	285	0,55	15
<b>61250000</b> (BRSG)	Anual	422	0,12	46
	Verão*	676	< 0,01	26
	Outono*	500	0,04	47
	Inverno	444	0,10	34
	Primavera	318	0,43	43

\* tendências significativas.

A tendência não foi constatada na média anual da estação 61320000, devido ao *p-value* equivalente a 0,46, de acordo com o teste de Mann-Kendall. O gráfico de tendência (Figura 10) é caracterizado pela alternância dos valores da série temporal. E, ainda não obteve um ponto de mudança, dado pelo *p-value* resultante em 0,42 no teste de Pettitt, com uma vazão média de 6,07 m<sup>3</sup>/s entre 1942 e 2013.

Figura 10: Gráficos de tendência e ponto de mudança das vazões médias anuais da estação 61320000



A inexistência de tendência e de ponto de mudança foram igualmente observados nas vazões sazonais da estação 61320000, em virtude dos valores de significância das estações maiores que 0,05, ainda que as estatísticas (*Z*) da estação resultaram declínio, com exceção no inverno e na primavera. Dado que, durante os meses de julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, resultaram *p-values* mais próximos de 1,0 (0,93 e 0,81, respectivamente).

Organizados na Figura 11, os gráficos das vazões sazonais apresentaram desempenhos semelhantes entre si, principalmente a série média de verão com a anual.

E com a ausência de um ponto de mudança, as médias das vazões sazonais permaneceram em 11,75 m<sup>3</sup>/s no verão, 6,79 m<sup>3</sup>/s no outono, 6,4 m<sup>3</sup>/s no inverno e 7,17 m<sup>3</sup>/s na primavera, onde os maiores valores estiveram durante os meses chuvosos.

As vazões médias anuais da estação 61250000 não obtiveram sua hipótese nula rejeitada, devido ao *p-value* (0,09), resultante do teste de Mann-Kendall ser maior que 0,05. O teste de Pettitt apresentou um *p-value* igual a 0,12 e não apresentou um ponto de alteração, com uma média entre os anos de 1942 e 2013 equivalente a 2,98 m<sup>3</sup>/s (Figura 12).

Figura 11: Gráficos de tendência e ponto de mudança das vazões sazonais da estação 61320000

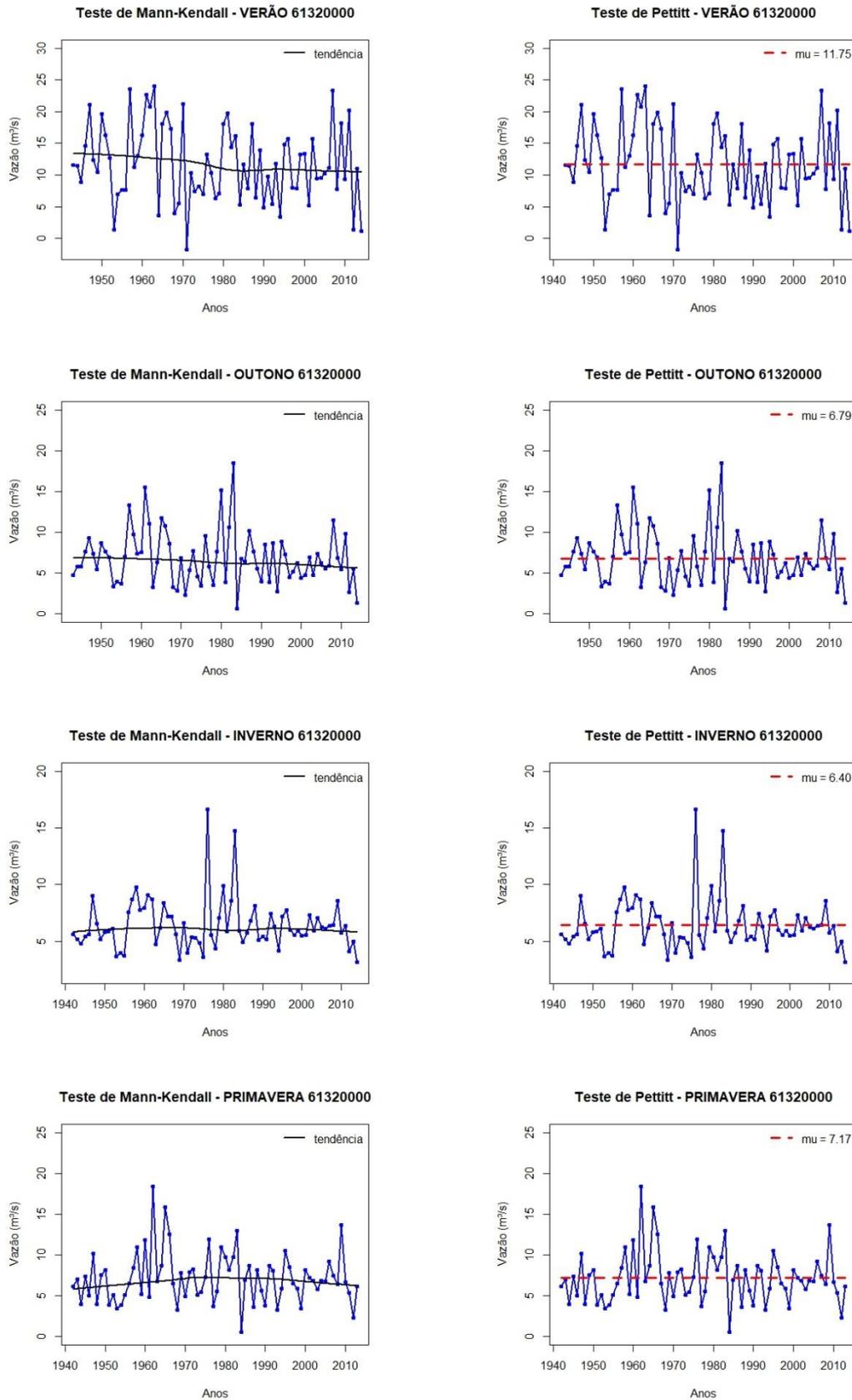
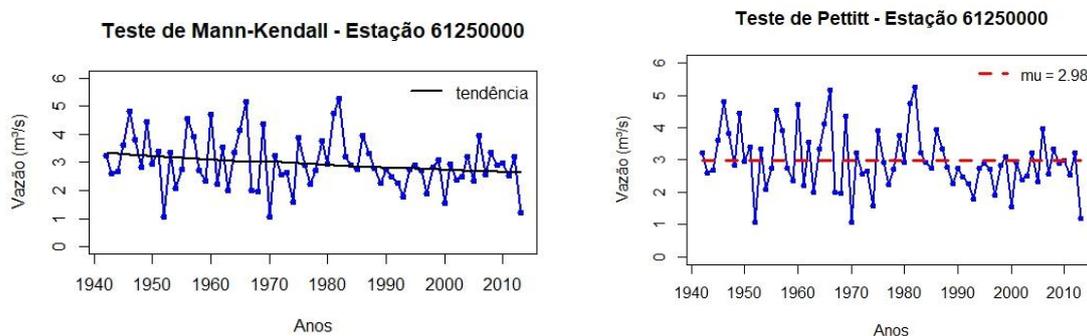


Figura 12: Gráficos de tendência e ponto de mudança das vazões médias anuais da estação 61250000



Ainda que sem significância estatística, a estação fluviométrica 61250000 exibiu uma queda em sua série, principalmente a partir do ano de 1980, com a maior parte de seus valores abaixo da média.

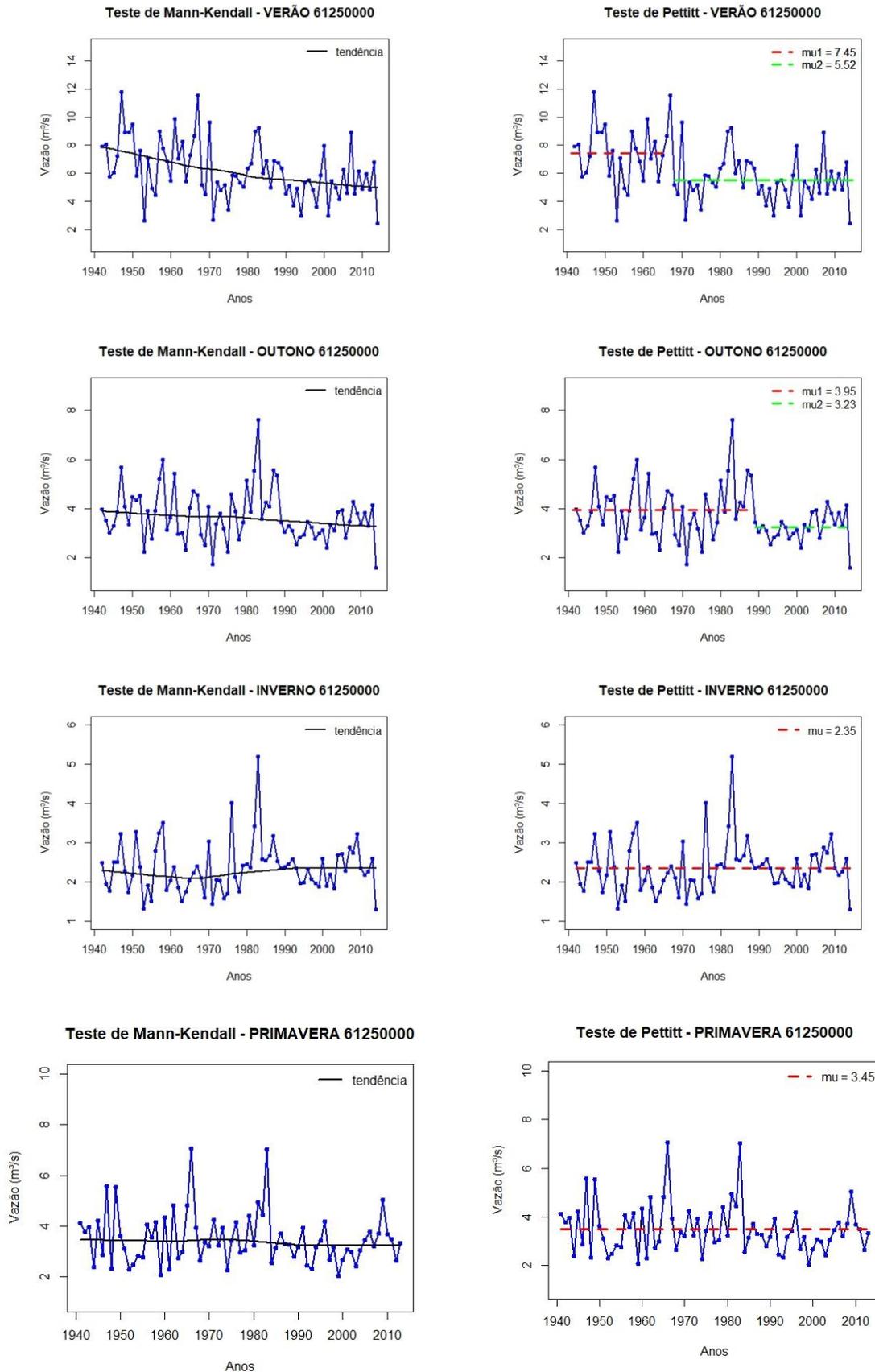
As vazões durante o outono, inverno e primavera da estação não revelaram *p-values* menores que 0,05 para os testes de Mann Kendall e de Pettitt. Com fundamento nos gráficos de tendência e ponto de mudança, as vazões no verão e outono apresentaram comportamentos dissemelhantes com as do inverno e primavera (Figura 13). Em oposição à média anual da estação 61250000, a série anual de verão apresentou uma tendência decrescente, com uma estatística de -3,5, juntamente com um ponto de mudança no ano de 1967 (Figura 13).

Entretanto, apesar da ausência de tendência significativa, as vazões médias no outono exibiram um ponto de mudança em 1988. E, assim, as vazões médias durante o verão obtiveram um decréscimo de aproximadamente 26%, uma vez que a média de 7,45 m<sup>3</sup>/s caiu para 5,52 m<sup>3</sup>/s, e no outono uma diminuição maior que 18% (3,95 m<sup>3</sup>/s para 3,23 m<sup>3</sup>/s).

Nos meses de outubro, novembro e dezembro na bacia do Rio Sapucaí-Guaçu, as vazões comportaram-se de forma praticamente estacionária, dentre as demais sazonais, assim como *p-values* parecidos na aplicação dos testes de Mann-Kendall e Pettitt.

As médias obtidas das vazões sazonais, com exceção do verão e do outono, consistiram em 2,35 m<sup>3</sup>/s no inverno e 3,45 m<sup>3</sup>/s na primavera, onde todos os valores foram menores que as vazões sazonais da bacia do Rio Sapucaí-Mirim.

Figura 13: Tendência e pontos de mudança das chuvas sazonais da estação 61250000



### 5.3 Tendências e pontos de mudança na evapotranspiração

A análise de possíveis mudanças climáticas na BRSG (que apresentou mudanças de vazão) foi complementada com a averiguação das tendências e pontos de alteração nas séries de evapotranspiração de referência e real, nas estações do ano verão e outono.

#### 5.3.1 Evapotranspiração de referência

A tendência, obtida por meio do teste de Mann Kendall, na Tabela 13, foi de aumento no verão ( $p\text{-value} = 0,003$ ), com  $Z = 2,9574$ .

Foi observado um ponto de mudança (aumento,  $p\text{-value} = 0,003$ ) da Etr no verão (Tabela 14 e Figura 14), no ano de 1998 ( $K = 14$ ). Além de uma tendência de aumento, confirmou-se um ponto de mudança no verão, onde a média da Etr aumentou de 374,29 mm para 448,18 mm (aproximadamente 20%). A estacionariedade da Etr no outono e ausência de um ponto de uma mudança resultou uma média de 162,48 mm para o período de 1985 a 2013.

Tabela 13: Resultado do teste de Mann Kendall para a Etr

Tipo de dado	Z	S	Var(S)	tau	p-value
Verão*	2,9574	175	3461,67	0,37634	0,003
Outono	0,46387	27	3141,67	0,06206	0,643

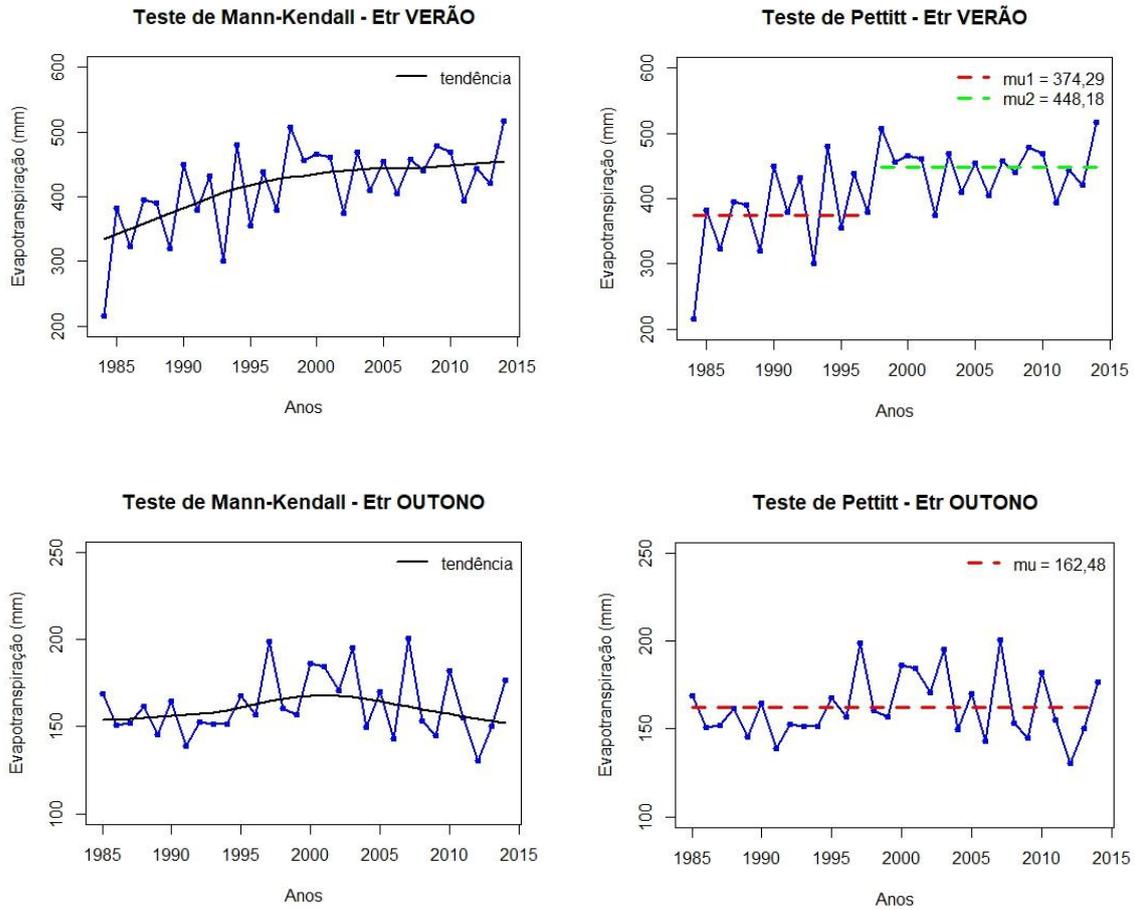
\* tendências significativas.

Tabela 14: Resultado do teste de Pettitt para a Etr

Tipo de dado	U	p-value	K
Verão*	162	0,012	14
Outono	80	0,505	10

\* tendências significativas.

Figura 14: Gráficos de tendência e ponto de mudança da Etr sazonal



### 5.3.2 Evapotranspiração real

O resultado do teste para avaliar a tendência da Eta sazonal foi organizado na Tabela 15.

Tabela 15: Resultado do teste de Mann Kendall para a Eta

Tipo de dado	Z	S	Var(S)	tau	p-value
Verão	0,67986	41	3461,67	0,0882	0,5
Outono	-1,7336	-103	3461,67	-0,22150	0,083

As Eta sazonais não apresentaram tendência, em oposição ao teste não paramétrico Pettitt, ordenado na Tabela 16.

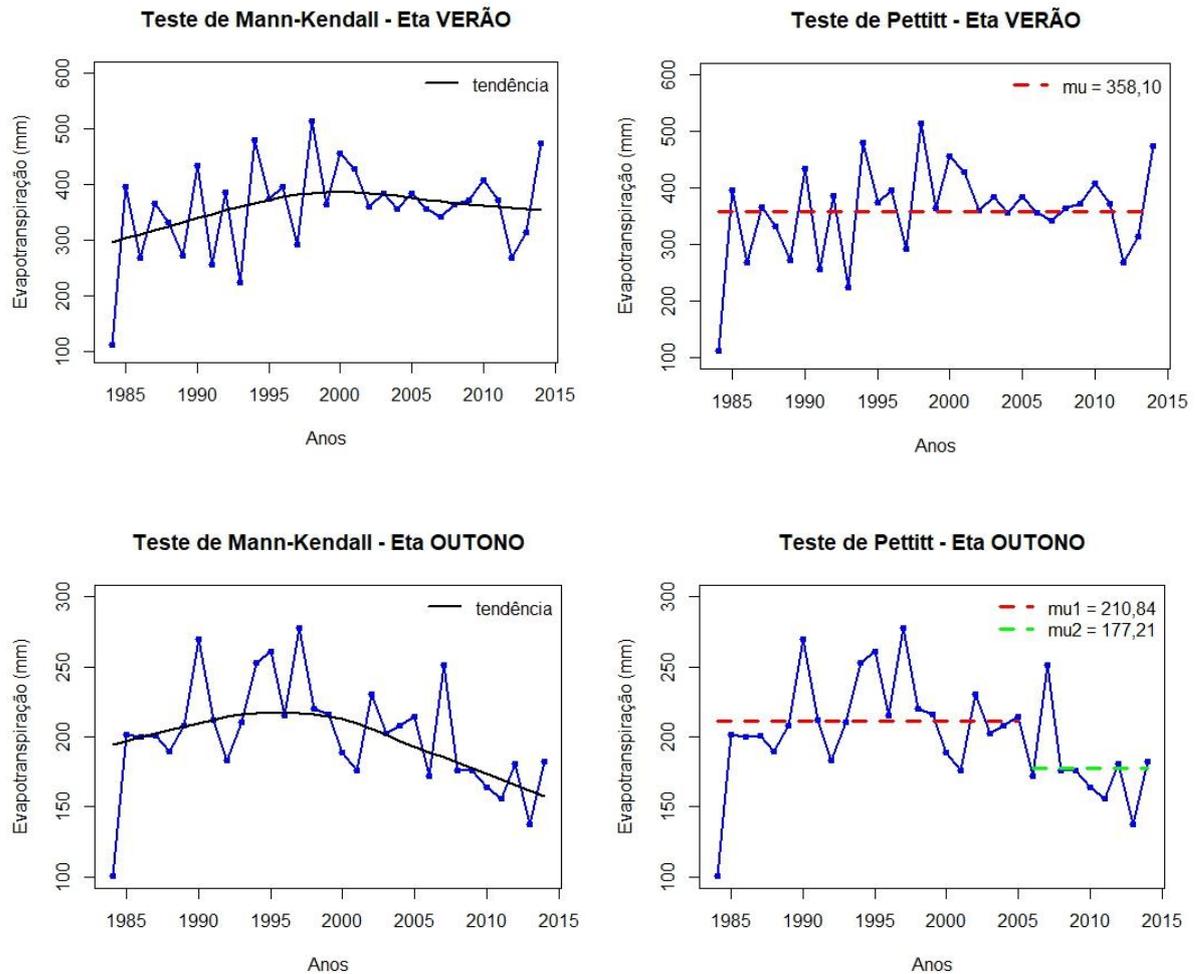
Tabela 16: Resultado do teste de Pettitt para a Eta

Tipo de dado	U	<i>p-value</i>	K
Verão	92	0,383	10
Outono*	142	0,039	22

\* tendências significativas.

Os gráficos dos testes de Mann Kendall e Pettitt foram organizados na Figura 15. No outono, a evapotranspiração apresentou uma tendência insignificante, e constatou-se um ponto de mudança durante o outono na ETa, onde a média da evapotranspiração reduziu, aproximadamente, 16%, de 210,84 mm para 177,21 mm.

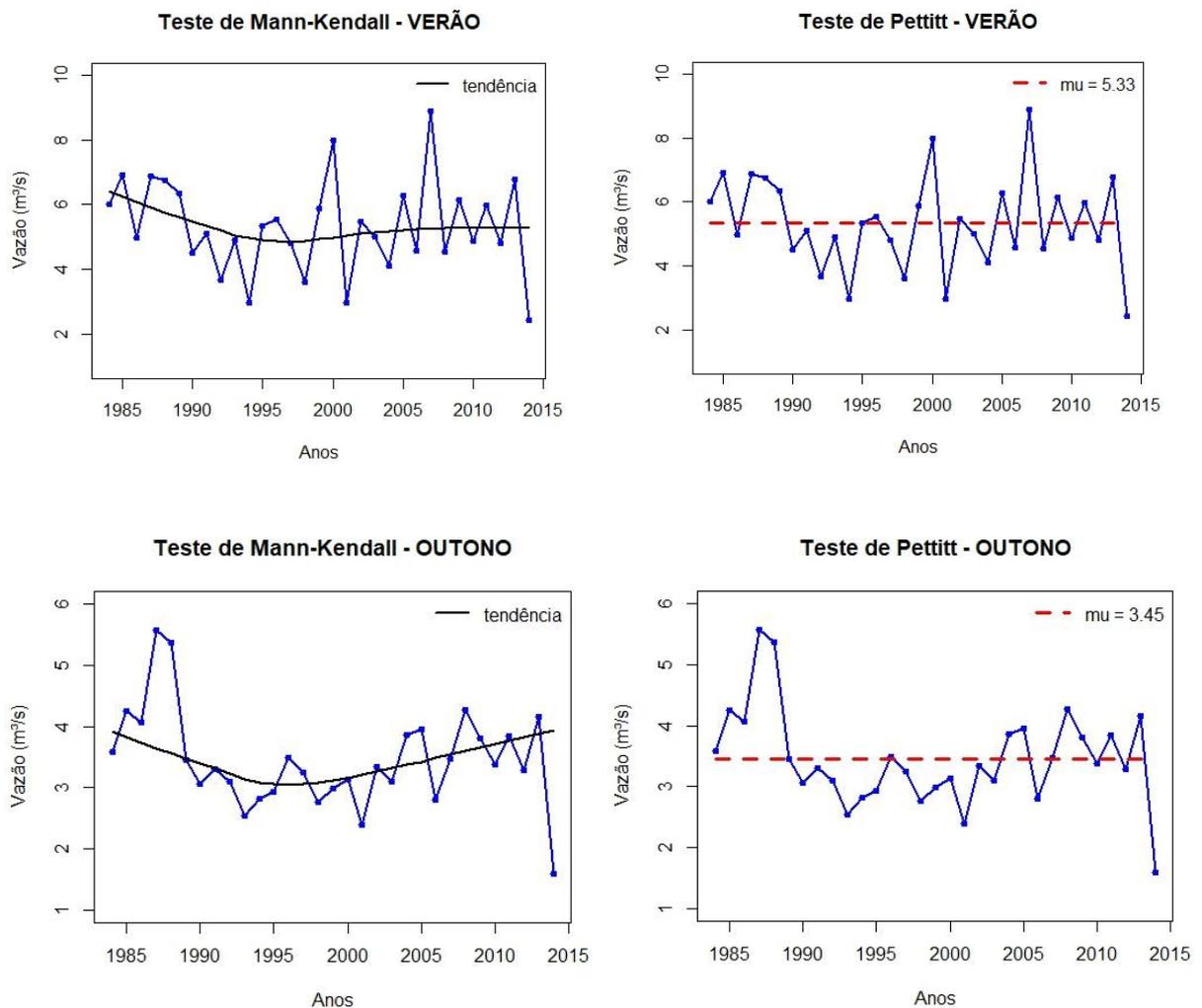
Figura 15: Gráficos de tendência e ponto de mudança da Eta sazonal



### 5.3.3 Análise complementar: testes em período pareado de vazão e evapotranspiração

Com o intuito de complementar a análise da contribuição da evapotranspiração na tendência de diminuição e pontos de mudança nas séries de vazão, aplicou-se os teste de Mann Kendall e de Pettitt (Figura 16, Tabelas 17 e 18) nas séries fluviométricas, no período coincidente entre os dados de vazão e Etr e Eta, de 1984 a 2014.

Figura 16: Gráficos de Mann Kendall e de Pettitt nas vazões de 1984 a 2014



Com base nas Tabelas 17 e 18 (nas quais todos os  $p$ -values  $> 0,05$ ), é possível verificar que as alterações das Eta e Etr (Tabelas 13, 14 e 16) não foram capazes de causar alterações significativas nas vazões fluviais, mesmo quando avaliado somente o período pareado de 1984 a 2014.

Tabela 17: Resultado do teste de Mann Kendall para vazão (1984 a 2014)

<b>Tipo de dado</b>	<b>Z</b>	<b>S</b>	<b>Var(S)</b>	<b>tau</b>	<b>p-value</b>
<b>Verão</b>	-0,884	-53	3461,67	-0,114	0,377
<b>Outono</b>	-0,51	-31	3461,67	-0,067	0,610

Tabela 18: Resultado do teste de Pettitt para a Eta

<b>Tipo de dado</b>	<b>U</b>	<b>p-value</b>	<b>K</b>
<b>Verão</b>	96	0,331	6
<b>Outono</b>	116	0,115	6

#### **5.4 Alterações no uso e ocupação do solo**

Os mapas de uso e ocupação do solo, dos anos de 1985 a 2021, foram realizados para cada Bacia, analisando as categorias: área urbanizada, campos e pastagem, floresta nativa e floresta plantada.

A transformação do solo do BRSM foi analisada pelos mapas (Figura 17), com influência de campos e pastagem. A seleção da classe foi baseada em vegetação herbácea e/ou gramínea, pastos e agricultura. A modificação na BRSG é caracterizada pela expansão urbana (Figura 18).

Figura 17: Mapas de uso e ocupação de solo do Rio Sapucaí-Mirim

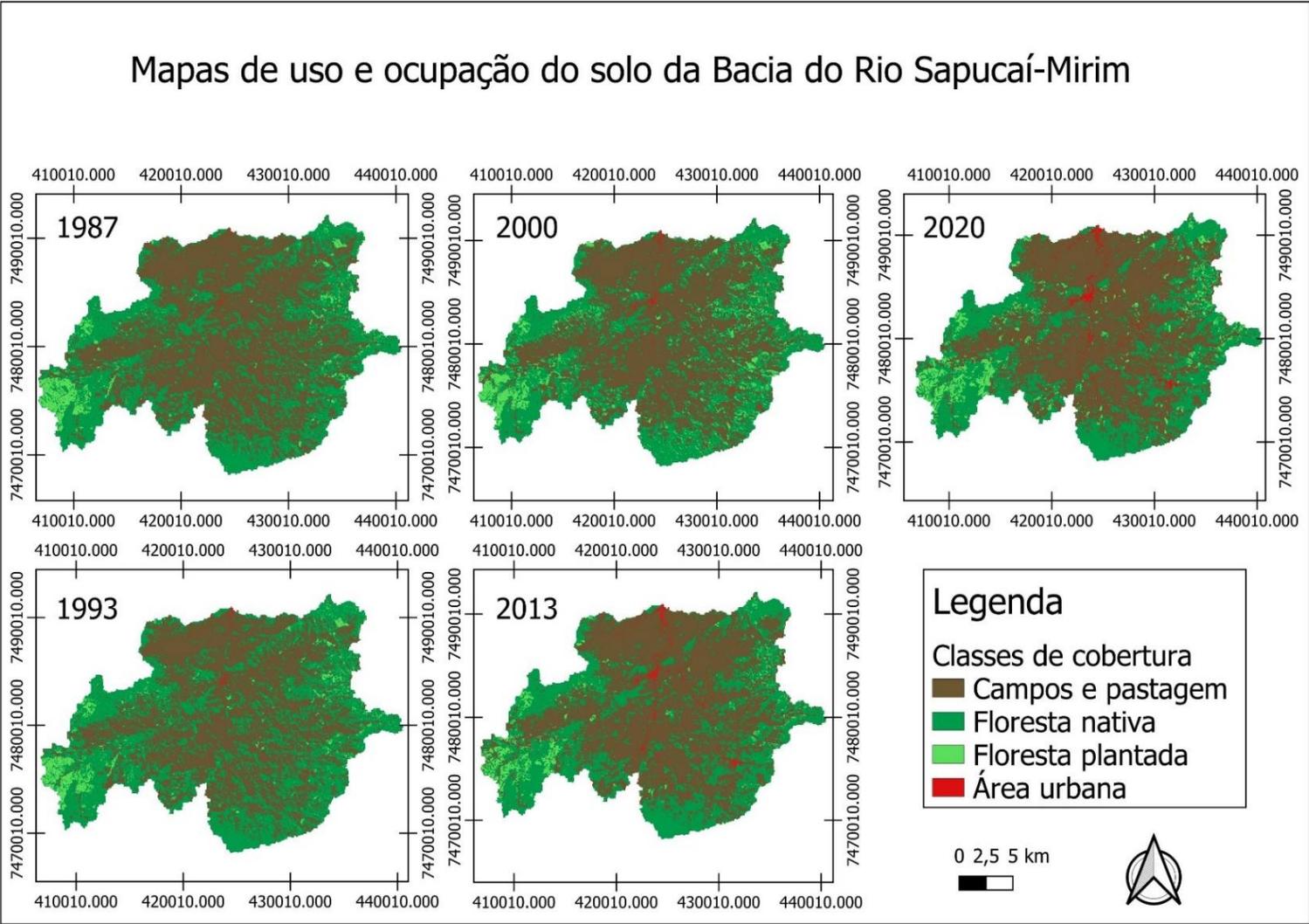
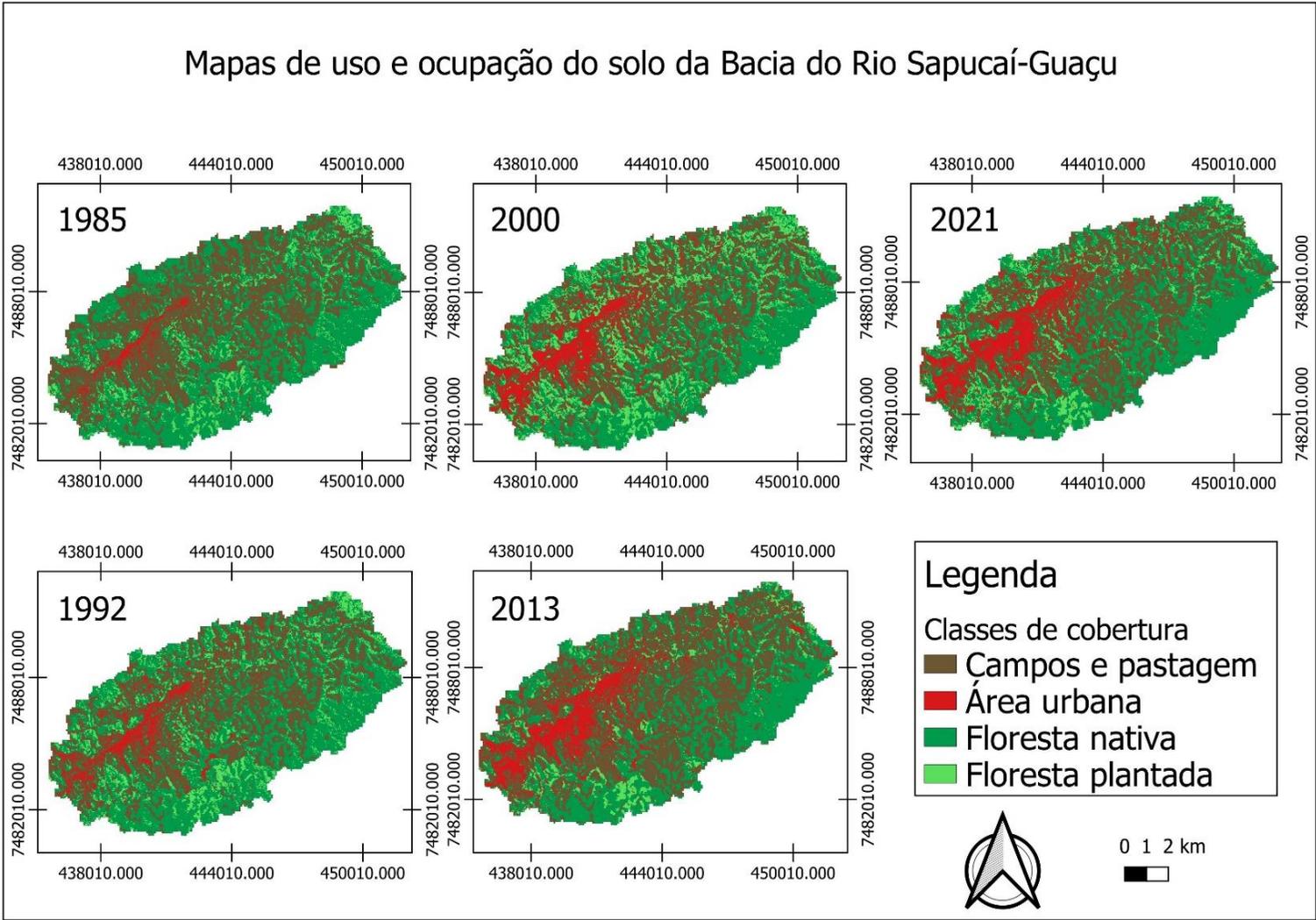


Figura 18: Mapas de uso e ocupação do solo do Rio Sapucaí-Guaçu



### 5.4.1 Rio Sapucaí-Mirim

A BRSM, além da predominância de campos e pastagem, é caracterizada pelo elevado índice de floresta nativa, bem como o aumento da floresta plantada nos anos de 1993 a 2000 (63,7%) e de 2013 a 2020 (52,9%), podendo esse ser fundamentado pelo reflorestamento na região, conforme a Tabela 17.

Diferentemente da classe “campos e pastagem”, a urbanização na região da Bacia foi gradativa, principalmente nas duas últimas décadas. O índice de área construída cresceu 6,1 km<sup>2</sup> entre 2000 e 2020.

Tabela 19: Áreas das classes de cobertura da bacia do Rio Sapucaí-Mirim, em km<sup>2</sup>

Área [km <sup>2</sup> ]					
Classes de cobertura	1987	1993	2000	2013	2020
Área urbana	0,7	1,0	1,9	6,4	7,9
Campos e pastagem	263,8	235,9	244,6	268,8	268,1
Floresta nativa	191,4	218,3	196,6	182,1	172,2
Floresta plantada	18,3	19	31,1	16,9	26
Área [%]					
Classes de cobertura	1987	1993	2000	2013	2020
Área urbana	0,1%	0,2%	0,4%	1,3%	1,7%
Campos e pastagem	55,6%	49,7%	51,6%	56,7%	56,5%
Floresta nativa	40,4%	46,0%	41,5%	38,4%	36,3%
Floresta plantada	3,9%	4,0%	6,6%	3,6%	5,5%

### 5.4.2 Rio Sapucaí-Guaçu

Assim como a BRSM, o Rio Sapucaí-Guaçu era caracterizado pelo predomínio de campos e pastagem e floresta nativa. No entanto, a partir do ano de 2000, a diminuição dessas classes é associada ao crescimento urbano e de floresta plantada.

O aumento da área construída foi gradativo no período de 1985 a 2020 (Tabela 18), posto que os índices aumentaram 520% (10,4 km<sup>2</sup>), dado que o município de Campos do Jordão é caracterizado pela expansão nos setores hoteleiro e turístico.

Em 1985, a Bacia era constituída de 9% área urbana, 44,2% de campos e pastagem, 46% de floresta nativa e 7,9% de floresta plantada. Por sua vez, no ano de 2021, os índices não apresentaram discrepância do primeiro ano analisado, mantendo a proporcionalidade entre eles, com 11,4% de área urbana, 39,5% de campos e pastagem, 40,5% de floresta nativa e 8,6% de floresta plantada.

A maior evolução de atividades antrópicas na região da BRSG é constatada nos anos de 2000 a 2013. Posto que o índice de floresta plantada diminuiu 65,7% (11,5 km<sup>2</sup>), em contrapartida ao de campos e pastagem, o qual expandiu 21%, evidenciando o desmatamento na região do Rio Sapucaí-Guaçu.

Tabela 20: Áreas das classes de cobertura do Rio Sapucaí-Guaçu, em km<sup>2</sup>

<b>Área [km<sup>2</sup>]</b>					
<b>Classes de cobertura</b>	<b>1985</b>	<b>1992</b>	<b>2000</b>	<b>2013</b>	<b>2021</b>
<b>Área urbana</b>	2	5,4	9,3	11,6	12,4
<b>Campos e pastagem</b>	48,1	42,8	41,4	52,4	42,9
<b>Floresta nativa</b>	50	49,4	40,5	38,6	44
<b>Floresta plantada</b>	8,6	11,1	17,5	6,1	9,4
<b>Área [%]</b>					
<b>Classes de cobertura</b>	<b>1985</b>	<b>1992</b>	<b>2000</b>	<b>2013</b>	<b>2021</b>
<b>Área urbana</b>	1,8%	5,0%	8,6%	10,7%	11,4%
<b>Campos e pastagem</b>	44,3%	39,4%	38,1%	48,2%	39,5%
<b>Floresta nativa</b>	46,0%	45,4%	37,3%	35,5%	40,5%
<b>Floresta plantada</b>	7,9%	10,2%	16,1%	5,6%	8,6%

## 5.6 Discussão

Alterações de vazões podem ser atribuídas a mudanças climáticas e outras atividades antrópicas (DEY; MISHRA, 2017). Conforme Dey e Mishra (2013), os processos de contribuição da mudança climática e de outras atividades antrópicas para a alteração da estacionariedade das vazões podem ser resumidos como segue:

- mudanças climáticas: alteração do balanço hídrico e processos hidrológicos, tais como evaporação, precipitação e umidade do solo, além do tempo e direção do fluxo;
- outras atividades antrópicas: alteração do balanço hídrico e processos hidrológicos (por exemplo, interceptação de precipitação pela vegetação, transformação de chuva em escoamento e, por conseguinte, em escoamento superficial e mudanças em seu tempo de propagação), modificações hidráulicas e nas propriedades hidrológicas do solo, e medidas estruturais, como barragem e reservatórios para armazenar água.

Vale ressaltar que os efeitos das mudanças climáticas e de outras atividades antrópicas podem ocorrer simultaneamente, de forma direta (soma dos efeitos), ou inversa (subtração/compensação dos efeitos). Além disso, modificações do uso do solo são geralmente associadas ao crescimento populacional e atividades econômicas, podendo influenciar as vazões através do aumento da captação de água para o suprimento de novas demandas.

Deve-se considerar, também, o tempo/periodicidade dos processos hidrológicos, e de possíveis mudanças detectadas em séries temporais. A variabilidade temporal natural dos processos hidrológicos é bastante evidente na região do estudo, que apresenta períodos secos (outono e inverno) e úmidos (primavera e verão) bem definidos. Neste sentido, é importante atentar à possível propagação dos efeitos das mudanças em termos intersazonais. Durante o período seco, as vazões fluviais têm origem, majoritariamente, no escoamento de base, ocorrendo uma diminuição do armazenamento da bacia. Já no período úmido, é esperado (em condições normais) um aumento do armazenamento da bacia, sendo a vazão fluvial proveniente tanto do escoamento de base quanto do escoamento superficial direto, durante os eventos pluviométricos. Portanto, a referida propagação intersazonal pode se manifestar de diferentes maneiras: por exemplo, redução da permeabilidade do solo, em decorrência da urbanização, e uma redução da precipitação durante o período úmido pode não apresentar efeitos significativos sobre as vazões médias deste período, mas pode produzir a diminuição das vazões de outono e

inverno em função da redução do armazenamento.

### **5.6.1 Contribuição de mudanças climáticas**

As chuvas sazonais de inverno apresentaram uma tendência de aumento nas duas estações pluviométricas (Tabela 9). A distância entre as estações pluviométricas analisadas é de aproximadamente 26 km, o que indica um padrão regional desta tendência. A mesma tendência foi observada na bacia do Rio Tangwang (LIU et al., 2013) e na bacia de Strengbach, na França, (STROHMENGER et al., 2022).

Não houve mudanças significativas das chuvas de verão.

Do mesmo modo que as precipitações totais anuais não apresentaram tendências (Tabela 9) e pontos de mudanças, as médias anuais de vazões das estações 61320000 (BRSM) e 61250000 (BRSG) foram estacionárias (Tabela 11). Analisando as Tabelas 9 e 11, observa-se que o aumento de chuva no inverno não foi capaz de produzir um aumento significativo das vazões de inverno nas bacias estudadas.

Um rio é considerado “normal” quando influenciado pela precipitação (MILLIMAN et al., 2008). A ausência de uma tendência significativa de chuvas caracteriza o Rio Sapucaí-Guaçu como um “rio em déficit”, posto que há alterações das demais variáveis hidrológicas estudadas.

A BRSG apresentou redução das vazões de verão e outono, que não foram acompanhadas por alterações diretas da chuva da estação 2245010 nos mesmos períodos e com mesmo sinal (redução). Não foram identificadas, também, tendências e/ou pontos de mudança da chuva compatíveis diretamente com as mudanças de vazão em períodos anteriores (que poderiam exercer influência intersazonal relacionada ao armazenamento na bacia).

Os resultados dos testes de Mann Kendall e de Pettitt para as vazões de outono e verão, no período coincidente com as séries de Etr e Eta, não identificaram mudanças de vazão. O aumento da Etr de verão a partir de 1988 não produziu o mesmo efeito em termos de Eta, o que poderia contribuir com a retirada de água da bacia. De forma semelhante, a redução brusca da Eta de outono a partir de 2006 não foi acompanhada por uma mudança da Etr, sugerindo que a redução da Eta foi decorrente de alterações da cobertura do solo.

A análise conjunta das alterações mencionadas sugere que não houve contribuição significativa de mudanças do clima sobre as alterações detectadas das vazões.

### **5.6.2 Contribuição de atividades humanas**

Na área da BRSM (estação 61320000), as séries de vazão apresentaram comportamentos distintos e sem significância estatística (Tabelas 10 e 11). A estacionariedade na série fluviométrica da estação indica que, apesar de mudanças do uso e ocupação do solo, a vazão não foi afetada e que podem ter ocorridos processos compensatórios.

Destaca-se que a região da bacia do município de São Bento do Sapucaí, caracterizada pela agricultura, possui a predominância da classe de uso e ocupação do solo “campos e pastagem”. Ou seja, a degradação permanente na área da estação 61320000 é complementada por um processo lento de urbanização.

Ademais, a área da bacia é definida pela preservação de florestas nativas na região que, embora o uso do solo para a agricultura represente a maior porcentagem de ocupação, o município de São Bento do Sapucaí é marcado pela vegetação (aproximadamente 40% em todos os períodos), em seguida de reflorestamento. Um comportamento análogo foi observado na bacia do Rio Baitarani, em virtude da estacionariedade de suas variáveis hidrológicas e de, quase metade de seu território, ser composta pela agricultura (SWAIN et al., 2021).

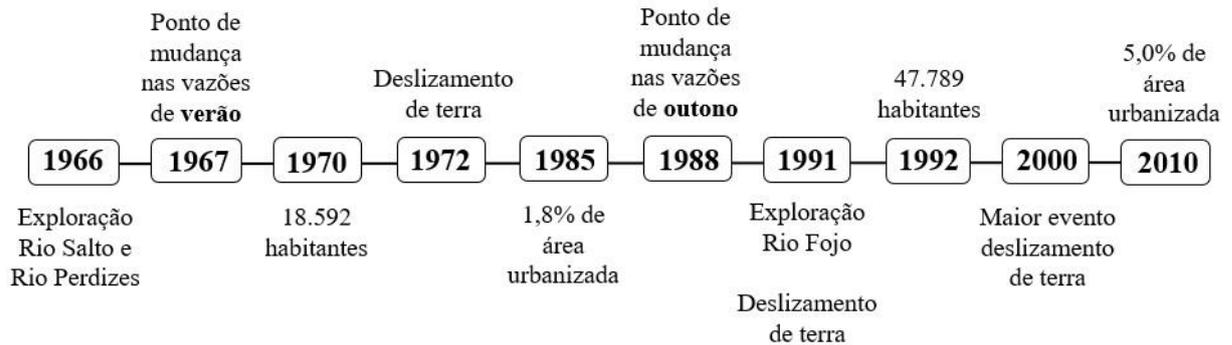
Em contrapartida, na BRSG (estação 61250000), verificou-se uma tendência de queda durante o verão, em conjunto com um ponto de mudança no ano de 1967, bem como uma diminuição brusca a partir de 1988, no outono.

A partir da análise da contribuição de fatores climáticos, considerou-se que as alterações significativas nas séries de vazões sazonais foram causadas por mudanças de uso e ocupação do solo, em conformidade com os estudos (ANIL; RAMESH, 2017, ADNAN; ATKINSON, 2011, MARHAENTO; BOOIJ; HOEKSTRA, 2017, SWAIN et al., 2021).

Assim sendo, os acontecimentos na cidade de Campos de Jordão desfavoráveis à BRSG foram organizados, visando averiguar a correspondência com os anos de mudança brusca (Figura 19).

Conforme o “Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Campos do Jordão” (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO E PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DO JORDÃO, 2013), com início em 1966, a água para abastecimento público passou a ser retirada de 2 rios, Rio Salto e Rio Perdizes, ambos no interior da BRSG. As vazões de exploração dos rios consistiram em 20 l/s e 120 l/s, respectivamente. Logo, a diminuição da vazão de verão no ano de 1967 pode ser justificada pela subdivisão dos rios da bacia.

Figura 19: Eventos ocorridos em Campos do Jordão



Averiguando a cronologia de Campos do Jordão, após alguns anos (1972 e 1991), sucederam eventos de deslizamento de terra no município, causando transtorno, e as principais causas consistiram em ocupações desordenadas em áreas de encosta, juntamente com o aumento da precipitação (CBH-SM, 2015), onde esse pode ser confirmado com a tendência de chuva na estação 2245010. Ainda no mesmo ano (1991), o Rio Fojo, principal manancial de abastecimento da cidade de Campos do Jordão, localizado na área de drenagem abordada, passou a ser explorado (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO E PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DO JORDÃO, 2013).

O município de Campos do Jordão (inserido na área de drenagem da estação 61250000) possui, em maior parte do seu território, campos e pastagem. E, assim como na BRSM, o elevado nível de campos de pastagem (acima de 40%), exige técnicas adequadas de manejo, impedindo a compactação do solo e, conseqüentemente, processos erosivos na região (SILVA, 2014a). Entretanto, a diminuição da classe de cobertura na BRSG foi verificada no período 1985-1992, com o aumento da área urbanizada (1,8% para 5%). Uma transformação do uso e ocupação da área da bacia semelhante foi observada no Rio Tangwang, na China, constatada como principal causa da alteração da estacionariedade das variáveis hidrológicas (LIU et al., 2013).

A análise de uso e ocupação do solo não permite uma correlação direta com o ano de 1967, em virtude da indisponibilidade de imagens de satélite no referido ano. No entanto, o aumento no percentual de área urbana da bacia entre 1985 e 1992 coincide com o período em que houve uma diminuição nas vazões de outono da bacia (a partir de 1988). Somado a isso, as características socioeconômicas da cidade de Campos do Jordão podem apontar uma possível causa do ponto de mudança.

Assim como os eventos de 1972 e 1991, foi registrado o maior deslizamento de terra em

2000, onde a análise histórica dos níveis precipitação constatou um aumento, no entanto, fatores antrópicos foram apontados como causadores, principalmente pela descentralização urbana (MENDES et al., 2018), com expansão populacional desde 1940.

Segundo dados demográficos disponíveis (SEADE, 2021; IBGE, 2021) a população de Campos do Jordão (com estimativa de 57.713 habitantes em 2021) cresceu 157% no período de 1970 a 2010 (de 18.592 para 47.789 habitantes), sendo que entre 1988 e 2010 o crescimento foi de 42% (33.605 para 47.789 habitantes). Esse crescimento populacional (que resulta em um aumento da demanda de água para abastecimento público) pode ter contribuído com a diminuição da vazão de verão da bacia, tendo em vista que o verão é, normalmente, um período de maior consumo de água pela população residente.

O município de Campos do Jordão é reconhecido pelo setor hoteleiro e turístico, e por ser um dos destinos mais populares durante o inverno do sudeste brasileiro. E, com uma oscilação significativa da população, o abastecimento de água é comprometido (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO E PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DO JORDÃO, 2013). De acordo com dados do ano de 2001, por exemplo, a população oscilante foi de 15.000 turistas (de maio a junho), alcançando 80.000 turistas entre julho e agosto. Sendo o período das atividades antrópicas próximo ao momento de atenuação significativa das vazões detectadas pelo teste de Pettitt no outono.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nas duas bacias estudadas, não houve alterações (tendências e/ou pontos de mudança brusca) nas séries históricas de vazão média anual e precipitação/chuva total anual, indicando a estabilidade do balanço hídrico das bacias ao longo do tempo.

As séries de precipitação/chuva das estações 2245010 e 2245011 apresentaram tendências significativas de aumento para o período de inverno. Contudo, essa tendência não provocou aumentos significativos das vazões médias de inverno nas respectivas bacias.

Somente uma tendência significativa de diminuição foi constatada nas vazões de verão do Rio Sapucaí-Guaçu. Neste mesmo rio, foram detectados dois pontos de mudança (redução) brusca das vazões: um em 1967, referente às vazões médias de verão, e outro em 1988, este referente às vazões médias de outono. Verificou-se uma tendência de aumento da evapotranspiração de referência (verão) da bacia entre 1984 e 2020, o que, em teoria, pode ter contribuído com a tendência de redução da vazão (também de verão).

Na bacia do Rio Sapucaí-Guaçu, ocorreu um intenso processo de urbanização entre 1985 e 2021, sendo que esta classe de cobertura do solo aumentou de 1,8% para 11,4% do total da área da bacia. Neste mesmo período, a área de floresta nativa da bacia diminuiu 5,5%.

Junto da urbanização, a bacia do Rio Sapucaí-Guaçu passou por um grande aumento populacional entre 1970 e 2021, o que trouxe consigo um aumento da demanda de água, suprido pelo início da operação de dois sistemas produtores (captações). O início da operação destas captações são muito próximos aos anos nos quais foram detectadas diminuições bruscas das vazões médias de verão e outono na bacia.

Diante do exposto, conclui-se o seguinte:

- a tendência de diminuição da vazão de verão na bacia do Rio Sapucaí-Guaçu é decorrente da combinação de diversos fatores, sendo eles: aumento da demanda de água, em função do crescimento populacional e expansão urbana, que levaram ao início da operação de dois sistemas de captação para abastecimento público. Apesar de ter ocorrido um aumento da evapotranspiração de referência deste período (que representa um aumento das condições atmosféricas de retirada de água da bacia, que poderiam contribuir com a redução das vazões), não houve um aumento significativo da evapotranspiração real, o que sugere a existência de um efeito de compensação decorrente das mudanças da cobertura do solo;

- as reduções bruscas das vazões de verão (1967) e outono (1988) ocorreram devido ao início da operação dos sistemas de captação da cidade de Campos Jordão. A ocorrência das mudanças somente no verão e outono podem ser explicadas pelos fatores demográficos e socioeconômicos (atividade turística) descritos anteriormente. O aumento da chuva de inverno pode explicar a não ocorrência de um efeito semelhante nas vazões de inverno;
- a inexistência de tendências ou pontos de mudança significativos nas vazões médias anuais da bacia indicam que, apesar das alterações do meio físico da bacia e de alterações em variáveis hidrológicas sazonais, o seu balanço hídrico anual não foi afetado.

Para futuros estudos, recomenda-se a análise quali-quantitativa de alterações de vazões extremas máximas das bacias estudadas, causadoras de inundações e outros desastres, considerando não somente o clima e fatores antrópicos, bem como a topografia e geologia. E, embora a contribuição de mudanças climáticas tenha sido desconsiderada, a partir da estacionariedade da precipitação, a análise de demais variáveis hidrometeorológicas, como temperatura e velocidade do vento, é relevante para a correlação com possíveis alterações fluviométricas.

Recomenda-se, para fins de gerenciamento de recursos hídricos, a implementação de medidas sustentáveis para suprimento de novas demandas de água, considerando as vazões, mínimas, médias e máximas, sazonais.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOELNOUR, M.; GITAU, M. W.; ENGEL, B. A. A Comparison of Streamflow and Baseflow Responses to Land-Use Change and the Variation in Climate Parameters Using SWAT. **Water**, v. 12, n. 1, p. 191, 2020.

ABOWARDA, A. S. et al. Generating surface soil moisture at 30 m spatial resolution using both data fusion and machine learning toward better water resources management at the field scale. **Remote Sensing of Environment**, v. 255, n. 15, 2021.

ADNAN, N. A.; ATKINSON, P. M. Exploring the impact of climate and land use changes on streamflow trends in a monsoon catchment. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 6, p. 815–831, 2011.

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**, v. 34, p. 1933–1949, 2020.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. [s.l: s.n.].

ANA. **Estimativas de evapotranspiração real por sensoriamento remoto no Brasil**. Disponível em: <[www.snirh.gov.br](http://www.snirh.gov.br) %3E Usos da%0AAgua>.

ANIL, A. P.; RAMESH, H. Analysis of climate trend and effect of land use land cover change on Harangi streamflow, South India: a case study. **Sustainable Water Resources Management**, v. 3, n. 3, p. 257–267, 2017.

AYYAD, S. et al. The Performance of Satellite-Based Actual Evapotranspiration Products and the Assessment of Irrigation Efficiency in Egypt. **Water**, v. 11, n. 9, 2019.

BATES, B. C. et al. **Climate Change and Water**. [s.l: s.n.].

BENITES, V. DE M. et al. Caracterização dos Solos em Duas Topossequências sobre Diferentes Litologias em Áreas Altimontanas na Serra da Mantiqueira. **Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, p. 31, 2003.

BRASIL. **DECRETO Nº 91.304, DE 03 DE JUNHO DE 1985**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Atos/decretos/1985/D91304.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Atos/decretos/1985/D91304.html)>. Acesso em: 4 ago.

2021.

CARNEVSKIS, E. L.; LOURENÇO, L. F. **Agrometeorologia e climatologia**. [s.l: s.n.].

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA - CBH-SM. **Plano de Bacia UGRHI-1 (Serra da Mantiqueira) versão adequada à deliberação CRH n.146**. Disponível em: <<http://comitesm.sp.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/planodebacias.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. **Journal of Open Source Software**, v. 64, n. 3172, p. 6, 2021.

DAS, S.; BANEERJE, S. Investigation of changes in seasonal streamflow and sediment load in the Subarnarekha-Burhabalang basins using Mann-Kendall and Pettitt tests. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 946, p. 14, 2021.

DEY, P.; MISHRA, A. Separating the impacts of climate change and human activities on streamflow: A review of methodologies and critical assumptions. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 279–290, 2017.

DITTMER, K. Changing streamflow on Columbia basin tribal lands—climate change and salmon. **Climatic Change**, v. 120, n. 3, p. 627–641, 2013.

DOGAN, F. N.; KARPUZCU, M. E. Effect of land use change on hydrology of forested watersheds. **Ecohydrology**, 2021.

FERREIRA, F. L. . et al. TIME SERIES TRENDS OF STREAMFLOW AND RAINFALL IN THE SANTO ANTÔNIO RIVER BASIN, BRAZIL. **EAgri Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 1, p. 47–55, 2021.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **SEADE MUNICÍPIOS**. Disponível em: <<https://municipios.seade.gov.br/>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

GAO, F. et al. Trend Analysis of Rainfall Time Series in Shanxi Province, Northern China (1957–2019). **Water**, v. 12, n. 9, 2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO E PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DO JORDÃO. **Plano municipal integrado de saneamento básico de Campos do Jordão**.

HAMED, K. H. Trend detection in hydrologic data: TheMann–Kendall trend test under the scalinghypothesis. **Journal of Hydrology**, v. 349, p. 350–363, 2008.

- HELSEL, D. R. et al. **Statistical methods in water resources**. [s.l: s.n.].
- HERMAN, M. R. et al. Evaluating the role of evapotranspiration remote sensing data in improving hydrological modeling predictability. **Journal of Hydrology**, v. 556, 2018.
- HU, J. et al. Predicting long-term hydrological change caused by climate shifting in the 21st century in the headwater area of the Yellow River Basin. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 36, n. 6, p. 1651–1668, 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 1 ago. 2021.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE-ICMBIO. **Plano de Manejo da Área de Proteção da Serra da Mantiqueira**. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano-de-manejo/plano\\_de\\_manejo\\_serra\\_da\\_mantiqueira\\_2018.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano-de-manejo/plano_de_manejo_serra_da_mantiqueira_2018.pdf)>.
- JIANG, C. et al. Separating the impacts of climate change and human activities on runoff using the Budyko-type equations with time-varying parameters. **Journal of Hydrology**, v. 522, 2015.
- KIBRIA, K. et al. Streamflow Trends and Responses to Climate Variability and Land Cover Change in South Dakota. **Hydrology**, v. 3, n. 1, p. 2, 2016.
- KUNDZEWICZ, Z. W.; ROBSON, A. J. Change detection in hydrological records—a review of the methodology / Revue méthodologique de la détection de changements dans les chroniques hydrologiques. **Hydrological Sciences Journal**, v. 49, n. 1, p. 7–19, 2004.
- LIU, H.; AN, H. Preliminary tests on the performance of MLC-RFE and SVM-RFE. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 13, n. 130, p. 12, 2020.
- LIU, W. et al. The streamflow trend in Tangwang River basin in northeast China and its difference response to climate and land use change in sub-basins. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 1, p. 51–62, 2013.
- LOPES, P. M. O. et al. Simulação do saldo de radiação na Serra da Mantiqueira. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, v. 17, n. 7, 2013.
- MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.
- MARHAENTO, H.; BOOIJ, M.; HOEKSTRA, A. Attribution of changes in stream flow to land use change and climate change in a mesoscale tropical catchment in Java, Indonesia.

**Hydrology Research**, v. 48, n. 4, p. 1143–1155, 2017.

MAUSER, W.; SCHADLICH, S. Modelling the spatial distribution of evapotranspiration on different scales using remote sensing data. **Journal of Hydrology**, v. 212, p. 250–267, 1998.

MEKONNEN, D. F. et al. Analysis of combined and isolated effects of land-use and land-cover changes and climate change on the upper Blue Nile River basin's streamflow. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, p. 6287–6207, 2018a.

MEKONNEN, D. F. et al. Analysis of combined and isolated effects of land-use and land-cover changes and climate change on the upper Blue Nile River basin's streamflow. **Hydrol. Earth Syst.**, v. 22, p. 6187–6207, 2018b.

MEKONNEN, D. F. et al. Analysis of combined and isolated effects of land-use and land-cover changes and climate change on the upper Blue Nile River basin's streamflow. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 12, p. 6187–6207, 2018c.

MENDES, R. et al. Understanding shallow landslides in Campos do Jordão municipality – Brazil: disentangling the anthropic effects from natural causes in the disaster of 2000. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, v. 18, 2018.

MILLIMAN, J. et al. Climatic and anthropogenic factors affecting river discharge to the global ocean, 1951–2000. **Global and Planetary Change**, v. 62, n. 3–4, 2008.

MOHAMMED, E. A.; HANI, Z. Y.; KADHIM, G. Q. Assessing land cover/use changes in Karbala city (Iraq) using GIS techniques and remote sensing data. **Journal of Physics: Conf. Series**, v. 1032, p. 7, 2018.

MONDAL, A.; LE, M. H.; LAKSHMI, V. Land use, climate, and water change in the Vietnamese Mekong Delta (VMD) using earth observation and hydrological modeling. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 42, n. October 2021, p. 101132, 2022.

MULUGETA, S.; FEDLER, C.; AYANA, M. Analysis of long-term trends of annual and seasonal rainfall in the Awash River Basin, Ethiopia. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 7, 2019.

NASA. **History Landsat Science**. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/history/>>.

PANG, X. et al. Urban hydrological responses to climate change and urbanization in cold climates. **Science of The Total Environment**, v. 817, p. 153066, 2022.

PENG, S. et al. Spatiotemporal change and trend analysis of potential evapotranspiration over

the Loess Plateau of China during 2011–2100. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 233, p. 183–194, 2017.

PETTITT, A. N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 28, n. 2, p. 126–135, 1979.

POHLERT, T. **trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection**. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=trend>>.

R CORE TEAM. **TEAM, R. C. A language and environment for statistical computing**. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 6 ago. 2021.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. [s.l: s.n.].

SENAY, G. B. et al. Operational Evapotranspiration Mapping Using Remote Sensing and Weather Datasets: A New Parameterization for the SSEB Approach. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)**, v. 49, n. 3, 2013.

SERINALDI, F.; KILSBY, C. The importance of prewhitening in change point analysis under persistence. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 2, n. 30, 2015.

SHAO, G. et al. The Impacts of Climate Variability and Land Use Change on Streamflow in the Hailiutu River Basin. **Water**, v. 10, n. 6, p. 814, 2018.

SILVA, M. H. DA. **CLASSES DE CAPACIDADE DE USO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA SERRA DA MANTIQUEIRA – UGRHI 1**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2014a.

SILVA, M. H. DA. **CLASSES DE CAPACIDADE DE USO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA SERRA DA MANTIQUEIRA – UGRHI 1**. [s.l: s.n.].

SOK, T. et al. Change in Hydrological Regimes and Extremes from the Impact of Climate Change in the Largest Tributary of the Tonle Sap Lake Basin. **Water**, v. 14, n. 9, p. 1426, 2022.

SOUSA, M. F.; FONSECA, L. M. G.; BENDINI, H. N. Estimation of Water Use in Center Pivot Irrigation Using Evapotranspiration Time Series Derived by Landsat: A Study Case in a Southeastern Region of the Brazilian Savanna. **Remote Sensing of Environment**, v. 14, n. 23, 2022.

STEIN, R. T. **Manejo de bacias hidrográficas**. Porto Alegre: [s.n.].

STROHMENGER, L. et al. Local and seasonal climate change and its influence on the

hydrological cycle in a mountainous forested catchment. **Journal of Hydrology**, v. 610, n. May, p. 127914, 2022.

SU, T. et al. Long-term mean changes in actual evapotranspiration over China under climate warming and the attribution analysis within the Budyko framework. **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 2, 2021.

SWAIN, S. S. et al. Climate-changed versus land-use altered streamflow: A relative contribution assessment using three complementary approaches at a decadal time-spell. **Journal of Hydrology**, v. 596, n. February, p. 126064, 2021.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: [s.n.].

URREA, R. L. et al. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, v. 85, n. 1–2, p. 15–26, 2006.

VILLARINI, G. et al. On the stationarity of annual flood peaks in the continental United States during the 20th century. **WATER RESOURCES RESEARCH**, v. 45, 2009.

WANG, W. et al. Quantitative assessment of the impact of climate variability and human activities on runoff changes: a case study in four catchments of the Haihe River basin, China. **HYDROLOGICAL PROCESSES**, v. 27, p. 1158–1174, 2013.

XU et al. The Impacts of Climate Variation and Land Use Changes on Streamflow in the Yihe River, China. **Water**, v. 11, n. 5, p. 887, 2019.

XU, K.; MILLIMAN, J.; XU, H. Temporal trend of precipitation and runoff in major Chinese Rivers since 1951. **Global and Planetary Change**, v. 73, n. 3–4, 2010.

YAO, Y.; MALLIK, A. U. Estimation of actual evapotranspiration and water stress in the Lijiang River Basin, China using a modified Operational Simplified Surface Energy Balance (SSEBop) model. **Journal of hydro-environment**, v. 41, 2022.

YASSEN, A. N.; NAM, W.; HONG, E. Impact of climate change on reference evapotranspiration in Egypt. **CATENA**, v. 194, 2020.

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.

ZHAO, G. et al. Quantifying the impact of climate variability and human activities on streamflow in the middle reaches of the Yellow River basin, China. **Journal of Hydrology**, v. 519, 2014.

ZHOU, J. et al. Do the Mann-Kendall test and Theil-Sen slope fail to inform trend significance and magnitude in hydrology? **Hydrological Sciences Journal**, v. 68, n. 9, 2023.

ZOLFAGHARPOUR, F.; SAGHAFIAN, B.; DELAVAR, M. Hydrological alteration and biodiversity change along the river network caused by anthropogenic activities and climate variability. **Ecological Processes**, v. 11, n. 1, p. 19, 2022.

ZUO, D. et al. Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. **Science of the Total Environment**, v. 544, p. 238–250, 2016.

## APENDICE A – SÉRIES DE DADOS HIDROLÓGICOS PREENCHIDAS DAS ESTAÇÕES BASE

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/10/1941	3,32	9,01	165,10	109,0
01/11/1941	4,03	10,90	176,70	175,2
01/12/1941	5,00	11,66	209,00	143,6
01/01/1942	4,44	11,01	168,10	74,2
01/02/1942	8,15	13,26	319,20	226,8
01/03/1942	11,19	15,50	349,60	203,2
01/04/1942	5,21	11,01	48,00	72,0
01/05/1942	3,63	8,28	35,40	21,2
01/06/1942	3,07	7,23	19,80	19,8
01/07/1942	2,71	6,63	76,60	38,8
01/08/1942	2,26	5,15	0,10	0,0
01/09/1942	2,51	5,11	63,70	64,3
01/10/1942	2,54	4,81	149,80	62,2
01/11/1942	2,69	7,09	215,20	127,9
01/12/1942	6,15	14,13	295,70	232,4
01/01/1943	6,59	16,16	251,50	256,4
01/02/1943	8,16	15,62	243,34	189,2
01/03/1943	9,50	15,63	168,20	221,1
01/04/1943	4,53	9,41	5,80	22,7
01/05/1943	3,12	7,01	1,10	0,0
01/06/1943	2,90	6,54	30,60	38,8
01/07/1943	2,02	5,12	0,00	0,0
01/08/1943	1,97	5,30	47,90	28,2
01/09/1943	1,85	5,07	43,00	48,1
01/10/1943	3,84	8,03	231,40	215,8
01/11/1943	3,81	7,49	88,40	68,9
01/12/1943	4,24	11,59	192,50	206,0
01/01/1944	4,67	11,46	139,20	175,3
01/02/1944	6,54	18,08	394,10	204,1
01/03/1944	6,08	20,16	210,20	179,3
01/04/1944	4,20	10,90	43,00	34,2
01/05/1944	2,83	7,55	17,10	6,9
01/06/1944	2,06	6,43	21,50	32,0
01/07/1944	2,08	6,04	19,80	20,6
01/08/1944	1,69	4,57	0,00	0,0
01/09/1944	1,53	3,74	25,60	8,9
01/10/1944	1,37	3,89	10,60	69,3
01/11/1944	3,06	7,39	252,60	184,8
01/12/1944	2,76	7,04	150,80	79,9

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/01/1945	4,46	9,71	199,90	133,0
01/02/1945	8,23	21,36	501,50	70,5
01/03/1945	5,44	11,70	144,00	123,8
01/04/1945	4,12	9,45	72,70	59,8
01/05/1945	2,77	6,81	0,10	21,4
01/06/1945	3,03	9,34	107,80	149,5
01/07/1945	3,01	6,95	51,70	15,2
01/08/1945	1,93	5,15	0,00	8,9
01/09/1945	2,60	4,22	16,30	22,5
01/10/1945	1,76	4,08	71,60	44,2
01/11/1945	3,69	8,68	207,10	235,7
01/12/1945	7,19	13,61	299,80	348,0
01/01/1946	10,01	22,68	285,90	215,9
01/02/1946	5,85	17,66	184,40	138,8
01/03/1946	5,87	17,27	235,20	164,4
01/04/1946	4,91	13,81	65,90	30,8
01/05/1946	3,77	9,48	22,70	2,4
01/06/1946	2,89	7,88	21,00	6,4
01/07/1946	3,74	7,55	106,30	29,3
01/08/1946	2,02	5,14	8,00	2,5
01/09/1946	1,78	4,19	53,20	8,7
01/10/1946	3,17	6,15	175,80	111,4
01/11/1946	2,32	7,52	107,78	69,7
01/12/1946	3,10	7,67	157,10	177,2
01/01/1947	9,95	26,88	441,10	387,8
01/02/1947	11,31	24,77	293,50	210,7
01/03/1947	14,08	30,11	303,80	122,3
01/04/1947	6,66	15,72	49,60	23,4
01/05/1947	6,06	11,79	90,40	27,2
01/06/1947	4,34	10,49	70,40	30,4
01/07/1947	3,28	8,69	37,80	21,0
01/08/1947	3,13	7,64	84,20	65,5
01/09/1947	3,25	10,65	105,00	79,5
01/10/1947	2,96	9,24	105,50	75,0
01/11/1947	5,84	9,85	280,60	109,0
01/12/1947	7,97	16,39	439,60	251,2
01/01/1948	6,36	14,99	328,80	168,4
01/02/1948	8,36	21,46	361,60	256,8
01/03/1948	12,06	27,03	447,70	212,9
01/04/1948	5,52	14,94	35,20	7,1
01/05/1948	3,85	10,77	15,70	27,3
01/06/1948	2,89	8,75	0,80	2,8
01/07/1948	2,38	7,62	19,40	29,3
01/08/1948	2,58	6,21	33,60	19,9

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/09/1948	1,90	5,90	30,00	35,3
01/10/1948	1,79	5,60	114,00	75,6
01/11/1948	1,81	6,89	150,89	107,7
01/12/1948	3,36	7,70	202,60	114,8
01/01/1949	9,88	16,38	401,00	248,1
01/02/1949	6,46	19,12	175,80	118,2
01/03/1949	10,30	16,31	197,40	124,9
01/04/1949	5,08	11,50	43,20	32,3
01/05/1949	2,79	8,08	4,00	25,7
01/06/1949	2,23	7,94	47,20	15,1
01/07/1949	1,99	6,16	0,80	2,4
01/08/1949	1,74	5,19	12,60	11,5
01/09/1949	1,49	4,14	7,00	3,4
01/10/1949	1,55	5,80	57,80	82,0
01/11/1949	1,81	7,13	263,00	78,5
01/12/1949	13,31	14,51	430,60	265,2
01/01/1950	10,07	21,07	337,70	229,5
01/02/1950	11,25	34,06	319,40	166,6
01/03/1950	7,08	20,32	150,00	103,4
01/04/1950	5,79	17,25	117,20	70,9
01/05/1950	4,47	9,51	7,60	0,0
01/06/1950	3,17	8,13	52,60	36,6
01/07/1950	2,62	6,88	0,00	9,2
01/08/1950	2,14	5,55	0,00	8,6
01/09/1950	1,74	5,02	20,80	55,0
01/10/1950	2,12	5,75	116,60	63,7
01/11/1950	4,71	11,00	375,80	145,9
01/12/1950	4,02	14,30	291,80	185,1
01/01/1951	6,15	27,87	421,00	317,9
01/02/1951	5,60	21,01	179,80	154,7
01/03/1951	5,62	24,10	247,60	196,2
01/04/1951	5,03	16,80	238,00	121,3
01/05/1951	4,02	9,29	6,20	9,1
01/06/1951	3,92	8,13	4,60	0,6
01/07/1951	4,20	6,97	10,20	5,6
01/08/1951	3,07	6,23	16,60	8,4
01/09/1951	2,58	4,43	2,40	0,4
01/10/1951	2,73	5,05	92,40	105,6
01/11/1951	3,91	6,08	136,40	115,2
01/12/1951	2,68	7,72	77,20	162,5
01/01/1952	9,38	17,74	376,80	277,0
01/02/1952	5,98	25,65	368,60	420,1
01/03/1952	7,51	18,12	316,40	142,7
01/04/1952	4,84	12,40	16,40	34,5

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/05/1952	3,38	8,40	28,83	0,1
01/06/1952	5,41	11,24	176,40	182,1
01/07/1952	2,69	6,69	0,00	0,3
01/08/1952	2,35	5,12	4,20	24,5
01/09/1952	2,11	6,50	19,60	47,4
01/10/1952	1,80	5,07	152,59	109,2
01/11/1952	2,69	7,52	122,20	173,3
01/12/1952	2,42	7,19	108,80	143,3
01/01/1953	2,15	6,54	104,40	85,6
01/02/1953	2,27	8,21	109,40	147,6
01/03/1953	3,40	9,24	266,80	191,0
01/04/1953	3,00	10,15	186,40	188,4
01/05/1953	2,10	5,66	22,40	48,5
01/06/1953	1,61	4,67	22,60	7,6
01/07/1953	1,44	3,88	25,60	17,6
01/08/1953	1,25	3,58	18,60	10,3
01/09/1953	1,24	3,50	29,00	62,6
01/10/1953	1,35	3,97	184,40	96,4
01/11/1953	2,49	5,36	275,20	94,0
01/12/1953	3,57	5,56	469,00	101,8
01/01/1954	3,55	6,08	266,00	85,1
01/02/1954	13,04	16,56	316,62	253,8
01/03/1954	4,63	5,97	136,00	136,4
01/04/1954	4,09	5,35	75,80	25,5
01/05/1954	4,70	7,29	281,50	98,1
01/06/1954	3,00	5,84	45,20	35,0
01/07/1954	2,24	4,46	6,00	15,9
01/08/1954	1,76	3,92	0,00	1,0
01/09/1954	1,77	3,60	41,00	48,0
01/10/1954	2,78	5,34	217,48	166,4
01/11/1954	2,17	3,85	96,20	39,6
01/12/1954	3,52	6,02	253,40	191,4
01/01/1955	6,51	15,28	439,80	218,2
01/02/1955	3,13	7,09	150,80	91,5
01/03/1955	5,17	9,80	344,70	168,7
01/04/1955	3,28	6,53	60,60	28,1
01/05/1955	2,59	5,64	40,50	54,6
01/06/1955	2,46	5,01	50,00	15,4
01/07/1955	1,81	3,94	0,00	4,0
01/08/1955	1,53	4,07	62,20	66,4
01/09/1955	1,19	3,22	0,40	4,0
01/10/1955	1,46	4,09	127,20	76,1
01/11/1955	2,22	5,21	244,00	155,5
01/12/1955	4,63	9,64	360,60	337,2

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/01/1956	3,05	10,52	146,40	81,9
01/02/1956	5,40	9,15	343,40	273,7
01/03/1956	4,82	13,66	243,60	148,7
01/04/1956	3,43	8,90	84,20	39,0
01/05/1956	4,84	8,57	104,80	91,3
01/06/1956	3,50	9,26	80,40	98,6
01/07/1956	2,63	7,07	65,20	105,8
01/08/1956	3,25	9,39	43,20	61,8
01/09/1956	2,50	6,23	86,00	85,6
01/10/1956	2,94	7,37	179,40	167,4
01/11/1956	3,35	5,23	136,40	37,1
01/12/1956	5,85	11,28	363,80	254,1
01/01/1957	8,38	22,97	391,20	306,5
01/02/1957	9,79	28,49	383,40	202,4
01/03/1957	8,82	30,00	212,80	199,6
01/04/1957	7,05	25,53	123,80	127,4
01/05/1957	4,75	12,76	53,50	33,7
01/06/1957	3,83	10,48	64,00	27,9
01/07/1957	3,54	8,56	44,70	30,9
01/08/1957	2,81	6,92	37,80	48,2
01/09/1957	3,40	10,53	160,80	116,7
01/10/1957	3,05	7,73	147,00	113,6
01/11/1957	3,94	10,91	176,00	129,7
01/12/1957	3,70	12,32	141,60	83,5
01/01/1958	8,24	20,42	429,90	323,9
01/02/1958	7,51	19,64	118,20	259,9
01/03/1958	7,57	19,78	250,20	140,6
01/04/1958	5,98	15,83	78,00	86,0
01/05/1958	6,14	16,22	130,00	159,8
01/06/1958	5,87	13,12	120,80	60,9
01/07/1958	4,00	10,30	71,80	73,7
01/08/1958	3,04	8,42	30,60	26,9
01/09/1958	3,48	10,58	130,00	136,7
01/10/1958	4,07	11,22	122,20	150,0
01/11/1958	4,29	13,83	125,00	120,4
01/12/1958	4,12	15,15	228,37	176,0
01/01/1959	10,90	22,85	392,20	243,0
01/02/1959	4,69	16,86	144,06	100,7
01/03/1959	4,94	18,82	296,61	206,0
01/04/1959	3,85	16,23	33,20	36,0
01/05/1959	3,10	11,05	17,00	11,0
01/06/1959	2,42	9,53	0,00	0,0
01/07/1959	2,07	8,16	6,00	0,0
01/08/1959	1,79	8,10	0,00	19,4

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/09/1959	1,50	6,93	31,40	18,5
01/10/1959	1,66	6,88	60,40	40,3
01/11/1959	1,98	9,19	115,38	76,4
01/12/1959	2,57	8,90	117,80	84,8
01/01/1960	5,61	24,34	395,50	244,9
01/02/1960	6,06	20,75	245,20	120,0
01/03/1960	4,74	22,58	162,40	92,0
01/04/1960	3,59	12,64	67,60	20,0
01/05/1960	4,44	12,01	81,80	77,5
01/06/1960	2,90	10,06	66,80	40,5
01/07/1960	2,31	8,72	41,20	8,0
01/08/1960	2,07	7,89	8,00	22,0
01/09/1960	1,71	7,22	41,20	12,0
01/10/1960	2,04	8,31	158,40	44,4
01/11/1960	3,79	9,73	246,40	159,0
01/12/1960	7,24	23,30	307,80	194,4
01/01/1961	9,24	30,49	406,40	355,5
01/02/1961	10,81	30,59	404,31	331,1
01/03/1961	9,57	28,75	142,00	98,8
01/04/1961	8,00	25,47	32,80	35,8
01/05/1961	4,79	18,37	35,40	34,0
01/06/1961	3,50	13,89	35,00	0,0
01/07/1961	2,87	11,23	0,00	8,0
01/08/1961	2,27	8,84	21,90	0,0
01/09/1961	2,01	7,10	8,20	0,0
01/10/1961	2,00	6,55	101,60	24,0
01/11/1961	2,17	7,55	108,89	76,4
01/12/1961	2,71	10,09	315,00	198,5
01/01/1962	5,73	20,15	595,60	151,0
01/02/1962	8,03	29,88	338,20	211,9
01/03/1962	7,36	41,01	265,60	170,0
01/04/1962	3,60	25,33	54,00	48,0
01/05/1962	2,83	15,55	58,20	4,2
01/06/1962	2,44	11,02	5,00	2,0
01/07/1962	1,95	9,41	13,10	5,4
01/08/1962	1,73	8,29	42,00	38,0
01/09/1962	1,91	8,46	126,80	90,0
01/10/1962	3,20	16,61	281,89	195,8
01/11/1962	2,79	16,93	202,90	133,9
01/12/1962	8,50	27,46	375,31	260,3
01/01/1963	7,26	42,31	163,62	114,2
01/02/1963	11,58	38,01	167,85	117,1
01/03/1963	5,97	21,00	161,00	109,7
01/04/1963	3,80	11,78	0,00	16,9

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/05/1963	2,77	7,84	18,00	27,2
01/06/1963	2,49	7,15	0,00	16,9
01/07/1963	1,77	5,35	0,00	16,9
01/08/1963	1,50	4,66	0,00	16,9
01/09/1963	1,28	4,13	0,00	16,9
01/10/1963	2,45	7,05	219,60	143,5
01/11/1963	3,16	17,16	236,40	153,2
01/12/1963	2,63	10,55	215,20	141,0
01/01/1964	4,73	12,72	224,40	146,3
01/02/1964	7,90	20,61	521,00	317,3
01/03/1964	3,67	10,08	61,40	52,3
01/04/1964	2,56	10,79	91,60	69,7
01/05/1964	2,50	9,64	78,90	62,4
01/06/1964	1,94	7,25	37,20	20,0
01/07/1964	2,33	7,71	60,40	61,4
01/08/1964	1,49	5,75	24,60	29,9
01/09/1964	1,41	5,13	118,10	35,0
01/10/1964	2,14	8,74	207,20	137,5
01/11/1964	2,31	8,95	147,90	65,1
01/12/1964	4,57	16,61	456,70	128,1
01/01/1965	7,89	25,45	360,40	267,1
01/02/1965	6,37	22,14	307,90	123,5
01/03/1965	7,53	20,68	211,90	100,1
01/04/1965	4,60	16,40	89,40	170,1
01/05/1965	4,60	15,25	42,10	41,1
01/06/1965	2,91	12,72	2,40	19,6
01/07/1965	2,46	9,77	47,20	39,0
01/08/1965	2,04	8,07	4,20	12,4
01/09/1965	1,59	7,20	40,28	10,2
01/10/1965	2,62	14,60	289,38	201,0
01/11/1965	4,01	13,05	124,68	84,6
01/12/1965	7,82	28,10	203,90	142,0
01/01/1966	8,63	29,19	217,50	184,6
01/02/1966	6,62	23,04	369,50	230,0
01/03/1966	10,78	29,34	330,40	170,4
01/04/1966	6,07	20,17	33,20	52,8
01/05/1966	4,72	15,62	54,20	10,2
01/06/1966	3,41	11,08	0,00	0,0
01/07/1966	2,64	8,68	37,30	6,0
01/08/1966	2,12	7,64	7,40	48,0
01/09/1966	1,92	5,18	62,40	30,6
01/10/1966	3,40	10,47	233,80	174,0
01/11/1966	3,77	18,67	181,40	121,3
01/12/1966	14,02	21,70	315,70	263,8

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/01/1967	11,71	23,81	397,60	110,4
01/02/1967	14,19	31,92	344,60	196,6
01/03/1967	8,77	22,39	241,50	104,5
01/04/1967	5,94	17,50	64,10	9,0
01/05/1967	4,00	12,79	15,80	8,0
01/06/1967	3,75	10,88	77,60	48,8
01/07/1967	2,59	8,39	9,20	6,4
01/08/1967	2,22	6,62	1,60	2,0
01/09/1967	2,41	6,51	122,80	54,0
01/10/1967	3,05	8,18	167,10	203,6
01/11/1967	3,84	9,52	227,70	167,3
01/12/1967	4,93	13,75	228,30	178,3
01/01/1968	6,10	14,09	319,60	225,1
01/02/1968	4,36	11,23	150,70	224,6
01/03/1968	5,06	11,55	125,30	99,1
01/04/1968	3,57	9,03	31,40	58,3
01/05/1968	3,01	7,58	26,60	30,6
01/06/1968	2,22	6,45	0,00	0,0
01/07/1968	2,20	5,79	25,60	6,0
01/08/1968	2,34	5,77	44,20	51,9
01/09/1968	1,76	5,21	45,20	69,1
01/10/1968	1,77	5,03	113,20	119,4
01/11/1968	2,04	4,87	207,00	78,5
01/12/1968	4,12	7,29	303,50	204,2
01/01/1969	3,19	8,91	284,60	259,7
01/02/1969	5,80	11,12	214,40	229,0
01/03/1969	4,46	8,47	105,00	152,1
01/04/1969	3,40	7,19	97,60	72,0
01/05/1969	2,16	4,58	24,40	41,9
01/06/1969	1,97	4,20	37,20	12,1
01/07/1969	1,72	3,44	27,80	0,0
01/08/1969	1,78	3,78	43,60	73,4
01/09/1969	1,29	2,80	12,20	16,2
01/10/1969	1,91	4,32	108,00	229,1
01/11/1969	4,24	10,36	239,10	458,5
01/12/1969	3,99	12,76	241,10	124,3
01/01/1970	7,44	20,56	293,40	348,0
01/02/1970	13,63	31,83	506,30	343,3
01/03/1970	7,90	20,50	190,10	84,3
01/04/1970	5,12	10,59	30,00	62,6
01/05/1970	3,99	8,70	21,80	61,3
01/06/1970	3,13	6,47	60,00	52,9
01/07/1970	2,69	6,06	35,80	27,7
01/08/1970	3,12	6,85	183,70	164,8

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/09/1970	3,27	6,93	135,20	129,8
01/10/1970	3,11	7,19	122,20	91,4
01/11/1970	3,52	7,88	179,10	175,6
01/12/1970	2,98	6,16	70,40	133,9
01/01/1971	2,85	6,32	113,60	111,5
01/02/1971	2,32	4,90	191,50	58,8
01/03/1971	2,88	6,93	189,10	154,4
01/04/1971	1,88	5,19	93,40	68,9
01/05/1971	1,53	4,48	58,30	24,1
01/06/1971	1,78	5,50	111,80	193,8
01/07/1971	1,41	4,18	23,10	30,8
01/08/1971	1,41	3,71	48,70	10,6
01/09/1971	1,48	4,00	109,80	92,4
01/10/1971	3,83	7,70	231,70	216,5
01/11/1971	2,90	6,92	95,60	177,7
01/12/1971	6,05	14,14	399,20	336,3
01/01/1972	5,67	10,46	315,20	139,7
01/02/1972	4,71	14,13	187,50	163,2
01/03/1972	5,80	12,27	173,50	123,6
01/04/1972	4,97	9,16	107,20	43,4
01/05/1972	2,90	6,54	23,20	26,5
01/06/1972	2,28	5,27	6,60	6,4
01/07/1972	2,18	5,60	43,90	77,8
01/08/1972	2,26	5,79	96,20	112,0
01/09/1972	1,70	4,76	77,80	75,8
01/10/1972	2,86	8,69	144,00	152,1
01/11/1972	2,56	9,01	165,40	135,9
01/12/1972	4,31	13,80	206,60	231,8
01/01/1973	3,97	11,26	350,70	127,9
01/02/1973	5,54	13,88	230,70	85,6
01/03/1973	4,88	8,90	155,40	163,0
01/04/1973	4,89	14,23	124,20	85,6
01/05/1973	3,71	9,01	49,40	40,3
01/06/1973	2,81	6,84	23,20	14,2
01/07/1973	2,32	6,11	51,20	0,0
01/08/1973	1,90	4,96	3,20	6,6
01/09/1973	1,87	4,81	73,80	47,4
01/10/1973	3,51	5,65	198,80	141,4
01/11/1973	2,65	5,25	98,60	78,4
01/12/1973	5,68	11,86	442,60	298,0
01/01/1974	7,52	15,08	290,20	184,2
01/02/1974	4,21	9,44	95,40	71,9
01/03/1974	3,76	11,03	86,60	128,6
01/04/1974	3,41	10,13	67,80	38,3

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/05/1974	2,69	7,38	44,00	47,8
01/06/1974	3,50	5,88	79,80	34,0
01/07/1974	1,92	5,79	0,00	0,0
01/08/1974	1,51	4,83	7,00	0,0
01/09/1974	1,29	3,85	11,20	18,4
01/10/1974	1,41	4,47	116,40	156,8
01/11/1974	1,46	4,60	118,40	166,6
01/12/1974	3,95	12,55	365,00	367,6
01/01/1975	3,35	10,80	158,00	146,8
01/02/1975	3,98	12,66	254,60	184,6
01/03/1975	2,91	9,02	84,50	70,6
01/04/1975	2,62	6,84	27,00	14,8
01/05/1975	2,16	6,03	58,20	47,2
01/06/1975	1,92	5,09	10,80	4,2
01/07/1975	1,93	4,31	28,60	41,0
01/08/1975	1,70	3,42	0,00	0,0
01/09/1975	1,50	2,95	23,20	25,8
01/10/1975	2,39	5,32	164,00	144,2
01/11/1975	3,53	9,83	204,40	212,5
01/12/1975	4,41	11,75	340,20	135,0
01/01/1976	3,99	13,32	133,60	148,7
01/02/1976	7,56	20,29	429,20	395,1
01/03/1976	5,97	16,70	255,30	153,0
01/04/1976	5,01	11,95	85,20	108,0
01/05/1976	4,45	12,31	168,80	184,0
01/06/1976	4,35	10,32	64,00	17,6
01/07/1976	4,77	16,79	128,40	130,4
01/08/1976	3,34	14,03	55,40	92,8
01/09/1976	3,94	19,13	169,40	126,2
01/10/1976	3,23	12,30	79,00	64,8
01/11/1976	3,66	12,02	141,40	160,8
01/12/1976	5,59	17,86	222,00	236,0
01/01/1977	7,49	19,22	351,00	263,8
01/02/1977	5,65	15,40	58,00	37,2
01/03/1977	4,24	12,50	135,00	185,4
01/04/1977	5,33	12,20	134,60	125,0
01/05/1977	3,40	8,95	18,20	2,2
01/06/1977	2,97	7,57	53,60	42,8
01/07/1977	2,37	6,13	8,60	10,6
01/08/1977	2,00	5,02	16,60	31,4
01/09/1977	1,98	5,56	93,83	57,4
01/10/1977	2,11	6,29	80,50	86,4
01/11/1977	2,72	5,51	157,20	154,6
01/12/1977	4,04	9,42	189,40	173,1

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/01/1978	5,64	12,28	136,60	167,8
01/02/1978	5,12	12,20	189,00	93,0
01/03/1978	5,15	9,72	158,00	130,4
01/04/1978	3,01	7,05	30,80	23,4
01/05/1978	2,61	6,64	30,40	71,7
01/06/1978	2,62	6,14	42,40	49,4
01/07/1978	2,00	5,02	37,80	52,0
01/08/1978	1,73	4,21	7,80	4,2
01/09/1978	1,54	3,75	12,60	10,0
01/10/1978	1,74	3,76	92,80	103,8
01/11/1978	3,34	6,76	328,20	296,2
01/12/1978	4,13	11,02	275,40	209,8
01/01/1979	4,74	8,68	244,40	101,4
01/02/1979	5,86	12,35	183,20	145,8
01/03/1979	4,49	11,14	156,40	81,1
01/04/1979	4,09	10,85	148,20	86,4
01/05/1979	3,77	10,93	79,90	129,8
01/06/1979	2,50	7,62	0,00	0,0
01/07/1979	2,52	7,02	54,40	47,1
01/08/1979	2,13	6,53	77,40	62,2
01/09/1979	2,59	7,58	123,20	83,4
01/10/1979	2,44	9,13	104,80	116,2
01/11/1979	6,03	13,44	351,80	232,8
01/12/1979	4,76	15,49	214,00	222,3
01/01/1980	7,38	24,86	371,60	248,0
01/02/1980	7,05	21,06	203,60	145,0
01/03/1980	4,67	18,66	83,40	87,2
01/04/1980	7,18	25,98	325,00	227,6
01/05/1980	4,13	15,15	14,60	25,3
01/06/1980	4,17	13,88	80,20	74,6
01/07/1980	2,75	11,49	8,00	0,0
01/08/1980	2,38	9,69	62,00	44,9
01/09/1980	2,27	8,56	67,80	27,4
01/10/1980	2,13	8,05	74,20	57,8
01/11/1980	2,38	8,45	172,40	93,2
01/12/1980	5,19	21,63	245,90	293,6
01/01/1981	9,32	42,65	535,10	242,2
01/02/1981	5,71	20,96	125,60	81,8
01/03/1981	5,04	16,59	142,70	189,8
01/04/1981	4,56	12,13	91,80	61,0
01/05/1981	3,54	9,21	11,60	29,4
01/06/1981	3,50	8,16	35,50	66,0
01/07/1981	2,76	7,20	9,00	22,4
01/08/1981	2,32	5,69	20,00	12,2

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/09/1981	2,04	4,75	20,80	22,0
01/10/1981	3,04	8,26	204,20	241,8
01/11/1981	5,47	10,85	264,80	280,8
01/12/1981	6,31	14,34	322,40	253,9
01/01/1982	10,20	25,43	398,00	352,5
01/02/1982	7,29	17,70	147,00	107,8
01/03/1982	9,47	25,92	383,90	188,9
01/04/1982	6,63	16,77	70,00	40,6
01/05/1982	5,12	12,86	32,20	20,6
01/06/1982	4,86	11,68	114,40	129,7
01/07/1982	3,93	10,43	59,00	37,6
01/08/1982	3,46	8,57	47,20	46,4
01/09/1982	2,88	6,71	27,60	14,3
01/10/1982	3,62	8,45	213,80	158,6
01/11/1982	3,79	8,63	148,40	122,0
01/12/1982	5,93	20,03	302,60	236,0
01/01/1983	8,03	21,73	397,80	226,2
01/02/1983	10,65	24,60	293,20	158,6
01/03/1983	9,09	24,57	327,80	176,2
01/04/1983	7,30	16,39	158,20	67,7
01/05/1983	7,35	21,05	224,80	186,0
01/06/1983	8,19	31,43	227,60	166,8
01/07/1983	5,05	15,05	64,60	26,4
01/08/1983	3,90	10,42	25,60	0,0
01/09/1983	6,62	18,82	298,40	211,0
01/10/1983	5,76	13,56	207,40	98,4
01/11/1983	5,65	13,09	190,00	99,0
01/12/1983	9,71	20,96	416,60	321,0
01/01/1984	7,62	15,26	200,60	110,6
01/02/1984	5,66	13,09	91,20	16,8
01/03/1984	4,80	10,52	111,40	45,4
01/04/1984	4,39	9,68	97,00	49,0
01/05/1984	3,60	8,20	122,20	15,8
01/06/1984	2,75	6,56	0,00	0,0
01/07/1984	2,41	5,79	14,40	20,2
01/08/1984	2,80	6,75	137,10	67,4
01/09/1984	2,52	5,29	150,20	111,0
01/10/1984	1,97	4,01	54,40	39,8
01/11/1984	2,27	3,87	173,40	117,5
01/12/1984	3,46	5,16	308,40	186,4
01/01/1985	6,08	12,89	358,40	140,8
01/02/1985	7,12	15,06	347,20	114,4
01/03/1985	7,55	19,48	247,80	214,1
01/04/1985	5,51	11,96	106,20	67,4

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/05/1985	3,99	8,78	35,40	33,6
01/06/1985	3,26	7,37	14,80	14,2
01/07/1985	2,65	5,47	4,40	0,0
01/08/1985	2,34	4,45	50,80	47,2
01/09/1985	2,63	4,77	113,00	115,0
01/10/1985	2,43	4,00	111,00	159,0
01/11/1985	2,58	7,00	126,20	170,4
01/12/1985	4,45	12,83	421,40	307,8
01/01/1986	4,51	14,29	227,60	186,4
01/02/1986	4,98	12,17	231,00	109,6
01/03/1986	5,42	12,57	231,20	127,0
01/04/1986	4,85	10,23	151,00	43,9
01/05/1986	4,23	10,94	168,60	120,2
01/06/1986	3,14	7,17	5,60	0,5
01/07/1986	2,87	6,18	43,60	41,9
01/08/1986	2,81	6,43	96,60	104,3
01/09/1986	2,34	4,52	54,80	11,7
01/10/1986	2,24	5,17	89,00	37,8
01/11/1986	2,54	4,96	141,10	88,3
01/12/1986	6,40	21,53	472,80	431,4
01/01/1987	8,51	27,90	386,20	292,4
01/02/1987	6,79	23,69	161,40	78,6
01/03/1987	5,33	15,32	151,60	104,3
01/04/1987	6,68	13,92	101,20	112,0
01/05/1987	5,37	13,54	178,80	168,3
01/06/1987	4,67	12,33	61,80	47,2
01/07/1987	3,35	7,46	20,00	6,6
01/08/1987	2,80	5,76	19,20	0,2
01/09/1987	3,36	7,11	171,60	163,2
01/10/1987	3,40	6,52	90,40	100,5
01/11/1987	2,42	5,78	120,70	69,2
01/12/1987	4,14	6,04	341,20	90,3
01/01/1988	6,04	9,50	335,40	271,1
01/02/1988	5,49	13,86	305,80	152,8
01/03/1988	8,73	17,28	324,20	171,2
01/04/1988	5,54	11,56	144,80	117,0
01/05/1988	6,01	12,70	222,60	148,9
01/06/1988	4,52	11,60	70,00	46,1
01/07/1988	2,87	9,45	0,00	0,0
01/08/1988	2,47	7,89	0,00	0,0
01/09/1988	2,26	7,06	28,60	18,4
01/10/1988	2,76	8,99	192,20	137,5
01/11/1988	2,85	7,80	156,80	56,3
01/12/1988	4,25	12,13	232,60	151,0

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/01/1989	5,75	15,12	321,20	180,4
01/02/1989	7,67	23,42	404,20	206,8
01/03/1989	5,62	16,27	257,20	115,2
01/04/1989	4,53	12,43	72,60	39,6
01/05/1989	3,13	8,68	53,67	22,0
01/06/1989	2,70	7,22	67,51	34,2
01/07/1989	2,53	6,68	93,26	56,9
01/08/1989	2,24	4,53	75,56	41,3
01/09/1989	2,28	4,15	130,92	90,1
01/10/1989	1,86	4,48	58,32	26,1
01/11/1989	2,40	5,93	165,97	121,0
01/12/1989	4,16	13,40	194,67	146,3
01/01/1990	4,80	12,65	222,80	179,3
01/02/1990	3,87	9,53	119,10	85,5
01/03/1990	4,89	10,08	199,60	132,0
01/04/1990	3,82	8,59	55,80	40,2
01/05/1990	3,02	6,96	46,20	30,3
01/06/1990	2,33	5,44	0,00	0,5
01/07/1990	2,33	5,45	118,40	53,1
01/08/1990	2,37	4,87	124,60	33,4
01/09/1990	2,46	5,83	98,40	54,7
01/10/1990	3,08	5,43	205,00	77,3
01/11/1990	2,25	4,85	29,40	87,8
01/12/1990	4,19	6,67	377,00	191,6
01/01/1991	4,41	11,54	238,00	163,2
01/02/1991	6,66	11,10	269,40	116,0
01/03/1991	4,28	17,01	367,40	253,9
01/04/1991	3,49	14,63	223,40	83,6
01/05/1991	3,51	9,89	13,50	25,7
01/06/1991	2,94	7,78	36,70	24,4
01/07/1991	2,74	6,28	15,90	4,5
01/08/1991	1,91	4,86	7,60	3,2
01/09/1991	2,73	4,38	44,00	74,8
01/10/1991	4,24	11,02	193,40	110,8
01/11/1991	3,04	8,59	66,00	40,2
01/12/1991	4,51	10,50	247,20	179,7
01/01/1992	4,03	11,16	258,60	137,3
01/02/1992	3,46	9,69	144,60	59,8
01/03/1992	3,58	8,22	298,40	189,0
01/04/1992	3,47	7,60	122,20	35,4
01/05/1992	3,27	7,80	124,40	49,3
01/06/1992	2,56	6,62	0,00	5,1
01/07/1992	2,98	7,53	67,80	50,8
01/08/1992	1,99	6,41	52,60	26,1

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/09/1992	2,78	8,27	139,80	122,7
01/10/1992	2,01	9,90	57,80	141,1
01/11/1992	2,97	10,74	200,40	78,8
01/12/1992	2,40	10,77	52,00	58,7
01/01/1993	3,02	11,61	173,20	146,9
01/02/1993	7,55	19,66	615,40	156,2
01/03/1993	4,20	13,48	150,80	140,8
01/04/1993	2,86	15,98	23,80	42,8
01/05/1993	2,30	8,87	18,20	51,0
01/06/1993	2,46	8,46	15,60	33,3
01/07/1993	2,14	6,26	36,00	0,7
01/08/1993	2,36	6,81	12,00	12,5
01/09/1993	2,54	5,86	187,60	85,8
01/10/1993	2,64	5,87	109,40	92,7
01/11/1993	2,20	5,45	149,60	76,9
01/12/1993	2,13	5,91	184,90	123,5
01/01/1994	3,06	8,61	311,80	121,4
01/02/1994	2,65	6,98	122,40	54,3
01/03/1994	3,21	8,85	297,80	139,3
01/04/1994	3,04	6,88	63,40	53,4
01/05/1994	2,97	6,79	109,60	67,5
01/06/1994	2,47	5,46	49,00	7,3
01/07/1994	2,24	4,84	34,80	15,0
01/08/1994	1,91	4,01	0,00	0,0
01/09/1994	1,74	3,63	0,00	0,0
01/10/1994	1,80	4,75	128,20	117,7
01/11/1994	2,41	5,11	205,80	89,6
01/12/1994	5,30	11,89	475,60	167,7
01/01/1995	3,47	7,07	313,80	101,8
01/02/1995	8,44	28,46	433,20	385,6
01/03/1995	4,12	16,66	108,60	65,7
01/04/1995	3,38	14,56	24,30	30,3
01/05/1995	3,05	10,52	128,40	24,8
01/06/1995	2,35	7,82	21,60	4,1
01/07/1995	2,28	8,52	89,00	53,1
01/08/1995	1,88	6,58	14,00	4,3
01/09/1995	1,78	6,50	56,20	20,5
01/10/1995	3,71	15,96	292,60	209,1
01/11/1995	3,08	8,38	192,80	68,0
01/12/1995	3,52	12,44	458,90	151,5
01/01/1996	5,59	26,84	407,40	236,0
01/02/1996	5,26	18,59	387,40	146,3
01/03/1996	5,76	18,39	326,80	205,3
01/04/1996	4,18	14,26	57,20	49,9

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/05/1996	3,38	10,17	66,20	13,2
01/06/1996	2,88	8,21	35,20	10,3
01/07/1996	2,38	7,20	0,00	0,0
01/08/1996	2,09	6,72	31,00	13,3
01/09/1996	2,55	9,41	189,20	88,9
01/10/1996	3,01	7,76	257,10	120,6
01/11/1996	3,99	12,18	274,80	105,1
01/12/1996	5,56	14,26	340,76	236,4
01/01/1997	5,89	19,32	179,13	132,6
01/02/1997	4,43	13,42	68,19	34,8
01/03/1997	4,15	11,62	137,10	27,0
01/04/1997	3,77	8,18	99,90	17,2
01/05/1997	2,87	7,53	59,20	51,0
01/06/1997	3,12	8,30	93,60	70,8
01/07/1997	2,45	6,38	28,60	33,4
01/08/1997	1,89	5,64	16,00	26,1
01/09/1997	1,89	5,95	85,20	66,0
01/10/1997	2,02	6,38	156,60	107,2
01/11/1997	2,61	10,85	197,30	130,6
01/12/1997	3,41	10,48	190,90	127,0
01/01/1998	3,30	10,13	214,41	163,7
01/02/1998	3,97	16,48	285,50	217,1
01/03/1998	3,51	11,28	183,00	100,9
01/04/1998	2,93	8,40	63,99	31,1
01/05/1998	3,07	8,60	151,20	76,5
01/06/1998	2,29	6,49	8,40	6,9
01/07/1998	2,05	5,77	1,00	3,9
01/08/1998	1,87	5,02	19,30	8,0
01/09/1998	1,97	5,89	164,80	86,9
01/10/1998	2,82	7,61	214,70	195,5
01/11/1998	2,64	6,80	121,40	66,1
01/12/1998	4,05	9,78	224,40	243,8
01/01/1999	5,95	21,21	721,50	348,4
01/02/1999	7,36	16,37	445,60	137,9
01/03/1999	4,31	14,32	369,20	92,0
01/04/1999	3,63	11,38	77,50	35,2
01/05/1999	2,75	7,59	5,30	9,6
01/06/1999	2,60	7,30	18,40	50,0
01/07/1999	2,23	6,38	1,30	16,7
01/08/1999	1,72	5,86	0,00	0,0
01/09/1999	1,70	5,43	3,30	40,8
01/10/1999	1,66	4,29	12,20	48,2
01/11/1999	2,05	4,22	145,10	102,6
01/12/1999	2,41	7,58	166,60	170,5

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/01/2000	9,16	28,65	448,50	419,2
01/02/2000	9,56	15,69	141,70	194,3
01/03/2000	5,24	12,61	172,40	143,6
01/04/2000	3,90	9,21	37,70	63,4
01/05/2000	2,98	6,68	3,40	4,6
01/06/2000	2,55	5,89	3,00	1,6
01/07/2000	2,81	5,61	87,70	65,0
01/08/2000	2,64	5,22	70,60	47,9
01/09/2000	2,35	5,66	14,90	45,5
01/10/2000	2,09	4,60	46,20	42,9
01/11/2000	2,70	7,91	145,10	88,7
01/12/2000	3,20	15,88	161,70	224,5
01/01/2001	2,80	12,20	164,60	77,4
01/02/2001	3,21	11,87	190,20	121,6
01/03/2001	2,90	9,97	107,00	116,9
01/04/2001	2,66	7,95	34,50	15,9
01/05/2001	2,37	6,94	58,10	57,1
01/06/2001	2,16	6,36	18,40	11,0
01/07/2001	1,90	5,80	16,40	6,7
01/08/2001	1,76	5,38	34,20	47,0
01/09/2001	2,03	5,46	55,70	45,4
01/10/2001	2,05	8,70	160,40	150,6
01/11/2001	2,81	9,88	270,60	169,3
01/12/2001	4,36	9,86	392,90	179,8
01/01/2002	4,79	18,14	292,20	265,6
01/02/2002	6,68	24,22	357,40	256,5
01/03/2002	4,99	15,72	139,20	78,7
01/04/2002	4,15	11,35	42,10	16,6
01/05/2002	3,27	8,80	33,00	43,1
01/06/2002	2,62	7,68	0,00	0,0
01/07/2002	2,24	7,31	14,00	8,7
01/08/2002	2,05	7,56	91,00	60,2
01/09/2002	2,30	7,12	76,10	111,7
01/10/2002	2,04	6,09	71,80	65,6
01/11/2002	3,02	8,51	245,80	170,8
01/12/2002	3,87	12,60	292,40	273,5
01/01/2003	5,09	18,47	401,30	379,8
01/02/2003	4,90	15,41	76,30	106,0
01/03/2003	5,02	13,15	189,50	203,4
01/04/2003	3,71	8,88	102,40	55,5
01/05/2003	3,07	7,63	64,65	45,9
01/06/2003	2,51	6,72	8,20	13,2
01/07/2003	2,09	6,30	0,00	18,0
01/08/2003	1,81	5,77	16,80	19,9

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/09/2003	1,62	5,63	16,50	21,2
01/10/2003	2,06	7,34	121,50	146,8
01/11/2003	2,04	6,84	217,30	124,2
01/12/2003	3,12	9,72	229,70	138,7
01/01/2004	2,70	10,89	400,40	138,7
01/02/2004	5,08	18,21	372,00	264,3
01/03/2004	4,58	14,87	242,70	101,7
01/04/2004	3,72	11,25	81,80	117,9
01/05/2004	4,46	9,02	208,10	93,3
01/06/2004	3,41	9,36	38,10	76,4
01/07/2004	3,93	9,63	87,40	113,5
01/08/2004	2,20	6,13	0,00	8,6
01/09/2004	1,89	5,39	8,30	22,8
01/10/2004	2,97	9,02	261,10	123,4
01/11/2004	2,72	7,86	267,60	158,6
01/12/2004	3,47	9,34	145,30	156,9
01/01/2005	7,05	20,35	486,30	445,0
01/02/2005	6,56	12,42	166,54	121,5
01/03/2005	5,21	12,13	264,90	176,4
01/04/2005	4,29	10,43	70,40	75,4
01/05/2005	4,69	10,68	181,74	134,9
01/06/2005	2,86	7,28	7,70	18,2
01/07/2005	2,66	6,26	42,50	27,4
01/08/2005	2,26	5,52	23,60	18,0
01/09/2005	3,23	6,83	165,50	164,1
01/10/2005	3,22	6,79	180,70	168,7
01/11/2005	2,98	7,40	170,00	133,8
01/12/2005	4,19	12,43	284,60	185,1
01/01/2006	4,02	12,98	303,20	191,7
01/02/2006	4,81	20,05	405,80	388,6
01/03/2006	4,94	14,68	169,90	144,1
01/04/2006	2,92	10,41	11,60	30,2
01/05/2006	2,83	8,27	33,30	16,4
01/06/2006	2,63	7,23	41,76	11,5
01/07/2006	2,53	6,51	35,80	44,9
01/08/2006	2,07	6,08	20,40	44,2
01/09/2006	2,22	5,77	126,27	86,0
01/10/2006	3,13	8,56	78,80	95,7
01/11/2006	4,22	9,58	385,30	254,5
01/12/2006	4,01	15,80	294,90	301,7
01/01/2007	14,04	51,00	575,61	482,1
01/02/2007	7,54	20,76	120,70	74,6
01/03/2007	5,09	13,69	151,00	80,6
01/04/2007	3,90	10,82	37,10	55,9

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/05/2007	3,39	8,11	54,90	29,3
01/06/2007	3,14	7,06	30,00	21,0
01/07/2007	3,89	8,89	153,40	154,0
01/08/2007	2,44	5,79	0,00	44,2
01/09/2007	2,28	4,37	38,60	21,1
01/10/2007	2,35	5,17	78,00	125,0
01/11/2007	3,92	13,19	208,20	167,9
01/12/2007	3,39	12,10	317,50	200,0
01/01/2008	3,52	11,08	194,80	130,2
01/02/2008	4,43	20,84	306,60	282,0
01/03/2008	5,69	18,89	260,20	159,9
01/04/2008	5,97	20,82	191,04	143,1
01/05/2008	3,53	12,28	57,19	25,1
01/06/2008	3,33	9,90	87,47	51,8
01/07/2008	2,42	6,57	0,00	0,0
01/08/2008	2,67	6,67	75,90	106,9
01/09/2008	3,11	6,01	102,90	82,7
01/10/2008	2,72	6,10	128,20	160,8
01/11/2008	3,36	11,14	207,10	136,3
01/12/2008	5,07	9,28	217,80	118,5
01/01/2009	4,94	17,12	314,90	258,5
01/02/2009	8,36	34,57	410,60	279,3
01/03/2009	5,16	19,39	109,60	141,2
01/04/2009	4,22	14,50	29,00	54,0
01/05/2009	3,88	10,95	63,40	35,7
01/06/2009	3,30	9,18	38,10	57,0
01/07/2009	3,55	8,31	230,10	70,1
01/08/2009	3,15	7,58	71,14	37,4
01/09/2009	2,97	9,80	200,70	132,6
01/10/2009	3,80	9,21	282,40	179,7
01/11/2009	3,85	7,99	215,90	141,4
01/12/2009	7,50	30,09	544,70	331,0
01/01/2010	6,71	25,82	259,40	131,6
01/02/2010	3,70	11,87	79,20	36,3
01/03/2010	4,23	13,25	94,73	58,2
01/04/2010	3,91	11,33	85,40	18,7
01/05/2010	3,26	8,23	34,30	20,3
01/06/2010	2,95	8,15	23,50	30,4
01/07/2010	2,91	6,74	16,90	12,8
01/08/2010	2,14	5,23	0,00	0,0
01/09/2010	2,02	5,23	64,40	13,3
01/10/2010	2,31	6,81	32,46	3,3
01/11/2010	3,29	10,20	201,00	132,8
01/12/2010	5,43	14,23	356,30	113,8

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/01/2011	7,26	40,97	415,20	202,7
01/02/2011	3,55	14,27	144,40	61,1
01/03/2011	7,09	21,73	215,90	141,4
01/04/2011	5,16	18,51	137,50	21,9
01/05/2011	3,49	10,83	28,71	0,0
01/06/2011	2,87	9,16	74,35	52,6
01/07/2011	2,75	7,21	21,73	16,3
01/08/2011	2,06	6,30	37,33	7,6
01/09/2011	1,70	5,59	28,71	0,0
01/10/2011	2,45	6,51	129,00	91,3
01/11/2011	4,24	8,13	269,80	86,7
01/12/2011	3,83	8,84	138,40	72,2
01/01/2012	6,11	11,42	296,70	284,8
01/02/2012	4,67	9,87	175,70	8,8
01/03/2012	3,67	7,59	139,20	2,3
01/04/2012	3,35	6,15	113,40	2,4
01/05/2012	3,35	6,66	97,20	72,9
01/06/2012	3,17	7,69	98,90	73,9
01/07/2012	2,86	5,83	35,40	37,3
01/08/2012	2,15	3,59	7,90	21,4
01/09/2012	1,76	2,80	41,60	40,9
01/10/2012	1,82	2,89	111,80	78,5
01/11/2012	2,92	4,14	244,10	65,7
01/12/2012	3,23	5,39	181,50	198,8
01/01/2013	7,36	14,92	359,20	309,5
01/02/2013	7,85	12,87	193,54	145,3
01/03/2013	5,19	14,63	216,40	150,7
01/04/2013	5,01	10,92	69,00	47,3
01/05/2013	4,07	6,68	67,20	67,2
01/06/2013	3,38	5,77	54,01	22,3
01/07/2013	3,21	5,72	68,64	35,2
01/08/2013	2,46	4,53	38,47	8,6
01/09/2013	2,12	4,66	73,07	39,1
01/10/2013	2,63	6,53	99,10	89,5
01/11/2013	3,13	5,71	208,60	216,1
01/12/2013	4,28	9,20	127,86	87,4
01/01/2014	3,16	5,33	48,34	17,3
01/02/2014	2,20	7,07	33,25	4,0
01/03/2014	1,96	4,60	50,61	19,3
01/04/2014	1,91	4,78	58,89	26,6
01/05/2014	1,44	3,29	51,97	20,5
01/06/2014	1,43	3,57	44,71	14,1
01/07/2014	1,57	4,29	77,49	43,0
01/08/2014	1,20	2,78	45,50	14,8

DATA	VAZÕES [m³/s]		CHUVA [mm]	
	61250000	61320000	2245010	2245011
01/09/2014	1,14	2,28	39,70	0,0