

FERNANDA LAURINDA VALADARES FERREIRA

**INFLUÊNCIA DAS PRECIPITAÇÕES E DO USO E COBERTURA DA
TERRA NO REGIME DE VAZÕES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
SANTO ANTÔNIO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

F383i
2019
Ferreira, Fernanda Laurinda Valadares, 1994-
Influência das precipitações e do uso e cobertura da terra no
regime de vazões da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio /
Fernanda Laurinda Valadares Ferreira. – Viçosa, MG, 2019.
xv, 87f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Lineu Neiva Rodrigues.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.65-73.

1. Recursos Hídricos. 2. Tendência. 3. Solo - Uso.
I. Universidade Federal de Viçosa. Engenharia Agrícola.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

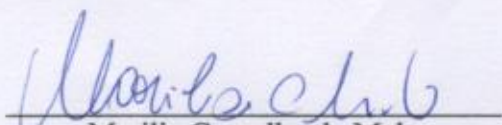
CDD 22 ed. 628.1


FERNANDA LAURINDA VALADARES FERREIRA

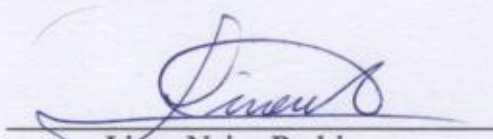
**INFLUÊNCIA DAS PRECIPITAÇÕES E DO USO E COBERTURA DA
TERRA NO REGIME DE VAZÕES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
SANTO ANTÔNIO**

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

APROVADA: 29 de julho de 2019.


Marília Carvalho de Melo


Demetrius David da Silva
(Coorientador)


Lineu Neiva Rodrigues
(Orientador)

À minha família e amigos, que são o
alicerce da construção da minha vida,
Dedico.

*“Poucos rios, surgem de grandes
nascentes, mas muitos crescem
recolhendo filetes de água”*

(Ovídio)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que sempre esteve comigo, me sustentou nos momentos difíceis e me levou a chegar aqui.

À minha família, por todo amor, e pela contribuição em minha educação, principalmente aos meus pais, Walter e Luciene, que sempre acreditaram no meu potencial e me incentivaram.

Ao meu irmão Walter Júnio, pelo amor, amizade e companheirismo em todos os momentos.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de aperfeiçoamento da minha formação acadêmica.

Ao Lineu, pelo apoio, orientação, ensinamentos e confiança.

Ao professor Demetrius, pela coorientação, apoio e confiança.

Aos amigos integrantes da pós-graduação na área de Recursos Hídricos e Ambientais, agradeço a convivência compartilhada, os ensinamentos e apoio, em especial, a Tarci, Lau, David, Robson, Mila, Rá, Josi, Cris², Lu, Ligia, Pri, Arnaldo, Daniel, Roberto, Jesi, Jô, Uilson, Jasmine, Julia, Guilherme e Sávio.

Às minhas amadas amigas irmãs, Isabelle e Adelaide, pela amizade, convívio e inúmeras risadas.

A todos os meus amigos que mesmo de longe, foram essenciais nessa caminhada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de alguma forma, o meu sincero agradecimento.

BIOGRAFIA

FERNANDA LAURINDA VALADARES FERREIRA, filha de Walter Ferreira e Luciene Márcia Valadares Ferreira, irmã de Walter Júnio Valadares Ferreira, nasceu em Belo Horizonte, MG, em 26 de fevereiro de 1994.

Em março de 2012, ingressou-se no curso de Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Montes Claros, MG, concluindo-o em fevereiro de 2017.

Em agosto de 2017, ingressou-se no Programa de Pós-Graduação, em Nível Mestrado no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, na área de concentração de Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2019.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Comportamento não estacionário dos dados hidrológicos	3
2.1.1 Teste de Mann Kendall.....	5
2.1.2 Teste de Run	6
2.1.3 Teste de Pettitt	7
2.2 Influência das precipitações pluviométricas no regime de vazões.....	8
2.3 Influência do uso e cobertura da terra no regime de vazões.....	9
2.4 Mapeamento do uso e cobertura da terra.....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1 Área de estudo	14
3.2 Obtenção e tratamento da base de dados Hidrológicos.....	17
3.2.1 Preenchimento de falhas dos dados hidrológicos	19
3.2.2 Individualização das áreas de drenagem das estações fluviométricas.....	19
3.2.3 Definição do ano hidrológico	20
3.2.4 Determinação das vazões e precipitações de referência	21
3.3 Análise de estacionariedade das séries históricas de vazão e precipitação	22
3.4 Espacialização da precipitação	22
3.5 Uso e Cobertura da terra.....	24
3.6 Dados de volume de água outorgado	26
3.7 Relação entre as mudanças nas precipitações pluviométricas e no uso e cobertura da terra no regime de vazão.....	27

3.8 Análise da influência das alterações no uso e cobertura da terra e na precipitação pluviométrica nos regimes de vazões	27
3.8.1 Avaliação dos modelos de regressão múltipla.....	30
3.8.3 Validação dos modelos.....	31
3.8.4 Desempenho e análise estatística dos modelos.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Análise de tendência.....	33
4.1.1 Séries de vazão e precipitação	33
4.1.2 Uso e cobertura da terra.....	39
4.2 Classificação e variabilidade temporal do uso e cobertura da terra e comparação com os regimes hidrológicos.....	40
4.3 Relação entre as precipitações e uso e cobertura da terra no regime de vazão	51
4.4 Estimativa da vazão em função da precipitação e uso e cobertura da terra	57
4.4.1 Desempenho dos modelos para estimativas das vazões	62
5. CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICES.....	74
APÊNDICE A.....	75
APÊNDICE B.....	76
APÊNDICE C.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, com destaque para as estações fluviométricas e pluviométricas com influência na área de estudo (a), sua localização na bacia do rio Doce (b) e no Brasil (c)	14
Figura 2 – Biomas da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.....	15
Figura 3 – Precipitação total anual média de 1985 a 2014	16
Figura 4 – Estações fluviométricas e respectivas áreas de drenagem na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.....	20
Figura 5 – Hidrograma das médias de Q_7 para as seis estações fluviométricas na área de estudo.....	21
Figura 6 - Outorgas na área de estudo, no período de 2000 a 2014.....	26
Figura 7 – Estações pluviométricas, com destaque na cor rosa para as estações que apresentaram comportamento não estacionário	33
Figura 8 – Área de drenagem da estação fluviométrica 56800000 com destaque para as estações pluviométricas que apresentaram comportamento não estacionário	35
Figura 9 – Áreas de drenagem das estações fluviométricas com tendência no comportamento das vazões média e máxima, com destaque para as estações pluviométricas que apresentaram comportamento não estacionário.....	37
Figura 10 – Tendência do uso e cobertura da terra em cada uma das seis áreas de drenagem a montante das estações fluviométricas localizadas na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.	39
Figura 11 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56825000 (Naque Velho)	40
Figura 12 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56775000 (Ferros)	42
Figura 13 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56787000 (Fazenda Barraca).....	43
Figura 14 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56800000 (Senhora do Porto).....	45
Figura 15 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56765000 (Dom Joaquim).....	46

Figura 16 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56750000 (Conceição do Mato Dentro)	47
Figura 17 – Volume de água outorgado a montante da estação fluviométrica	50
Figura 18 - Gráficos das equações de regressão significativas entre as vazões mínima (Q_7), média (Q_{med}) e a Precipitação Total Anual (P_a)	54
Figura 19 - Gráficos das equações de regressão significativas entre as vazões médias (Q_{med}) e a Precipitação do Semestre Chuvoso (P_{sc})	55
Figura 20 - Gráficos das equações de regressão significativas entre as médias (Q_{med}) e máximas (Q_{max}) a Precipitação do Trimestre Chuvoso (P_{tc})	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas no estudo	17
Tabela 2 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo	18
Tabela 3 - Descrição das classes de uso para o Cerrado e Mata Atlântica	24
Tabela 4 – Variáveis dependentes e independentes utilizadas nos modelos de regressão múltipla	28
Tabela 5 – Estações que apresentaram tendência nas séries históricas anuais de precipitações e pontos de mudança	34
Tabela 6 – Estações que apresentaram tendência nas séries históricas mensais de vazões e anos de ocorrência das mudanças.....	36
Tabela 7 – Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56825000.....	41
Tabela 8 - Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56775000.....	42
Tabela 9 - Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56787000.....	44
Tabela 10 - Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56800000.....	45
Tabela 11 - Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56765000.....	46
Tabela 12 - Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de	

1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56750000.....	48
Tabela 13 – Relações das vazões com as precipitações pluviométricas nas sub-bacias em estudo.	51
Tabela 14 - Modelos de regressão múltipla que apresentaram melhores ajustes para descrever o regime de vazões da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio e respectivas estatísticas	58
Tabela 15 – Desempenho do modelo para o conjunto de testes	62

RESUMO

FERREIRA, Fernanda Laurinda Valadares, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, julho de 2019. **Influência das precipitações e do uso e cobertura da terra no regime de vazões da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.** Orientador: Lineu Neiva Rodrigues. Coorientador: Demetrius David da Silva.

A água é elemento essencial para existência da vida no planeta, dessa forma é necessário que se tenha conhecimento a respeito dos elementos que alteram a sua dinâmica, destacadamente a sua qualidade e quantidade. Em diversas regiões do Brasil, o quadro de escassez hídrica tem aumento em virtude do uso excessivo desse recurso, da ineficiência dos programas de gestão e das variações no ciclo hídrico. As alterações climáticas e a intensificação das atividades antrópicas nas bacias hidrográficas tem alterado de forma considerável o regime de vazões, o que se configura como um problema para os gestores dos recursos hídricos, pois estes são planejados considerando a hipótese de estacionariedade, ou seja, não consideram a ocorrência de mudanças significativas dos dados das séries hidrológicas ao longo do tempo. Neste cenário, os objetivos deste estudo foi modelar o comportamento da vazão em função da precipitação e do uso e cobertura da terra e analisar a relação entre as mudanças ocorridas nas precipitações pluviométricas e no uso e cobertura da terra no regime de vazões da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, MG. A análise do uso e cobertura da terra, no período de 1985 a 2014, foi realizado a partir da elaboração de mapas das classes de uso e cobertura da terra, utilizando informações fornecidas pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil – MapBiomas, sendo o seu processamento realizado na plataforma Google Earth Engine (GEE). Para avaliar a relação da dinâmica da cobertura da terra com o regime de vazões, foram considerados cinco classes: Floresta Natural ou Formação Natural; Floresta Plantada; Formação Natural não Florestal; Agropecuária; e Área não Vegetada. Para caracterização do comportamento hidrológico foram utilizados dados de seis estações fluviométricas e 24 estações pluviométricas que apresentaram influência na área de estudo. Para verificação da hipótese de estacionariedade nos dados hidrológicos foram aplicados testes estatísticos de Run, Mann Kendall e Pettitt, ao nível de significância de 5%. Foram ajustados modelos de regressão múltipla para estimativa das vazões utilizando como variáveis explicativas a precipitação (β_1), e o uso e cobertura da terra (β_2). Em relação à dinâmica do uso e cobertura da terra, constatou-se que em todas às áreas de

drenagem as áreas de agropecuária já estavam em processo de expansão, com redução das áreas de floresta natural, e em quatro áreas de drenagem houve aumento considerável das áreas de floresta plantada. Verificou-se, também, que das seis estações fluviométricas localizadas na área de estudo, apenas uma apresentou os dados com comportamento não estacionário para o regime de vazão mínima (Q_7) anual, com tendência de redução, e para as vazões mensais foram contatados para as vazões médias (Q_{med}) e máximas (Q_{max}) tendência de redução para os meses de julho a setembro. Em relação aos dados pluviométricos, das estações utilizadas, 12 delas apresentaram comportamento não estacionário, em sua maioria com tendência de redução. Dos modelos de regressão múltipla, a estação fluviométrica 56825000, obteve os melhores ajustes dos dados para Q_{med} , considerando as variáveis explicativas Precipitação Total Anuais (P_a); Precipitação do Semestre Chuvoso (P_{sc}), e Precipitação do Trimestre Chuvoso (P_{tc}), Floresta Natural, Formação Natural não Florestal, Agropecuária e Área não Vegetada, com os valores do Coeficiente de Determinação Ajustado (R_a^2) superiores a 0,66. De maneira geral, foram obtidos ajustes satisfatórios em grande parte das estações fluviométricas, sendo que os valores de R_a^2 variaram de 0,49 a 0,75. Analisando de maneira isolada a relação da precipitação e do uso e cobertura da terra no regime de vazões, constatou-se que os regimes de vazões que possuem relação significativa com as precipitações foram: P_a , P_{sc} e P_{tc} , já a relação dos regimes de vazões com as classes de uso e cobertura da terra não foram significativas para nenhuma das áreas de drenagem. Os resultados obtidos confirmam a importância do estudo do regime de vazões na bacia em estudo, visando a adequação dos sistemas de gestão de recursos hídricos à variabilidade do comportamento ao longo do tempo.

ABSTRACT

FERREIRA, Fernanda Laurinda Valadares, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, July, 2019. **Influence of rainfall and land use and coverage without flow regime of the Santo Antônio river basin.** Adviser: Lineu Neiva Rodrigues. Co-adviser: Demetrius David da Silva.

Water is an essential element for the existence of life on the planet, so it is necessary to have knowledge about the elements that alter its dynamics, especially its quality and quantity. In several regions of Brazil, the water scarcity has increased due to the excessive use of this resource, the inefficiency of management programs and variations in the water cycle. Climate change and the intensification of anthropogenic activities in river basins have considerably altered the flow regime, which is a problem for water resource managers, since these are planned considering the hypothesis of stationarity, that is, consider the occurrence of significant changes in hydrological series data over time. In this scenario, the objectives of this study were to model the leakage behavior in land use and land cover functions and to analyze a relationship between changes in rainfall and unused rainfall and land cover without leakage regime of the Santo Antônio river basin, MG. The analysis of land use and land cover in the period from 1985 to 2014 was based on the mapping of the land use and land cover classes using information provided by the Brazilian Land Cover and Land Use Mapping Project - MapBiomas, being processed in the Google Earth Engine (GEE) platform. In order to evaluate the relationship between the land cover dynamics and the flow regime, five classes were considered: Natural Forest or Natural Formation; Planted Forest; Non-Forest Natural Formation; Farming; and Unvegetated Area. To characterize the hydrological behavior, data from six fluviometric stations and 24 rainfall stations were used, which showed influence in the study area. To verify the hypothesis of stationarity in the hydrological data, statistical tests of Run, Mann Kendall and Pettitt were applied, at a significance level of 5%. Multiple regression models for flow estimation were adjusted using precipitation (β_1), and land use and cover (β_2) as explanatory variables. In relation to land use and land use dynamics, it was found that in all areas of drainage the areas of agriculture were already in the process of expansion, with reduction of natural forest areas, and in four drainage areas there was a considerable increase in areas of planted forest. It was also verified that of the six fluviometric stations located in the study area, only one presented data with non-stationary behavior for the annual

minimum flow regime (Q_7), with a tendency of reduction, and for the monthly flows were contacted for the mean flows (Q_{med}) and maximum (Q_{max}) reduction trend for the months of July to September. Regarding the rainfall data, of the stations used, 12 of them presented non-stationary behavior, mostly with a tendency of reduction. From the multiple regression models, the fluvimetric station 56825000, obtained the best data adjustments for Q_{med} , considering the explanatory variables Total Annual Precipitation (P_a); Precipitation of the Rainy Semester (P_{sc}), and Precipitation of the Rainy Quarter (P_{tc}), Natural Forest, Non-Forest Natural Formation, Agriculture and Non Vegetal Area, with Adjusted Determination Coefficient (R_a^2) values greater than 0.66. In general, satisfactory adjustments were obtained in most of the fluvimetric stations, with values of R_a^2 varying from 0.49 to 0.75. By analyzing in isolation the relationship between precipitation and land use and coverage in the flow regime, it was found that the flow regimes that have a significant relationship with rainfall were: P_a , P_{sc} and P_{tc} , and the relation of flow regimes with land use and land cover classes were not significant for any of the drainage areas. The results confirm the importance of the study of the flow regime in the basin under study, aiming the adequacy of water resources management systems to the variability of behavior over time.

1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento natural fundamental para a existência da vida no planeta e, sendo assim, faz-se necessário o conhecimento a respeito dos elementos que alteram a sua dinâmica, destacadamente a sua qualidade e quantidade. O quadro de escassez hídrica tem aumentado em diversas regiões do Brasil em decorrência do uso excessivo deste recurso, da ineficiência dos programas de gestão e das variações no ciclo hídrico (SALIS et al., 2017).

Nas últimas cinco décadas, a área irrigada dobrou, a produção pecuária triplicou e a aquicultura aumentou cerca de 20 vezes, evidenciando um aumento da demanda de água em escala global. Existe a expectativa de que a demanda hídrica continue aumentando de forma expressiva em todo mundo nas próximas décadas, sendo a agricultura o setor que mais demanda água, na ordem de 70% das extrações no planeta. São previstos, ainda, aumentos na demanda hídrica dos setores industriais e de energia, além de uma aceleração no processo de urbanização, o que acaba por requerer grandes volumes de água para o abastecimento e saneamento (UNESCO, 2017).

A insustentabilidade na gestão dos recursos naturais é passível de danos econômicos e sociais (UNESCO, 2016). Para reverter esse cenário, é necessário melhorar o planejamento dos recursos hídricos, aumentando a eficiência na gestão e maximizando o aproveitamento de água. A busca pelo atendimento à crescente demanda dos múltiplos usos da água, principalmente em relação ao alto consumo em concentrações urbanas, indústrias, agricultura e geração de energia, sem causar danos aos recursos naturais, deve ser constante (MONTAÑO; SOUZA, 2016).

As alterações no ciclo hidrológico estão relacionadas às mudanças climáticas e à intensificação das atividades antrópicas. Essas alterações têm resultado na ocorrência de eventos hidroclimáticos extremos com maiores frequências e severidade, como enchentes ou secas (GUPTA; JAIN, 2018; LENG et al., 2015; LIU et al., 2017), implicando em problemas nos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos em todo mundo, pois esses foram projetados e são operados com a hipótese de estacionariedade, ou seja, não consideram mudanças significativas dos dados das séries hidrológicas ao longo do tempo (JIANG et al., 2015; MILLY et al., 2008; VERDON-KIDD; KIEM, 2015).

Nas duas últimas décadas presenciou-se um aumento nos estudos sobre tendências regionais e continentais do ciclo da água em decorrência das mudanças e variabilidade climática (JOSEPH et al., 2013), sendo que diversos estudos realizados recentemente têm confirmado o comportamento não estacionário tanto da precipitação como da vazão em diversas partes do planeta (ISHIDA et al., 2017; JOSEPH et al., 2013; SANTOS et al, 2016).

Estudos realizados por Adnan e Atkinson (2011) e Kibria et al. (2016) apontam que as tendências em séries de dados históricos de vazão estão estreitamente ligadas ao comportamento de forma conjunta ou separada do uso e ocupação da terra e das alterações ocorridas no regime pluviométrico. Mudanças nas distribuições temporais das precipitações em uma região podem estar relacionadas tanto à mudança climática quanto à variabilidade climática (GAO et al., 2018).

A variabilidade e a mudança climática são causadas por processos naturais e antropogênicos, que afetam o processo produtivo e o modo de vida (MARIN; NASSIF, 2013). Sendo a variabilidade climática como uma variação das condições climáticas em torno da média climatológica, e mudança climática é uma tendência de alteração da média no tempo (ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

Modificações no regime de vazões estão sendo observadas em diversos rios em todo mundo como uma resposta às mudanças ambientais (GAO et al., 2012). As alterações no uso da terra podem influenciar de forma expressiva os processos hidrológicos, visto que a transformação de áreas nativas em áreas de construção, agrícolas ou nuas podem ter influência direta no escoamento superficial e na frequência de inundações (ADNAN; ATKINSON, 2011).

Analisar essas mudanças em escala temporal e espacial é essencial para preservar os recursos naturais, sendo o sensoriamento remoto uma técnica que pode ser utilizada para auxiliar no monitoramento, pois fornece informações em larga escala, permitindo assim identificar em tempo real alterações no uso da terra (AIRES et al., 2017).

Diante deste contexto, os objetivos do presente trabalho foram:

- Modelar o comportamento da vazão em função da precipitação e do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio;
- Analisar a relação entre as mudanças ocorridas nas precipitações pluviométricas e no uso e cobertura da terra no regime de vazões da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Comportamento não estacionário dos dados hidrológicos

O comportamento de uma série de dados hidrológicos é considerado como estacionário quando este não possui alterações em seus componentes estatísticos ao longo do tempo e as amostras utilizadas são representativas, não ocorrendo, portanto, tendência positiva nem negativa (SANTOS et al., 2016). Os sistemas de gerenciamento dos recursos hídricos no mundo foram projetados e são operados com a suposição de estacionariedade, tendo a ideia de que os sistemas naturais são imutáveis, ou seja, que as séries não variam ao longo do tempo (JIANG et al., 2015; MILLY et al., 2008; VERDON-KIDD; KIEM, 2015).

A utilização de séries históricas é uma importante ferramenta para se ter uma ideia do que o futuro trará (VILLARINI et al., 2011). A análise espacial de tendências possibilita a identificação dos locais que possuem mudanças no comportamento, podendo assim estimar os possíveis danos dessas alterações nas atividades sociais, ambientais e econômicas, auxiliando nas tomadas de decisões em relação ao risco que se pode ter em virtude das modificações (JOSEPH et al., 2013; SALVIANO et al., 2016).

A não estacionariedade está frequentemente associada às atividades antrópicas, como desvios no curso do rio, barragens para produção de energia elétrica e alterações ocorridas no uso e cobertura da terra. Além disso, algumas das mudanças abruptas nas séries históricas podem estar associadas a mudanças que ocorrem no clima (JIANG et al., 2015; SALVIANO et al., 2016; VILLARINI et al., 2011).

Alguns estudos sugerem que pequenas modificações que ocorrem no clima podem causar mudanças nos extremos hidrológicos (BAJRACHARYA et al., 2018; MILLY et al., 2008). As alterações no ciclo hidrológico geram grandes impactos em relação aos eventos extremos, como secas e inundações (FERREIRA et al., 2015; VILLARINI et al., 2011). Atualmente, uma preocupação global são os impactos referentes às mudanças climáticas e as medidas de adaptação a essas alterações (BAJRACHARYA et al., 2018; ISHIDA et al., 2017; MUDBHATKAL et al., 2017).

Segundo Ferreira et al. (2015), isso implica também em alterações na biodiversidade. A influência das atividades antrópicas pode acarretar em aumento na concentração de dióxido de carbono, proveniente principalmente, da queima de combustíveis fósseis e da retirada das florestas.

Quando se tem um maior intervalo de incerteza na série histórica das precipitações isso indica que o seu comportamento pode ser mais irregular com variações em sua intensidade. As mudanças nas frequências de eventos extremos de precipitação podem agravar os desastres ocasionados pelas chuvas, como movimentos de massa, erosão do solo e inundações (BAJRACHARYA et al., 2018).

Estudos realizados por Salviano et al. (2016) constataram que a precipitação em 70% do território brasileiro apresentou estacionariedade em quase todos os meses. Na Amazônia ocidental foram observadas tendência positiva no período chuvoso e tendência negativa no período seco. Já no Nordeste o período seco apresentou tendências positivas, assim como nos estados de Mato Grosso e Goiás.

Em estudos realizados por Penereiro et al. (2012) para as capitais estaduais do Brasil, constataram que houve tendência para os dados de precipitação pluviométrica, de aumento para as capitais de Curitiba e São Paulo e de redução para Brasília.

Trabalhos realizados sobre precipitações pluviométricas no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, foi constatado que os totais anuais reduziram em 222,2 mm no decorrer dos 82 anos de dados (SANCHES et al., 2013).

Chiaranda et al. (2012), estudando a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, na porção centro sul do Estado do Mato Grosso, as séries temporais de vazão e de precipitação apresentaram ritmos semelhantes, com tendência de diminuição de valores no período de 1962 a 1975 e de aumento no período subsequente.

Sendo assim, o regime de vazões pode sofrer alterações, uma vez que estes são resultados de uma interação entre os inúmeros processos de armazenamento e transporte no contexto do ciclo hidrológico, o que depende da capacidade de infiltração de água no solo e da frequência das precipitações (FERREIRA et al., 2015).

Os componentes do balanço hídrico e a influência das mudanças climáticas têm relação direta com o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos, podendo as variações nas vazões ter influência tanto positiva quanto negativa no planejamento dos recursos hídricos no futuro (BAJRACHARYA et al., 2018).

De acordo com Joseph et al. (2013), a tendência de aumento na vazão em base sazonal e anual, sem ter tendência de aumento similar na precipitação, pode ser explicada por um aumento na frequência de eventos extremos, uma vez que o escoamento de uma chuva com maior intensidade é maior do que múltiplas chuvas de menor intensidade com o mesmo volume total.

Liu et al. (2017) afirmam que as mudanças nas séries de vazões podem estar relacionadas negativamente às ações humanas. Um dos fatores que contribuem para a não estacionariedade das séries de vazões é o uso da terra e as modificações ocorridas na cobertura vegetal (SANTOS et al., 2016). Espera-se que ocorra uma diminuição na vazão com o aumento dos cultivos irrigados, aumento da densidade populacional e do desenvolvimento socioeconômico. Em contra partida, a vazão de pico pode ser aumentada em decorrência da retirada de florestas e da urbanização (LIU et al., 2017).

Para se ter uma adequada gestão dos recursos hídricos a detecção de tendências em séries de vazões e precipitações é de extrema importância (CASAVECCHIA et al., 2016), podendo essas tendências serem detectadas por testes estatísticos (ULIANA et al., 2015). Esses testes estatísticos podem ser aplicados por meio de análises não paramétricas das séries históricas através dos testes de Run, Mann-Kendall e Pettitt (BACK, 2001; GONÇALVES; BACK, 2018).

2.1.1 Teste de Mann Kendall

O teste de Mann-Kendall foi desenvolvido originalmente por Mann (1945) e melhorado por Kendall (1975), e tem como vantagem a simplicidade de aplicação. O teste é robusto, sequencial e não paramétrico, sendo assim não há necessidade que os dados apresentem distribuição normal (SALVIANO et al., 2016), sendo pouco influenciado pelos efeitos de erros extremos e dados brutos (HE et al., 2013).

O teste de Mann-Kendall é recomendado para uso geral pela Organização Meteorológica Mundial (WMO), sendo amplamente utilizado em estudos para detectar tendência de séries temporais de dados hidrológicos e climáticos (HE et al., 2013).

A aplicação do teste de Mann Kendall para uma série de n dados é realizada a partir da somatória dos sinais sgn da diferença, par a par, de todos os valores da série x_i em relação aos valores consecutivos da série de dados x_j , evidenciado na Equação 1 (SALVIANO et al., 2016).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Quando $n \geq 10$, a variável S pode ser comparada com uma distribuição normal, sendo que sua variância $\text{Var}(S)$ pode ser obtida pela Equação 2.

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

em que

t_i = a quantidade de repetições de uma extensão i .

A tendência observada na série histórica poderá ser considerada crescente ou decrescente, de acordo com os valores positivos e negativos do índice Z_{MK} , respectivamente. Conforme o sinal obtido de S , o índice Z_{MK} é calculado pela Equação 3.

$$\begin{aligned} Z_{MK} &= \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{ para } S > 0 \\ Z_{MK} &= 0; \text{ para } S = 0 \\ Z_{MK} &= \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{ para } S < 0 \end{aligned} \quad (3)$$

A série de dados apresenta tendência temporal, ou seja, rejeita-se a hipótese H_a , quando o valor absoluto de Z_{MK} obtido for superior ao valor tabelado $Z_{\alpha/2}$.

2.1.2 Teste de Run

O teste de Run é um teste não paramétrico apresentado por Thom (1966), sendo utilizado para verificar a aleatoriedade dos dados (SALVIANO et al., 2016) e devendo ser aplicado anteriormente ao teste de Mann Kendall.

Em uma série de dados naturalmente ordenada, é realizado a contagem do número de oscilações dos valores acima e abaixo da mediana. O número de oscilações é chamado de Run, e deve-se testar se o valor observado está dentro da faixa de distribuição considerada normal. Se esse valor for alto, indica que a série de dados possui muitas oscilações, e valores baixos indicam um desvio em relação à mediana (BACK, 2001).

Tendo a sequência N_1 símbolos de um tipo e N_2 símbolos de outro tipo, sendo que N_1 e N_2 não são pequenos, a distribuição amostral do número de Runs total pode

ser aproximada pela distribuição normal conforme a Equação 4, e a variância da distribuição pode ser estimada pela Equação 5.

$$E(u) = \frac{2N_1N_2}{N_1+N_2} + 1 \quad (4)$$

$$\text{Var}(u) = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2-N_1-N_2)}{(N_1+N_2)^2(N_1+N_2-1)} \quad (5)$$

Sendo que u representa o número de Runs. Dessa forma, a hipótese nula é de que a distribuição ocorre normalmente e que a amostra é aleatória, podendo ser testada pela estatística da Equação 6, quando Z encontra-se no intervalo tabelado, ele aceita a hipótese de nulidade (CERA; FERRAZ, 2015).

$$Z = \frac{u+E(u)}{\sqrt{\text{Var}(u)}} \quad (6)$$

2.1.3 Teste de Pettitt

O teste de Pettitt (1979) é utilizado para identificação de tendências em séries históricas assim como para a verificação da estacionariedade dos dados. Permitindo ainda identificar o período de ocorrência da mudança no comportamento do regime de vazões e precipitações (VILLARINI et al., 2011).

Pettitt é um teste não paramétrico, uma versão estatística de Mann-Whitnet $U_{t,N}$, aplicado para verificar se duas amostras x_1, \dots, x_t e x_{t+1}, \dots, x_n pertencem a uma mesma população, sendo a estatística do teste $U_{t,N}$ obtida a partir da Equação 7 (ULIANA et al., 2015).

$$U_{t,N} = U_{t-1,N} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(x_t - x_j) \quad \text{para } t=2, \dots, N \quad (7)$$

O valor máximo absoluto de $|U_{t,N}|$ indica a posição do possível ponto de mudança no comportamento da série de dados. Desta forma, a estatística $k_{(t)}$ (Equação 8) representa o ponto de mudança t associado ao nível de significância p (Equação 9).

$$k_{(t)} = \max_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad (8)$$

$$\rho \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6(k_t^2)}{(N^3 + N^2)} \right\} \quad (9)$$

em que

p = valor crítico associado ao nível de significância α ;

N = o número de amostras da série.

Se p for menor que o nível de significância α adotado, a hipótese nula (H_0 = não há mudanças significativas nas séries de dados) é rejeitada.

2.2 Influência das precipitações pluviométricas no regime de vazões

O regime de vazões é capaz de integrar vários componentes de uma bacia hidrográfica (MENDES et al., 2019). A vazão apresenta variações no tempo e pode ser influenciada diretamente pelo clima, sendo a precipitação a variável mais expressiva (SANTOS, 2016; ZHANG et al., 2011).

De acordo com Joseph et al. (2013), a existência de relação entre vazão e precipitação é básica para a hidrologia, no entanto, medir e testar a correlação existente entre elas é importante, pois vários fatores podem interferir nessa relação, sendo esses fatores de interesse para a gestão dos recursos hídricos. A correlação existente entre elas é justificada porque a precipitação é a principal fonte de água para a manutenção dos processos hidrológicos, especialmente para o regime de vazões (MENDES et al., 2019).

De acordo com Mendes et al. (2019), o volume precipitado influencia fortemente no regime de vazões, refletindo no comportamento dessa variável durante os períodos de secas ou inundações. Alguns estudos verificaram que as variações ocorridas no regime de chuvas explicam as tendências ocorridas nas vazões em bacias hidrográficas.

As alterações climáticas tornam os eventos de inundações mais frequentes em algumas regiões (HE et al., 2013). As variáveis hidrológicas como chuva e vazão podem sofrer variações em suas distribuições espaciais e temporais em virtude das mudanças climáticas. Essas variações podem alterar o regime hidrológico de uma

região como o aumento ou diminuição da vazão dos rios, o que acarreta em danos para o ecossistema, produção de alimentos, abastecimento de água e outros (ADAM, et al., 2015).

De acordo com estudos desenvolvidos por Macêdo et al. (2013), com o intuito de avaliar a distribuição da precipitação pluviométrica e da vazão na região do Acre, a distribuição da precipitação pluviométrica na bacia de estudo é flutuante, refletindo diretamente na dinâmica de vazões. Em picos de cheia a precipitação chega a 200 mm/mês e em épocas de estiagem a 9 mm/mês, com valores de vazão de 1.276,9 m³/s, e 4,1 m³/s, respectivamente, associando de forma direta a chuva e a vazão.

Em estudo realizado por Uliana et al. (2015), no município de Alegre, MG, onde dados de precipitação e vazão foram submetidos a testes estatísticos para verificar a existência de tendência, foram identificadas na série de vazões médias tendência positiva no mês de outubro, com mudança no ano de 1963. As séries de precipitação também apresentaram tendência de aumento nos meses de agosto a setembro, a partir dos anos de 1967 e 1964, respectivamente. De acordo com os autores, esse aumento das vazões médias no mês de outubro pode estar relacionado ao aumento das precipitações ocorridas entre os meses de agosto e setembro.

2.3 Influência do uso e cobertura da terra no regime de vazões

As mudanças ocorridas no uso da terra têm um impacto notável na disponibilidade dos recursos hídricos (HE et al., 2013). De acordo Santos et al. (2016), um dos fatores que contribui para que uma série de vazão apresente comportamento não estacionário é o uso da terra e as modificações realizadas na cobertura vegetal.

As características naturais de uma área podem ser modificadas devido a forma de utilização da terra, influenciando na quantidade de água que infiltra, escoar e evapora. Dessa forma, altera o tempo da água no ciclo hidrológico e, conseqüentemente, o comportamento hidrológico de uma bacia. As mudanças mais agressivas no uso e cobertura de uma bacia hidrográfica são a retirada de vegetação natural e a urbanização (BELISARIO, et al., 2017).

Segundo Pruski et al. (2004), os tipos de uso e cobertura da terra exercem influência na interceptação de água da chuva e, quanto maior o percentual de cobertura vegetal e de rugosidade da superfície do solo, menor será o escoamento superficial. O tipo de cobertura do solo é um dos fatores determinantes para o processo de infiltração,

sendo a cobertura vegetal importante no processo de criação de caminhos preferenciais a partir do sistema radicular das plantas, favorecendo o movimento da água ao longo do perfil (PRUSKI et al., 1997).

De maneira mais específica, a cobertura florestal atua na formação de um “pisso florestal” a partir da serapilheira acumulada e incorporada ao solo, fator esse que age de maneira concomitante ao dossel, reduzindo o impacto das gotas de chuva diretamente na superfície, atenuando o processo de selamento superficial e proporcionando uma maior oportunidade de infiltração e percolação da água no solo (PRUSKI et al., 1997; VANZELA et al., 2010).

Um importante efeito desempenhado pela floresta diz respeito ao processo de interceptação da água da chuva pela copa. A cobertura florestal, através desse processo, influencia a redistribuição da água da chuva, onde o dossel das árvores forma um sistema de amortecimento, direcionamento e retenção das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração. Desse modo, a floresta desempenha importante papel na distribuição de energia e de água, diminuindo a quantidade de água da chuva que atinge diretamente o solo (ARCOVA et al., 2003; OLIVEIRA JR; DIAS, 2005).

Quanto maior a biomassa das florestas, maiores serão as perdas evaporativas e, em consequência, pode-se resultar em uma menor produção de água em nível de bacia hidrográfica (HONDA; DURIGAN, 2016) em decorrência da menor recarga dos aquíferos (HONDA; DURIGAN, 2017).

A evapotranspiração de uma bacia hidrográfica florestada engloba três componentes: a evaporação direta (da água do solo, de superfícies líquidas, do orvalho depositado nas folhas etc.), a transpiração e a interceptação (LIMA, 1996). Observa-se, portanto, que a quantidade de água que a floresta devolve para a atmosfera pode representar uma grande diferença na produção de água pela bacia (CARDOSO et al., 2006), impactando seu balanço hídrico.

O uso do solo desempenha grande influência no regime de vazão dos corpos hídricos. Assim, se o solo está recoberto por florestas, sejam elas naturais ou plantadas, com práticas adequadas de conservação e preservação, a água infiltra podendo percolar para os aquíferos, onde esta é armazenada e transportada para os cursos d’água, favorecendo a manutenção dos rios nos períodos de estiagem prolongada. A cobertura florestal também contribui para minimizar o escoamento superficial, por mais que a

vazão nessas áreas sejam menores devido à alta biomassa das florestas, a vazão se mantém praticamente constante durante o ano (HONDA; DURIGAN, 2017).

Em plantios comerciais de eucalipto, as perdas por interceptação são menos quando se comparado com outras espécies arbóreas, de altura e densidade de plantação similar, isso ocorre devido ao menor índice de área foliar, e as taxas de transpiração do eucalipto são geralmente iguais a outras espécies arbóreas (CAVALCANTE, 2011).

Em estudos realizados por Almeida e Soares (2003), com o objetivo de quantificar e comparar o uso de água em sistema de floresta nativa de mata atlântica ao de um plantio de *Eucalyptus grandis*, obterão resultados semelhantes para ambas vegetações.

De acordo com Collischonn et al. (2001) e Silva (2017), o desmatamento de florestas naturais tende a ocorrer o aumento das vazões médias e reduzir as vazões mínimas.

De acordo com Collischonn et al. (2001), quando ocorre a substituição da vegetação natural por áreas de cultivos, os impactos a serem esperados pode ocorrer de forma diferente, em caso de cultura perene, a alteração no escoamento é amenizada em comparação com cultivos anuais, em especial quando não se utiliza o plantio direto.

Em locais de pastagem ou cultivos com solos compactados, sem as devidas práticas de conservação, assim como em solos expostos, o processo de infiltração é reduzido e o impacto direto das chuvas acarreta na desagregação das partículas do solo e produção de sedimentos, sendo estes carregados para os cursos hídricos pela água da chuva que não infiltrou, tendo como consequência a diminuição da vazão em época de estiagem e picos de cheia em época chuvosa. Além disso, a situação se agrava ainda mais em áreas impermeáveis, como zonas urbanas, embora o volume escoado superficialmente seja quantificado como parte da produção hídrica, permanece disponível por um curto período, o que o torna, na prática, indisponível (HONDA; DURIGAN, 2017).

De acordo com Coe et al. (2011), as mudanças ocorridas em decorrência das atividades antrópicas na vegetação, como a substituição da vegetação natural por culturas anuais e pastagens perenes, geralmente resultam em um aumento da vazão. Isso ocorre, pois, a densidade e profundidade radicular, índice de área foliar da planta e duração da fase de crescimento dessas culturas serem reduzidos, ocorrendo uma menor evapotranspiração.

Estudos realizados por Santos et al. (2016) mostram que as alterações ocorridas no uso da terra, a substituição da vegetação natural por pastagem plantada ou culturas agrícolas, além de contribuir para que o tempo de concentração de água precipitada na bacia diminua, reduz a rugosidade, e as abstrações iniciais, o que favorece o aumento das vazões máximas. Segundo estudos realizados por Coe et al. (2011) na região do Araguaia, o desmatamento em virtude da expansão das áreas agrícolas aumentou as vazões médias em cerca de 25% no período estudado.

De acordo com estudos realizados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite por Santos et al. (2010), a retirada da vegetação natural para a expansão da área de agricultura, sendo essas área ocupadas por culturas perenes e anuais, e as técnicas utilizadas de preparo convencional do solo, de forma geral, reduziram a infiltrabilidade do solo, na qual houve uma tendência de aumento das vazões médias.

2.4 Mapeamento do uso e cobertura da terra

Analisar a dinâmica de uso e cobertura da terra é essencial, uma vez que o uso desordenado causa deterioração no ambiente, tendo como consequência erosões em estágios avançados, assoreamento e inundações em cursos d'água, dentre outros. Avaliar essas alterações provocadas pelo homem na paisagem natural é fundamental para organização do espaço e planejamento de políticas públicas. Com a evolução das tecnologias relacionadas ao sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, tornou-se mais viável a obtenção do mapeamento do uso e cobertura da terra (PRADO et al., 2007).

Na atualidade diversos satélites disponibilizam dados provenientes do sensoriamento remoto, com uma vasta gama de resolução espacial e temporal (ROY et al., 2016). A utilização de imagens orbitais vem se consolidando como um importante instrumento nos estudos, na qual proporciona dados sobre feições da superfície terrestre (MAXWELL; SYLVESTER, 2012).

Dessa forma, o sensoriamento remoto consiste em uma ferramenta de grande utilidade para estudos relacionados aos recursos hídricos, uma vez que fornece informações altamente atualizadas e com custos relativamente baixo, facilitando estudos de monitoramento em bacias hidrográficas (ALMEIDA et al., 2018).

É de extrema importância a elaboração e aplicação de metodologias e técnicas para o monitoramento de uso e cobertura da terra ao longo do tempo, uma vez que a

identificação de deterioração ambiental constitui como um indicador para o planejamento, gestão e ordenamento territorial (COSTA et al., 2018).

Sendo assim, a equipe do Projeto de Mapeamento Anual de Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MAPBIOMAS) vem desenvolvendo uma série de metodologias para o monitoramento de uso e cobertura da terra, a partir de técnicas de sensoriamento remoto, na plataforma Google Earth Engine (GEE) (COSTA et al., 2018).

O MAPBIOMAS é uma iniciativa que engloba uma vasta rede de colaboração nas áreas de sensoriamento remoto, SIG, biomas, usos da terra e ciência da computação. Na qual utiliza o processamento em nuvem e classificadores automatizados que são desenvolvidos e operados pelo GEE, em que são gerados uma série histórica de mapas anuais de uso e cobertura da terra do Brasil (MAPBIOMAS, 2018).

Os mapas anuais produzidos pelo MAPBIOMAS de cobertura e uso da terra, são obtidos mediante a classificação pixel a pixel de imagens de satélites Landsat. O processamento com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina é realizado na plataforma GEE (MAPBIOMAS, 2018).

O GEE se configura como uma ferramenta de grande potencial para auxiliar na obtenção de informações de sensoriamento remoto, visto que o processamento ocorre em nuvem e isso diminui consideravelmente o tempo de processamento e do armazenamento de informações. Dentre os produtos disponibilizados por essa plataforma estão a coleção de imagens Landsat, a partir de 1972, para qualquer parte do globo (AIRES et al., 2017).

O GEE, por se tratar de uma plataforma de armazenamento on-line, dispensa a realização de download para realizar as análises de uma imagem, pré-processamento, licenciamento de programas, espaço em disco e outros. Sendo assim, reduz de forma significativa o custo e o tempo necessários para as análises (GIRI et al., 2015).

De acordo com o trabalho desenvolvido por Huang et al. (2017), o GEE se mostrou como uma ferramenta rápida e poderosa para o mapeamento da cobertura da terra, com obtenção de mapas de classificação com precisão de aproximadamente 90%.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, pertencente à bacia hidrográfica do rio Doce (Figura 1). Essa área está totalmente inserida no estado de Minas Gerais. Pela divisão hidrográfica estabelecida pelo Estado, a bacia hidrográfica do rio Santo Antônio constitui a Unidade de Gestão de Recursos Hídricos DO3 (UGRH - DO3 – Santo Antônio).

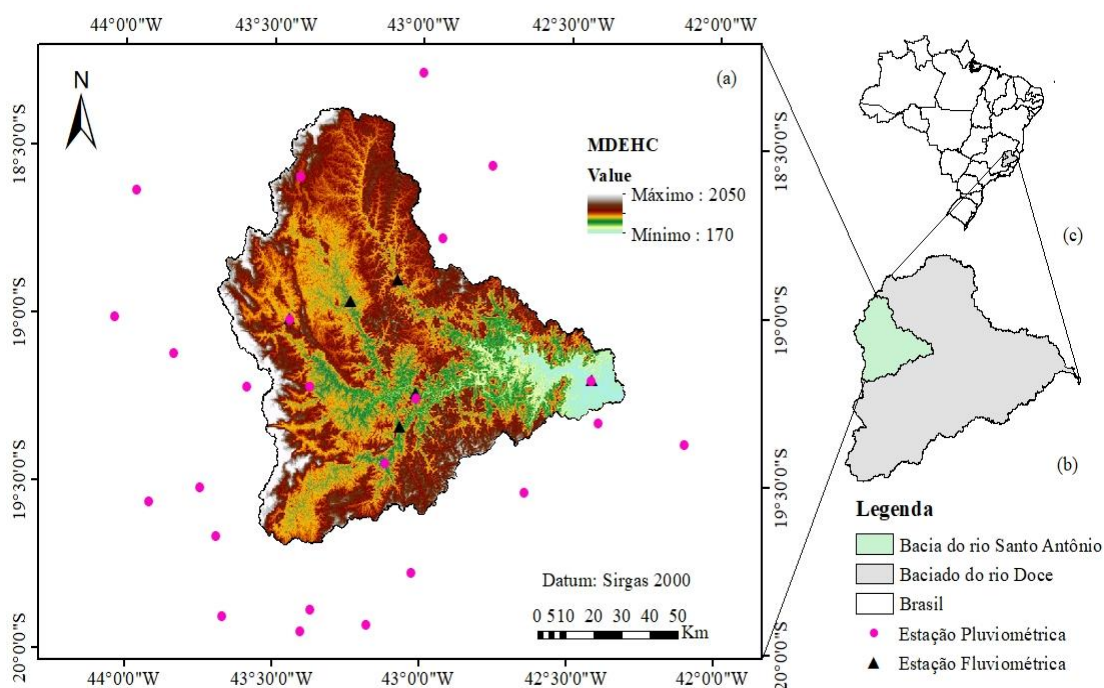


Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, com destaque para as estações pluviométricas e pluviométricas com influência na área de estudo (a), sua localização na bacia do rio Doce (b) e no Brasil (c)

A bacia está localizada na região do Vale do Rio Doce, abrangendo uma área de drenagem de, aproximadamente, 10.429 km², sendo seus cursos d'água principais os rios Santo Antônio, Guanhões, do Peixe, Tanque e Preto do Itambé (IGAM, 2010). Na bacia podem ser encontrados dois Biomas: a Mata Atlântica, com 87%, é o Bioma predominante, e uma pequena área (13%) de Cerrado (Figura 2).

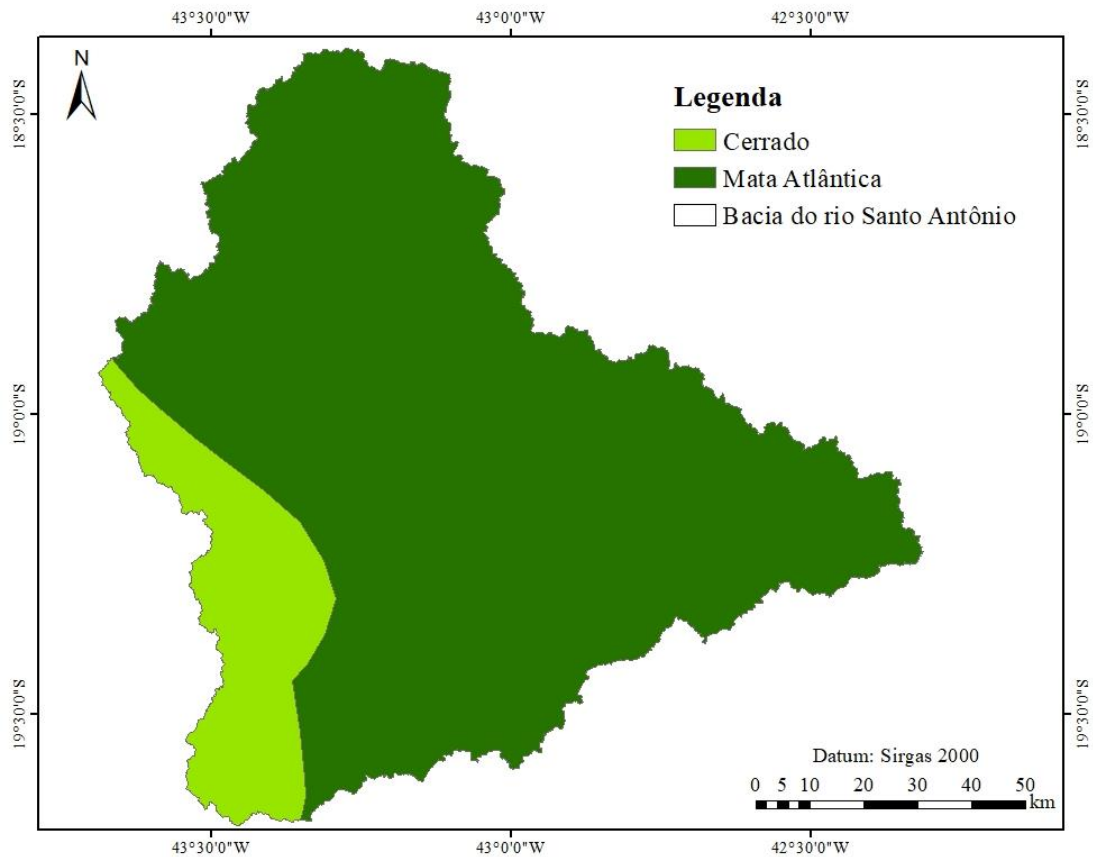


Figura 2 – Biomas da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio

O rio Santo Antônio nasce na Serra do Espinhaço, no município de Conceição do Mato Dentro, e possui uma extensão de 280 km. A UGRH DO3 possui 29 municípios, com 182.000 habitantes. Em relação à atividade econômica destaca-se o setor de serviços, correspondendo a 44% do Produto Interno Bruto (PIB), seguido pelo setor industrial, sendo de relevância a extração de minério de ferro pela companhia Vale do Rio Doce e as indústrias de celulose; no setor da agropecuária as principais atividades exercidas são a pecuária e o cultivo da cana de açúcar, café e milho (CBH-SANTO ANTÔNIO, 2018).

A região onde está inserida a bacia do rio Santo Antônio é suscetível aos processos erosivos em mais da metade de sua área (56%). Os fatores que contribuem para que isso ocorra são o relevo acidentado, as chuvas torrenciais, os solos sensíveis e a atividade mineradora (CBH-SANTO ANTÔNIO, 2018).

Segundo a classificação climática de Köppen, elaborado por Alvares et al. (2013), a área de estudo tem predominância dos climas Aw, CWa e CWb, onde Aw é caracterizado como clima tropical com estação seca no período de inverno; CWa como

clima temperado úmido com inverno seco e verão quente; e CWb como clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado.

A precipitação total anual média da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, entre os anos de 1985 a 2014, após a interpolação dos dados das estações pluviométricas na bacia e na área vizinha está apresentada na Figura 3.

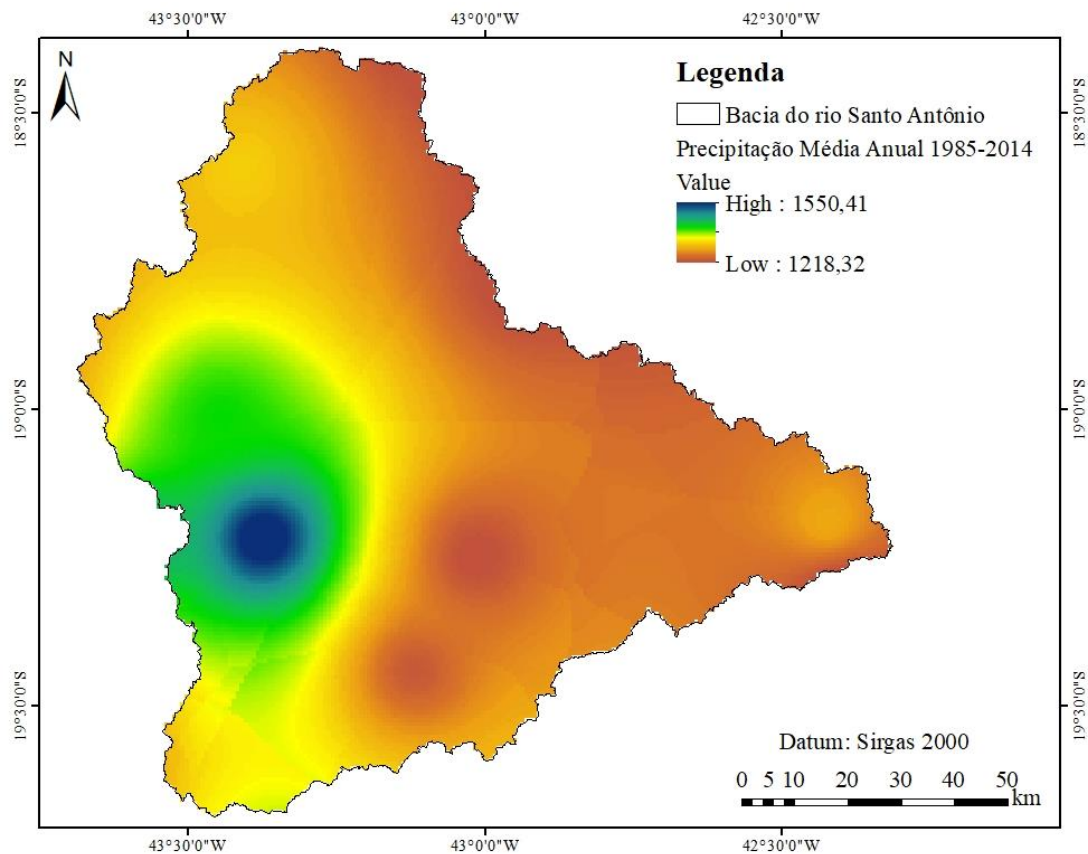


Figura 3 – Precipitação total anual média de 1985 a 2014

Lima (2019), estudando as precipitações médias das unidades de análise da bacia do rio Doce, com período base 1985 a 2015, constatou que a bacia do rio Santo Antônio é uma das sub-bacias do Doce com maiores precipitações médias anuais, sendo esse valor de 1.314,2 mm.

Os tipos de solos predominantes na bacia do Santo Antônio são Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelhos-Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos. O Latossolo Vermelho é caracterizado por solos minerais, de profundidade e são bem drenados; o Latossolo Vermelho-Amarelo são solos profundos e bem drenados de ocorrência nos planaltos dissecados; e o Argissolo Vermelho-Amarelo são solos caulíníticos e com gradiente textural entre os horizontes A e B, que tem uma

condutividade hidráulica menor, assim, quando ocorrem chuvas de grande intensidade, pode ser que ocorra uma rápida saturação do horizonte superficial que é mais arenoso e uma reduzida infiltração de água na superfície do solo, favorecendo assim os processos erosivos (IGAM, 2010).

Na bacia do rio Santo Antônio as outorgas de uso da água superficial pelo Instituto Mineiro de Gestão das águas (IGAM) têm predomínio para o abastecimento público (25,5%); irrigação (19,1%) e aquicultura (10,6%). Embora seja um dos usos mais importantes em termos de retirada de água e número de outorgas, a irrigação não ocorre de forma significativa na UGRH- DO3, sendo distinta das demais unidades da bacia do rio Doce. Tem-se o registro de 1.322 hectares irrigados, correspondendo a cerca de 0,35% da área (IGAM, 2010).

3.2 Obtenção e tratamento da base de dados Hidrológicos

A base de dados com as séries históricas de vazões e precipitações na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio foram obtidas a partir do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA), disponível no endereço eletrônico http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf.

Foram utilizadas seis estações fluviométricas localizadas na bacia (Tabela 1). As estações pluviométricas foram espacializadas obtendo-se, assim, a distribuição espacial das estações na região. Após análise da distribuição espacial, foram obtidas 24 estações pluviométricas (Tabela 2), abrangendo a área da bacia hidrográfica em estudo e as áreas vizinhas, sendo estas obtidas por meio de um buffer, a uma distância de 40 km do limite da região hidrográfica. Para a espacialização foi utilizado *software* ArcGIS® versão 10.5, plataforma ArcMap® - 10.5.

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Anos e nível de consistência	
		Bruto	Consistido
56750000	Conceição do Mato Dentro	2015-2015	1945-2014
56765000	Dom Joaquim	2015-2017	1945-2014
56775000	Ferros	-	1940-2014
56787000	Fazenda Barraca	2015-2015	1965-2014
56800000	Senhora do Porto	2015-2015	1945-2014
56825000	Naque Velho	2015-2017	1974-2014

Tabela 2 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Anos e nível de consistência	
		Bruto	Consistido
01842007	Guanhães*	2006-2018	1945-2005
01842020	São João Evangelista*	2006-2018	1984-2005
01843000	Usina Parauna*	2006-2018	1941-2005
01843011	Serro	2005-2018	1984-2004
01843012	Rio Vermelho*	2006-2018	1984-2005
01942008	Dom Cavati*	2003-2018	1969-2002
01942029	Mario de Carvalho*	2006-2018	1986-2005
01942030	Cenibra / Belo Oriente*	2006-2018	1986-2005
01942032	Naque Velho	2006-2018	1986-2005
01943001	Rio Piracicaba*	2006-2018	1940-2005
01943002	Conceição do Mato Dentro	2006-2018	1941-2005
01943003	Ferros	2006-2018	1941-2005
01943004	Jaboticatubas*	2006-2018	1941-2005
01943007	Santa Bárbara*	2006-2018	1941-2005
01943008	Santa Maria do Itabira	2006-2018	1941-2005
01943010	Caeté*	2006-2018	1941-2005
01943023	Taquaraçu*	2006-2018	1942-2005
01943025	Morro do Pilar	2006-2018	1945-2005
01943027	Usina Peti*	2006-2018	1946-2005
01943035	Vau da Lagoa*	2006-2018	1955-2005
01943042	Fazenda Caraíbas*	2006-2018	1974-2005
01943049	Ponte Raul Soares*	2006-2018	1973-2005
01943100	Nova Era Telemétrica*	2004-2018	2003-2003
01944020	Pirapama*	2006-2018	1958-2005

* Estações Localizadas fora do limite da área de estudo

O período base do estudo foi de 1985 a 2014, sendo utilizado os dados da estação fluviométrica consistidos até o ano de 2014, e para as estações pluviométricas, foram utilizados dados consistidos e brutos, sendo estes a partir de 2005, com exceção das estações Dom Cavati, Nova Era Telemétrica e Serro, que apresentaram dados consistidos até 2002, 2003 e 2004, respectivamente.

A utilização de dados brutos torna-se importante no presente estudo em decorrência da necessidade de séries históricas mais recentes e longas, principalmente para fins de aplicação dos testes de tendência, pois em séries menores as flutuações naturais dos dados hidrológicos podem ser atribuídas como comportamento estacionário (TUCCI, 2002).

Para verificar a consistência dos dados brutos e dos dados que foram preenchidos, foi utilizado o método da curva de dupla massa descrito em Mello e Silva (2013), onde as análises obtidas identificaram a homogeneidade dos dados.

3.2.1 Preenchimento de falhas dos dados hidrológicos

Para o preenchimento de falhas dos dados das estações fluviométricas foi empregado o método da regressão linear simples, conforme recomendado por Bier et al. (2017), considerando-se apenas uma estação de apoio a montante ou a jusante da estação com falha.

Para as séries de precipitação utilizou-se o método da ponderação regional com base em regressões lineares, Equação 10 (JUNQUEIRA et al., 2018). Para a aplicação desse método foram consideradas as quatro estações de apoio mais próximas que não possuíam falhas no mesmo período da estação que necessitou do preenchimento. Foi aplicado como critério na escolha das estações de apoio a obtenção de Coeficiente de Determinação (R^2) maior ou igual a 0,7 entre a estação com falha e a estação de apoio selecionada para fins de preenchimento (BERTONI; TUCCI, 2012).

$$P = \frac{\sum P_i . r_i}{\sum r_i} \quad (10)$$

em que

P_i = precipitação nos postos vizinhos, conhecida;

r_i = coeficiente de regressão linear entre a estação i e a com falha; e

P = precipitação estimada para o período com falha.

3.2.2 Individualização das áreas de drenagem das estações fluviométricas

A bacia hidrográfica em estudo foi dividida de acordo com as áreas de drenagem a montante de cada uma das seis estações fluviométricas, a fim de se avaliar a influência das precipitações e do uso e cobertura da terra no regime de variação de vazões dentro da área de drenagem correspondente a cada estação. O mapeamento com a localização das estações fluviométricas na bacia, bem como a delimitação das áreas de drenagem a partir dessas estações, estão ilustrados na Figura 4. A região que engloba a foz da bacia, com área equivalente a 242,6 km², em decorrência da não existência de estação fluviométrica, não foi considerada nas análises.

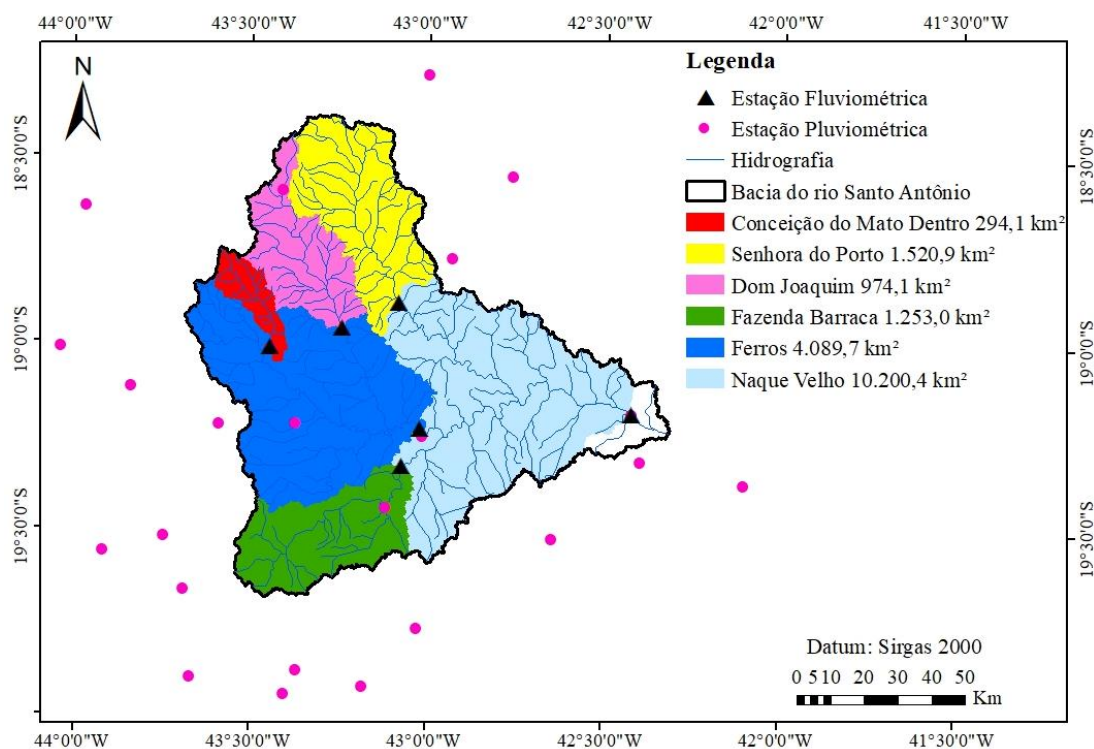


Figura 4 – Estações fluviométricas e respectivas áreas de drenagem na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio

3.2.3 Definição do ano hidrológico

O ano hidrológico utilizado foi definido com base nos dados de vazões mínimas, tendo sido feito um refinamento com base na análise dos meses de ocorrência da Q_7 (vazão mínima de 7 dias consecutivos) para as seis estações fluviométricas utilizadas no estudo. A análise foi realizada para o período base de 1985 a 2014, com o auxílio do software SisCAH 1.0 (Sistema Computacional para Análise Hidrológica), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), disponível gratuitamente no endereço eletrônico <http://www.gprh.ufv.br>, o qual permite a obtenção de um relatório contendo a data de ocorrência da Q_7 para cada ano, auxiliando na identificação do ano hidrológico (GPRH, 2018). No Apêndice A, apresenta-se o percentual das ocorrências da Q_7 nos diferentes meses do ano para cada uma das seis estações fluviométricas localizadas na área de estudo.

Após as análises dos dados de ocorrência de Q_7 para as séries históricas do período base das estações fluviométricas, foi verificado a maior incidência nos meses de setembro e outubro, no entanto, foram observadas ocorrências isoladas em diversos outros meses do ano. Além disso, foram realizados cálculos para obtenção das Q_7

mensais para cada uma das estações fluviométricas e uma média mensal das Q_7 para essas estações (Figura 5). Assim, o ano hidrológico para a bacia do rio Santo Antônio foi definido como sendo de novembro a outubro, com semestre chuvoso concentrado nos meses de novembro a abril e o semestre seco de maio a outubro. O trimestre chuvoso, foi definido entre os três meses mais chuvosos, sendo esse período compreendido entre os meses de novembro a janeiro, e o trimestre seco, sendo com os meses com menor precipitação, que foi entre os meses de maio a julho.

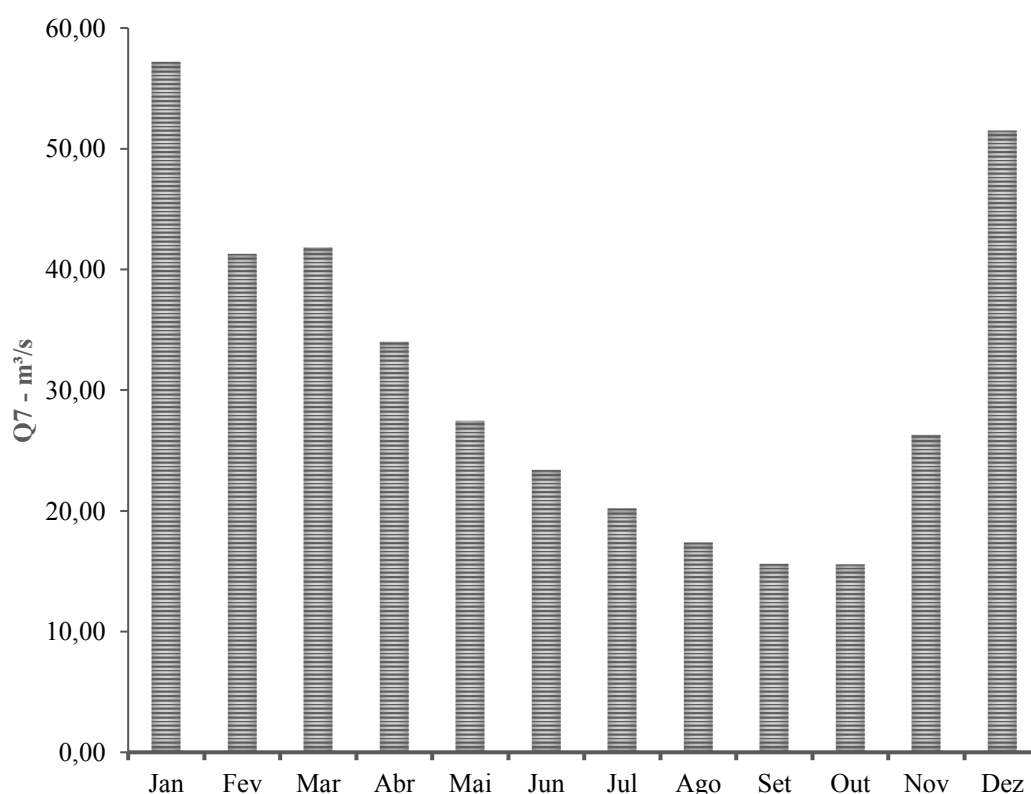


Figura 5 – Hidrograma das médias de Q_7 para as seis estações fluviométricas na área de estudo

3.2.4 Determinação das vazões e precipitações de referência

As vazões anuais e mensais utilizadas no presente estudo foram: a Vazão média (Q_{med}), Vazão máxima (Q_{max}) e Vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7), obtidas com o auxílio do software SisCAH. Já os dados de precipitação utilizados foram: Precipitação Total Anual (P_a); Precipitação do Semestre Chuvoso (P_{sc}); Precipitação do Trimestre Chuvoso (P_{tc}); Precipitação do Mês mais Chuvoso (P_{mc}); Precipitação do Semestre Seco (P_{ss}); Precipitação do Trimestre Seco (P_{ts}); e

Precipitação do Mês mais Seco (P_{ms}), sendo estas obtidas em planilhas eletrônicas do software Microsoft Excel.

3.3 Análise de estacionariedade das séries históricas de vazão e precipitação

Para analisar a tendência dos dados de vazão e precipitação aplicou o teste de Run, a fim de avaliar a aleatoriedade da série. Em seguida, aplicou-se o teste de Mann-Kendall para avaliar se as séries de dados fluviométricos e pluviométricos apresentavam tendência temporal de alteração estatística significativa, podendo tais mudanças serem positivas ou negativas. Esse teste foi aplicado com o intuito de checar a hipótese nula, que deve ser rejeitada para que exista tendência na série de dados. O teste de Pettitt foi adotado para confirmar ou não a estacionariedade da série histórica e localizar o ponto onde ocorreu a mudança em casos de não estacionariedade. Os testes não paramétricos de Mann Kendall e Pettitt foram aplicados considerando-se um nível de significância de 5% (MUDBHATKAL et al., 2017).

Os cálculos associados a todos os testes de tendência foram desenvolvidos em ambiente R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018), por meio dos pacotes: “randtests” função “runs.test”, “Kendall” função “MannKendall” e “trend” função “pettitt.test”.

A análise de tendência foi realizada para estudar o comportamento das vazões e das precipitações em cada uma das áreas de drenagem de cada uma das seis estações fluviométricas ao longo do tempo. Para isso, foi verificada a hipótese de estacionariedade considerando o ano hidrológico para todas as variáveis hidrológicas.

3.4 Espacialização da precipitação

Para estimativa das precipitações ocorridas em cada uma das áreas de drenagem das seis estações fluviométricas, calculou-se a precipitação média considerando-se todas as estações pluviométricas disponíveis. Para isto, os dados das 24 estações pluviométricas foram espacializados utilizando-se o método de interpolação da Ponderação do Inverso da Distância (IDW), com potências variando de 1 a 6. Esse método considera que o valor da variável a ser estimada em uma posição qualquer é calculada pela combinação linear de valores registrados pelos “n” pontos vizinhos mais próximos ponderados pelo inverso da sua distância elevada a uma potência (ATTORRE et al., 2007; CARUSO; QUARTA, 1998), conforme a Equação.

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{Z_j}{d_{ij}^k} \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{d_{ij}^k} \right)} \quad (11)$$

em que

Z_i = precipitação interpolada no ponto i (mm);

d_{ij} = distância entre os pontos i e j ;

Z_j = precipitação medida no ponto j (mm);

n = número de pontos usados na interpolação; e k é a potência utilizada.

A verificação da acurácia do interpolador utilizado para espacializar as precipitações, a partir das diferentes potências, foi realizada por meio de validação cruzada (CARUSO; QUARTA, 1998). Este procedimento consiste na aplicação do mecanismo denominado *leave one out*, ou seja, foi removido um ponto (estação) por vez, e aplicou-se o interpolador avaliado no intuito de prever o valor da precipitação no ponto onde estava localizada a estação, de modo que todas as estações que foram retiradas da amostra tiveram o seu valor predito (interpolado), e retornaram à amostra afim de compará-lo ao valor real da variável. Para avaliar a precisão dos valores estimados por IPD (E_i) em relação aos dados de precipitação reais (O_i) foi utilizado o avaliador estatístico raiz do erro quadrático médio (REQM) (Equação 12).

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{n}} \quad (12)$$

em que

REQM = raiz do erro quadrático médio (mm);

O_i = valor de precipitação real (mm);

E_i = valor de precipitação estimado (mm); e

n = número de observações.

3.5 Uso e Cobertura da terra

O mapeamento do uso e cobertura da terra para cada uma das áreas de drenagem da bacia foi realizado com o intuito de observar se as mudanças que ocorreram no uso e cobertura da terra promoveram alterações no regime fluviométrico da bacia ao longo do período estudado. Essa comparação foi realizada com base no princípio de que a medida em que se altera a cobertura vegetal natural, possivelmente, ocorrem alterações na dinâmica da água na bacia.

A partir das informações fornecidas pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil – MapBiomias (MAPBIOMAS, 2018), foram elaborados mapas para avaliação das classes de uso e cobertura da terra. Todo o mapeamento tem como referência imagens da série de satélites Landsat, com resolução de 30 metros (COSTA et al., 2018). A equipe do MapBiomias disponibiliza esses mapas anualmente, sendo atualmente disponível para o período de 1985 até 2017.

Neste trabalho foram utilizados mapas de 1985 até 2014, sendo analisados e processados por meio do *software* ArcGIS® versão 10.5, plataforma ArcMap® - 10.5. Obtidas as classificações de uso da terra, foram feitas algumas adaptações com o intuito de agrupar algumas classes de uso e cobertura da terra. Foram consideradas cinco classes: Floresta Natural ou Formação Natural (formação florestal e formação savânica); Floresta Plantada; Formação Natural não Florestal (formação campestre e outra formação natural não florestal); Agropecuária (agricultura e pastagem); e Área não Vegetada (infraestrutura urbana, afloramento rochoso, mineração e outras áreas não vegetadas).

De acordo com o MapBiomias cada classe possui uma descrição para os diferentes biomas. Na área de estudo são encontrados dois biomas, o Cerrado e a Mata Atlântica, foram descritos na Tabela 3 as classes de uso presente na área para esses dois biomas.

Tabela 3 - Descrição das classes de uso para o Cerrado e Mata Atlântica

Classes	Cerrado	Mata Atlântica
Formação Florestal	Predomínio de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), e florestas estacionais semidecíduais.	Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea.

Continua...

Tabela 3 – Continuação...

Classes	Cerrado	Mata Atlântica
Formação Savânica	Formações savânicas com estratos arbóreo e herbáceos definidos (Cerrado Sentido Restrito e Parque de Cerrado).	Savanas, Savanas-Estépicas Florestadas e Arborizadas.
Floresta Plantada	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais.	
Formação Campestre (Campo)	Formação campestre com predominância de estrato herbáceo (campo sujo, campo limpo e campo rupestre).	Savanas e Savanas-Estépicas Parque e Gramíneo-Lenhosa, Estepe e Pioneiras Arbustivas e Herbáceas.
Agropecuária	Área de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.	
Infraestrutura Urbana	Áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções.	
Afloramento Rochoso	Rochas naturalmente expostas e na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola.	Rochas naturalmente expostas e na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola e alta declividade.
Mineração	Área referente a extração mineral de grande porte, havendo clara exposição do solo por ações de maquinário pesado. Somente áreas pertencentes a malha digital do DNPM.	
Outra Área não Vegetada	n.a.	Áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.

Fonte: Adaptado MapBiomias.

Para análise da estacionariedade dos dados de classificação de uso e cobertura da terra foram aplicados os testes estatísticos de Run, Mann Kendall e Pettitt, para verificar se possuem tendência temporal de alteração estatística significativa, podendo estas serem negativas ou positivas, a um nível de significância de 5%.

Os cálculos associados a todos os testes de tendência foram desenvolvidos em ambiente R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018), por meio dos pacotes: “randtests” função “runs.test”, “Kendall” função “MannKendall” e “trend” função “pettitt.test”.

3.6 Dados de volume de água outorgado

Os dados de outorga na área de estudo foram obtidos junto ao IGAM, sendo as portarias da UGRH - DO3 – Santo Antônio, identificadas uma a uma no período de 2000 a 2014. Posteriormente, realizou-se a extração das informações das outorgas, a localização, ponto e tipo de captação, corpo d'água, finalidade do uso, validade das mesmas, validação da vazão outorgada.

As outorgas foram categorizadas nos seguintes usos: Abastecimento público, Irrigação, Consumo humano, Extração mineral, Lavagem de veículo e Processos industriais.

Na Figura 6 estão apresentadas as outorgas superficiais levantadas no estudo e conferidas, no período de 2000 a 2014, onde estão representadas 163 outorgas. Os valores obtidos do volume de água outorgado foi um valor total anual. Na bacia do rio Santo Antônio, as outorgas superficiais foram concedidas a partir de 2002.

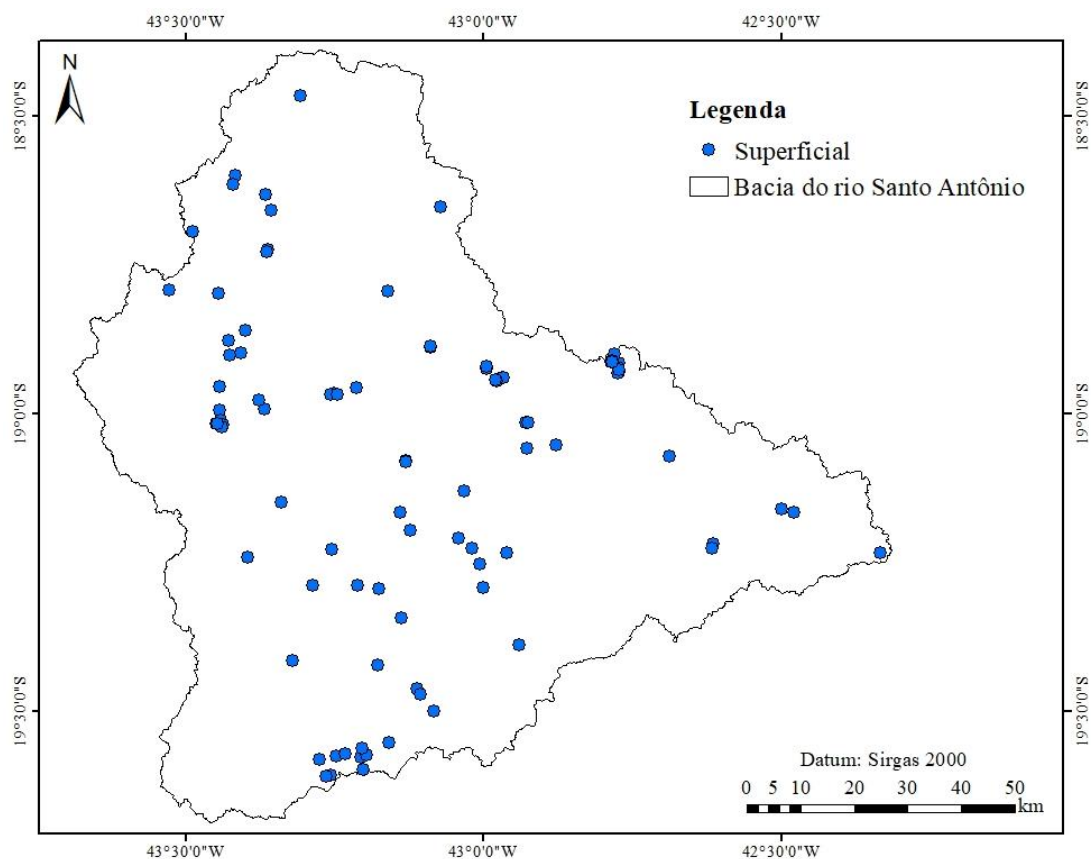


Figura 6 - Outorgas na área de estudo, no período de 2000 a 2014

3.7 Relação entre as mudanças nas precipitações pluviométricas e no uso e cobertura da terra no regime de vazão

Para analisar a relação entre as mudanças ocorridas na precipitação pluviométrica, assim como no uso e cobertura da terra, no regime de vazões da bacia hidrográfica do Santo Antônio, foram analisadas as relações entre as seguintes variáveis de precipitações e vazões: Q_{med} com P_a , P_{ms} , P_{ss} , P_{ts} , P_{sc} , P_{tc} e P_{mc} ; Q_7 com P_a , P_{ms} , P_{ss} , P_{ts} , P_{sc} , P_{tc} e P_{mc} ; e Q_{max} com P_a , P_{ms} , P_{ss} , P_{ts} , P_{sc} , P_{tc} e P_{mc} . E entre as variáveis de uso e cobertura da terra e vazões: Q_{med} , Q_7 e Q_{max} com Floresta Natural, Floresta Plantada, Formação Natural não Florestal, Agropecuária e Área não Vegetada.

No Apêndice B estão apresentados os fluviogramas das vazões mínimas, máximas e médias para cada uma das seis estações fluviométricas utilizadas neste estudo.

De acordo com Figueiredo Filho et al. (2014), o Coeficiente de Correlação (R) é utilizado para medir a associação entre duas variáveis numéricas. Segundo Loureiro e Gameiro (2011), o R tem associado o R^2 , na qual indica a proporção (%) de variação em y que é explicada em x e vice-versa. Sendo assim, se $R = 0,70$, $R^2 = 0,49$. Para Dancey e Reidy (2005), a magnitude dos coeficientes de $R = 0,70$ até 1, é classificada como forte.

A partir disso, para fins de modelagem foram realizadas análises de regressão linear simples para verificar o efeito isolado tanto da precipitação como do uso e cobertura da terra nas vazões. Foi considerado que para se ter relação significativa o R^2 tem que ter um valor acima de 0,49 e Valor- $p < 0,05$.

3.8 Análise da influência das alterações no uso e cobertura da terra e na precipitação pluviométrica nos regimes de vazões

As séries temporais de valores de área correspondentes a cada classe de uso e cobertura da terra e das precipitações foram confrontadas com as vazões por meio de análises de regressão múltipla (Equação 13) na tentativa de ajustar equações que correlacionem as variáveis, de forma a tornar possível as simulações de diferentes cenários futuros.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} \quad i = 1, \dots, n \quad (13)$$

em que

$x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$ = valores das variáveis explicativas conhecidas; e

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ = coeficientes da regressão.

As variáveis explicativas que foram empregadas no ajuste dos modelos de regressão múltipla foram as precipitações e as áreas de cada uso e cobertura da terra, e as vazões foram utilizadas como variável dependente (y), conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis dependentes e independentes utilizadas nos modelos de regressão múltipla

Variável dependente (y)	Variáveis independentes (x)	
	Variável independente 1	Variável independente 2
Q_{med}	P total anual (mm) (P_a)	Floresta Natural (%)
		Floresta Plantada (%)
		Formação Natural não Florestal (%)
		Agropecuária (%)
		Área não Vegetada (%)
P do semestre mais chuvoso (mm) (P_{sc})	P do semestre mais chuvoso (mm) (P_{sc})	Floresta Natural (%)
		Floresta Plantada (%)
		Formação Natural não Florestal (%)
		Agropecuária (%)
		Área não Vegetada (%)
P do semestre mais seco (mm) (P_{ss})	P do semestre mais seco (mm) (P_{ss})	Floresta Natural (%)
		Floresta Plantada (%)
		Formação Natural não Florestal (%)
		Agropecuária (%)
		Área não Vegetada (%)
P do trimestre mais chuvoso (mm) (P_{tc})	P do trimestre mais chuvoso (mm) (P_{tc})	Floresta Natural (%)
		Floresta Plantada (%)
		Formação Natural não Florestal (%)
		Agropecuária (%)
		Área não Vegetada (%)
P do trimestre mais seco (mm) (P_{ts})	P do trimestre mais seco (mm) (P_{ts})	Floresta Natural (%)
		Floresta Plantada (%)
		Formação Natural não Florestal (%)
		Agropecuária (%)
		Área não Vegetada (%)

Continua...

Tabela 4 – Continuação...

Variável dependente (y)	Variáveis independentes (x)	
	Variável independente 1	Variável independente 2
Q _{med}	P do mês mais seco (mm) (P _{ms})	Floresta Natural (%)
		Floresta Plantada (%)
Q _{max}	P do mês mais chuvoso (mm) (P _{mc})	Formação Natural não Florestal (%)
		Agropecuária (%)
Q ₇	P total anual (mm) (P _a)	Área não Vegetada (%)
		Floresta Natural (%)
Q _{max}	P do semestre mais chuvoso (mm) (P _{sc})	Floresta Plantada (%)
		Formação Natural não Florestal (%)
Q ₇	P do trimestre mais chuvoso (mm) (P _{tc})	Agropecuária (%)
		Área não Vegetada (%)
Q ₇	P do mês mais chuvoso (mm) (P _{mc})	Floresta Natural (%)
		Floresta Plantada (%)
Q ₇	P do semestre mais chuvoso (mm) (P _{sc})	Formação Natural não Florestal (%)
		Agropecuária (%)
Q ₇	P total anual (mm) (P _a)	Área não Vegetada (%)
		Floresta Natural (%)
Q ₇	P do semestre mais chuvoso (mm) (P _{sc})	Floresta Plantada (%)
		Formação Natural não Florestal (%)

Continua...

Tabela 4 – Continuação...

Variável dependente (y)	Variáveis independentes (x)	
	Variável independente 1	Variável independente 2
Q ₇	P do semestre mais chuvoso (mm) (P _{sc})	Formação Natural não Florestal (%) Agropecuária (%) Área não Vegetada (%)
	P do semestre mais seco (mm) (P _{ss})	Floresta Natural (%) Floresta Plantada (%) Formação Natural não Florestal (%) Agropecuária (%) Área não Vegetada (%)
	P do trimestre mais chuvoso (mm) (P _{tc})	Floresta Natural (%) Floresta Plantada (%) Formação Natural não Florestal (%) Agropecuária (%) Área não Vegetada (%)
	P do trimestre mais seco (mm) (P _{ts})	Floresta Natural (%) Floresta Plantada (%) Formação Natural não Florestal (%) Agropecuária (%) Área não Vegetada (%)
	P do mês mais seco (mm) (P _{ms})	Floresta Natural (%) Floresta Plantada (%) Formação Natural não Florestal (%) Agropecuária (%) Área não Vegetada (%)
	P do mês mais chuvoso (mm) (P _{mc})	Floresta Natural (%) Floresta Plantada (%) Formação Natural não Florestal (%) Agropecuária (%) Área não Vegetada (%)

3.8.1 Avaliação dos modelos de regressão múltipla

A verificação do ajuste dos Modelos de Regressão Múltipla (MRL) foi realizada considerando os valores obtidos para o Coeficiente de Determinação Ajustado (R_a^2), que varia de 0 a 1, sendo que 1 representa ajuste perfeito dos dados.

O uso do R_a^2 possibilita uma melhor interpretação da exatidão do modelo, principalmente em equações que envolvam um número maior de variáveis independentes. Isto porque a inclusão de variáveis explicativas no modelo, mesmo que

tenham pouca relação explicativa com a variável dependente, aumenta o valor do R^2 . Este problema foi contornado com a utilização do R_a^2 , pois esse faz um ajuste considerando a inclusão de mais variáveis, conforme a Equação 14, descrita por Gonçalves et al. (2018).

$$R_a^2 = 1 - \frac{n-1}{n-(k+1)} (1 - R^2) \quad (14)$$

em que

n = número de valores observados;

k = quantidade de variáveis explicativas do modelo; e

R^2 = coeficiente de determinação.

Nota-se que a inclusão de mais variáveis com pouco poder explicativo resulta em uma diminuição do R_a^2 , pois aumenta a quantidade de variáveis k, sem aumentar substancialmente o R^2 .

Na avaliação dos MRL também foi realizada a análise de variância (ANOVA), para estudo da significância do modelo, e o teste t *student* para analisar quais variáveis explicativas (parâmetros β) acrescentaram informações relevantes aos modelos que apresentaram o melhor desempenho.

Foi adotado o nível de significância (α) de 10%, por representar um risco aceitável, devido à grande variabilidade natural entre as variáveis utilizadas nos modelos (SUN et al., 2017).

3.8.3 Validação dos modelos

Segundo Grimm et al. (2017), a validação cruzada é utilizada para comparar muitos modelos e para evitar um ajuste excessivo. Com o objetivo de se ter valores de critérios de desempenho livre do efeito de “over-training”, avaliou-se o desempenho do conjunto de treinamento através de uma validação cruzada k-folds (VEHTARI et al., 2017) com repetições, k=10. O procedimento adotado: (1) o conjunto de treinamento é particionado aleatoriamente em k partes, k=10; (2) uma das partes foi retirada do conjunto original, dessa forma gerando um novo conjunto de treinamento composto por k-1 partes; (3) após o modelo ser ajustado, seu desempenho foi avaliado

realizando a predição para a parte mantida de fora e seu resultado foi armazenado; (4) as etapas 2 e 3 foram realizadas para k-1 partes restantes.

3.8.4 Desempenho e análise estatística dos modelos

Para avaliar o desempenho do MRL obtido foram utilizados os seguintes índices estatísticos: erro médio absoluto (MAE); erro médio (MBE) e índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) (NASH; SUTCLIFFE, 1970; WILLMOTT; MATSUURA, 2005).

O MAE atribui o mesmo peso a todos os erros, fornecendo um panorama da magnitude do erro (CHAI; DRAXLER, 2014). O NSE varia de $-\infty$ e 1, onde valor igual ou menor a 0 indica um modelo com desempenho inaceitável, e quando próximo de 1 indica um modelo perfeito (ZHONG, DUTTA, 2015). Segundo Ritter e Muñoz-Carpena (2013), o valor limite para uma eficiência aceitável do modelo é de um NSE superior a 0,65, para Moriasi et al. (2007) valores acima de 0,50 são considerados como satisfatórios, e Silva et al. (2008), um NSE acima de 0,36 pode ser considerável como um desempenho aceitável.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de tendência

4.1.1 Séries de vazão e precipitação

Com a aplicação do Teste de Run às séries de dados anuais e mensais de vazão e anuais de precipitação da bacia do rio Santo Antônio, constatou-se que as séries temporais são independentes e aleatórias. Os testes não paramétricos de Mann Kendall e Pettitt foram aplicados aos dados para todas as estações analisadas, sendo os resultados apresentados no Apêndice C.

Das 24 estações pluviométricas utilizadas no estudo, 12 delas apresentaram comportamento não estacionário no período de estudo. Na Figura 7 estão apresentadas as localizações das estações pluviométricas e as que possuem comportamento não estacionário na bacia do rio Santo Antônio.

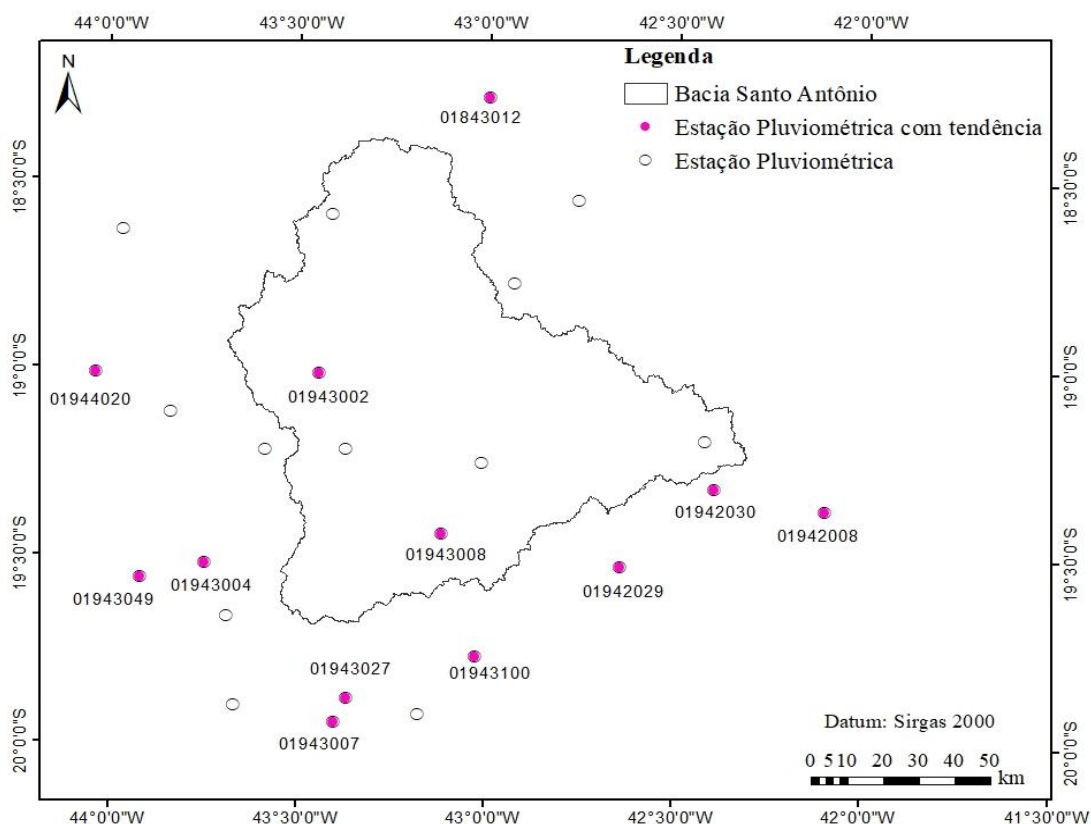


Figura 7 – Estações pluviométricas, com destaque na cor rosa para as estações que apresentaram comportamento não estacionário

Os dados da estação 01943004 apresentaram tendência de redução da precipitação do trimestre seco e do semestre seco. Além desta, os dados da estação

01943100 apresentaram comportamento não estacionário com tendência de redução em dois regimes de precipitação, a do trimestre seco e do mês seco, e os dados da estação 01944020 apresentaram comportamento não estacionário com tendência de redução nos regimes de precipitação do total anual, semestre chuvoso e semestre seco. No entanto, essas estações estão fora da bacia hidrográfica em estudo, sendo pouco representativas.

O período de ocorrência das mudanças no comportamento das séries de dados de precipitação são distintos (Tabela 5). Os dados das estações 01943027 e 01942030 possuem período de mudança semelhante na precipitação do mês seco (1993), as estações 01943100 e 01942029 possuem período de mudança semelhante na precipitação do trimestre seco (1994), e as estações 01943049 e 01944020 possuem período de mudança semelhante para o semestre seco (1998).

Tabela 5 – Estações que apresentaram tendência nas séries históricas anuais de precipitações e pontos de mudança

Estação	Variável	Tendência	Mudança
01843012	Mês seco	Positiva	1998
01942029	Trimestre seco	Negativa	1994
01943004	Semestre seco	Negativa	1997
	Trimestre seco	Negativa	2005
01943027	Mês seco	Negativa	1993
01943100	Trimestre seco	Negativa	1994
	Mês seco	Negativa	2002
01942030	Mês seco	Negativa	1993
01943002	Mês seco	Negativa	1992
01943008	Mês seco	Negativa	2005
01943049	Semestre seco	Negativa	1998
	Total anual	Negativa	1996
01944020	Semestre chuvoso	Negativa	1996
	Semestre seco	Negativa	1998
01943007	Total anual	Positiva	1995
	Semestre chuvoso	Positiva	1995
01942008	Mês chuvoso	Positiva	1991

As tendências nas séries de dados das precipitação em sua maioria se concentraram nos períodos mais secos. No entanto, as vazões de um modo geral independem das precipitações que ocorrem durante o período mais seco do ano, pois nessa época o solo encontra-se com elevado déficit de umidade, fazendo com que a

precipitação fique retida na zona não saturada do solo, não atingindo o lençol freático (NOVAES et al., 2009).

De acordo com estudo desenvolvido por Santos et al. (2016) na bacia hidrográfica do Rio pardo, localizada entres os Estados de São Paulo e Minas Gerais, não foram encontradas tendência significativa de aumento ou redução nas precipitações para o período chuvoso.

Embora a chuva exerça uma influência ponderada nas vazões, foram realizadas análises de tendência das chuvas nas vazões.

Para cada uma das seis áreas de drenagem foi realizado a espacialização pelo método IDW, obtendo a precipitação média para todos os regimes de precipitações. No entanto, com os dados interpolados o regime das precipitações obteve comportamento estacionário.

Quando analisado os dados de vazões anuais, apenas a estação 56800000 apresentou comportamento não estacionário para vazão mínima, com tendência de redução, e ponto de mudança no ano de 1996 (Figura 8). Para os dados anuais de vazões média e máxima, nenhuma das estações fluviométricas apresentou comportamento não estacionário.

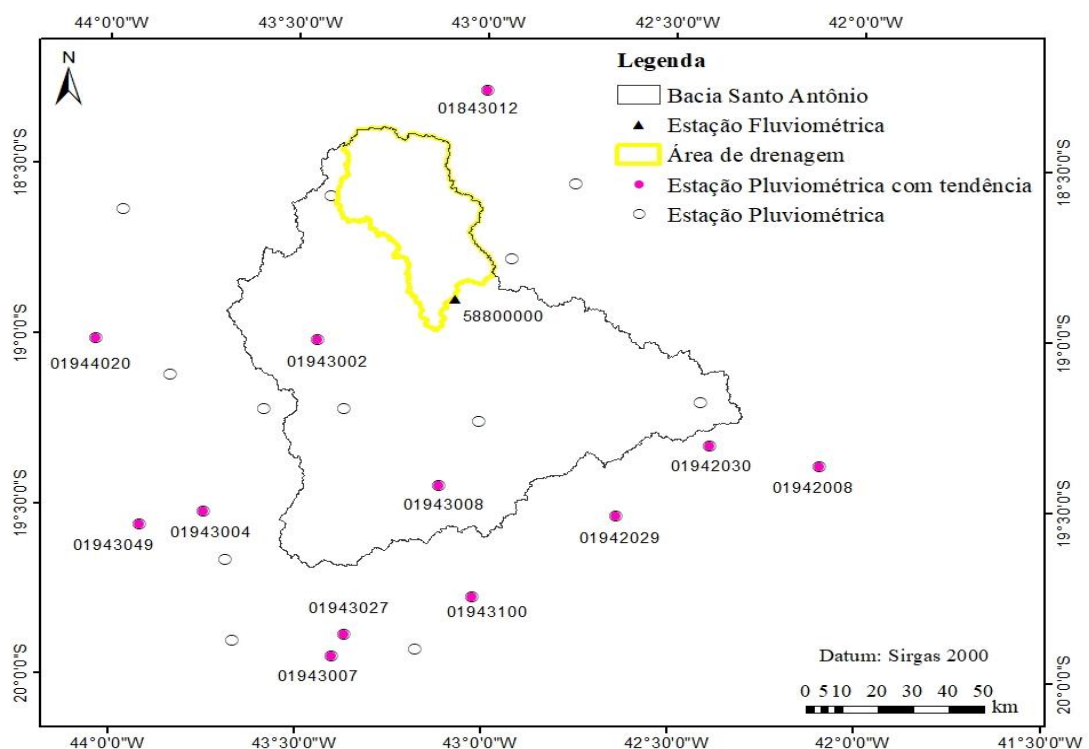


Figura 8 – Área de drenagem da estação fluviométrica 56800000 com destaque para as estações pluviométricas que apresentaram comportamento não estacionário

As estações pluviométricas mais próximas da área de drenagem da estação fluviométrica 56800000 são as seguintes: 01842007, 01843012, 01843011, 01842020 e 01943002. No entanto, apenas os dados das estações 01943002 e 01843012 apresentaram tendência significativa. A estação 01943002 teve comportamento não estacionário com tendência de redução na precipitação do mês seco e a estação 01943012 o comportamento foi de aumento para a precipitação no mês seco.

O que mantém as vazões ao longo do ano são as precipitações que ocorrem no período chuvoso, a tendência de redução da Q_7 na estação 56800000, que ocorreu em 1996, possivelmente não está relacionada a tendência de redução da precipitação dos dados da estação 01943002 que ocorreu para a P_{ms} em 1992, uma vez que também a área de influência dessa estação é muito pequena na área de drenagem sendo pouco representativa.

Quando analisada a série dos dados mensais das vazões, observou-se que os dados de Q_7 apresentaram comportamento estacionário. Já para os dados de Q_{med} e Q_{max} , para alguns meses, o comportamento foi não estacionário, com tendência de redução (Tabela 6).

Tabela 6 – Estações que apresentaram tendência nas séries históricas mensais de vazões e anos de ocorrência das mudanças

Variável	Mês	Estação	Tendência	Mudança
Vazão Média	Setembro	56750000	Negativa	1997
	Julho	56750000	Negativa	1995
		56750000	Negativa	1993
Vazão Máxima	Agosto	56775000	Negativa	1993
		56787000	Negativa	2005
	Setembro	56750000	Negativa	2002
		56787000	Negativa	2005

As modificações nos dados das séries de vazões foram observadas nas estações 56775000, 56787000, 56750000 (Figura 9) e ocorreram entre os meses de julho e setembro, no período seco do ano (Tabela 6).

Segundo Santos (2016), nos períodos mais secos do ano, a precipitação tem uma redução e embora ocorra uma diminuição nas taxas de evapotranspiração, as plantas continuam seus processos fisiológicos, reduzindo de forma considerável as vazões dos rios.

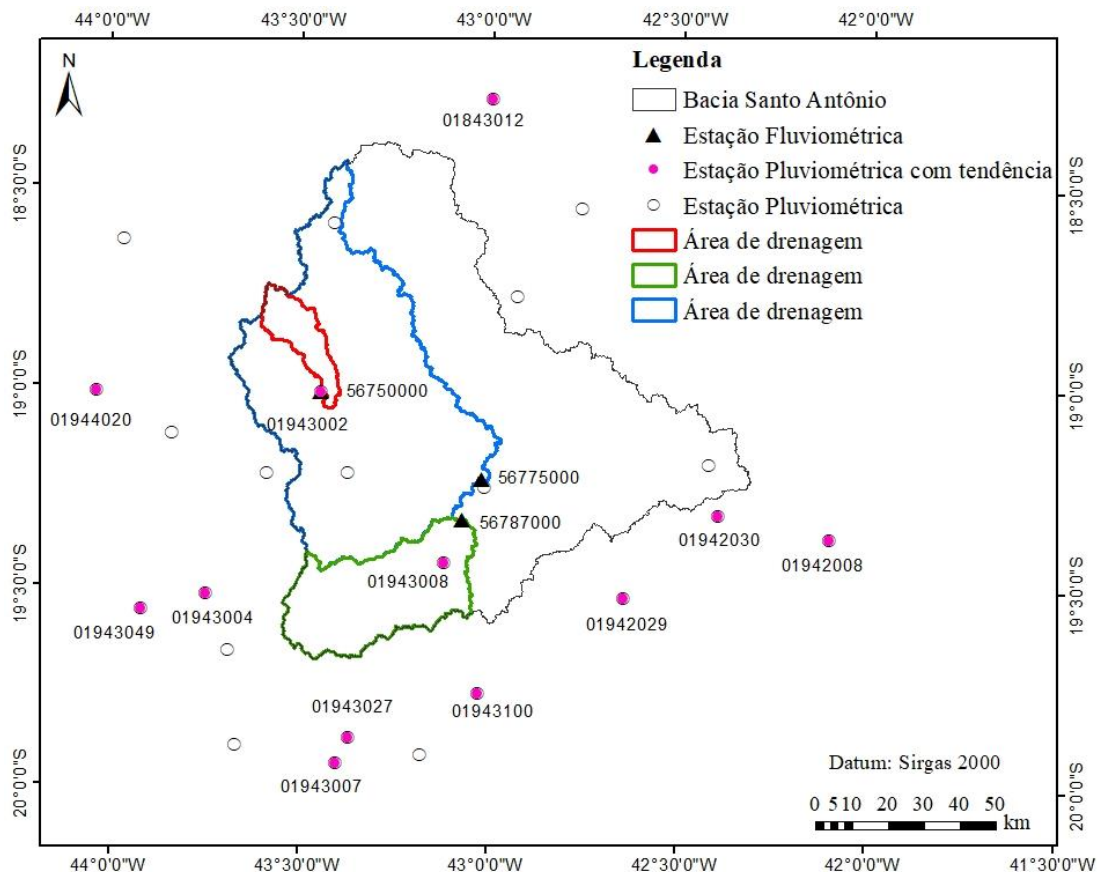


Figura 9 – Áreas de drenagem das estações fluviométricas com tendência no comportamento das vazões média e máxima, com destaque para as estações pluviométricas que apresentaram comportamento não estacionário

Os dados de vazão da estação 56775000 apresentaram comportamento não estacionário com tendência de redução para a vazão mensal máxima no mês de agosto, com ponto de mudança em 1993. A área de drenagem dessa estação pode ser que seja influenciada pelas estações pluviométricas com tendência 01943008 e 01943002, sendo que a estação 01943002 teve tendência de redução da precipitação no mês seco em 1992. A tendência de redução da vazão pode ser que esteja relacionada em partes com a redução ocorrida anteriormente na precipitação, uma vez que essas ocorrem no mesmo período do ano.

Para os dados de vazão medidos na estação fluviométrica 56787000, observou-se que o comportamento foi não estacionário, com tendência de redução para a vazão mensal máxima nos meses de agosto e setembro, com ponto de mudança no ano de 2005. A vazão ocorrida nessa seção do rio é influenciada pelas precipitações que ocorrem na área de drenagem dessa seção, cujo registro foi feito na estação pluviométrica 01943008, e nas estações com tendência das áreas adjacentes 01943027,

01943004, 01943049, 01943007, 01943100 e 01942029 sendo que os dados das estações 01943008 e 01943004 apresentaram tendência de redução do mês seco e do trimestre seco, respectivamente, para o ano de 2005. A tendência de redução de vazão máxima nesses meses pode estar associada à tendência de redução nas precipitações, uma vez que essas variações ocorreram no período seco do mesmo ano.

Os dados de vazões medidos na estação 56750000 apresentaram comportamento não estacionário em alguns meses, com tendência de redução para as vazões mensais média e máxima. Para a vazão média, o mês que apresentou tendência de redução foi setembro, com ponto de mudança em 1997. Já para as vazões máximas, os meses de julho, agosto e setembro apresentaram tendência de redução, com ponto de mudança nos anos 1995, 1993, 2002, respectivamente. A área de drenagem dessa estação pode ser que tenha influência da estação pluviométrica com tendência 01943002 (Figura 9), sendo o comportamento de redução no mês seco, com mudança em 1992, podendo essa redução na precipitação estar relacionada com as reduções das vazões.

As alterações no comportamento das vazões mensais médias e máximas podem estar associadas às mudanças ocorridas nas precipitações que possuem alguma influência nas áreas de drenagem, já a mudança na vazão mínima anual não está associada diretamente as mudanças ocorridas no comportamento das precipitações. Essas mudanças possivelmente estão associadas além da precipitação, com o uso da água nas áreas de drenagem, bem como às mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra.

Em estudo realizado no norte da China por Zhang et al. (2011), constataram que existe uma relação entre a vazão anual e precipitação. O regime de vazão apresentou comportamento não estacionário, com tendência de redução, sendo que essas mudanças tem influência das atividades antrópicas e pelas alterações ocorridas no regime pluviométrico.

4.1.2 Uso e cobertura da terra

Os resultados da aplicação dos testes não paramétricos de Mann Kendall e Pettitt aos dados de uso e cobertura da terra são apresentados na Figura 10, para cada área de drenagem das seis estações fluviométricas usadas no estudo.

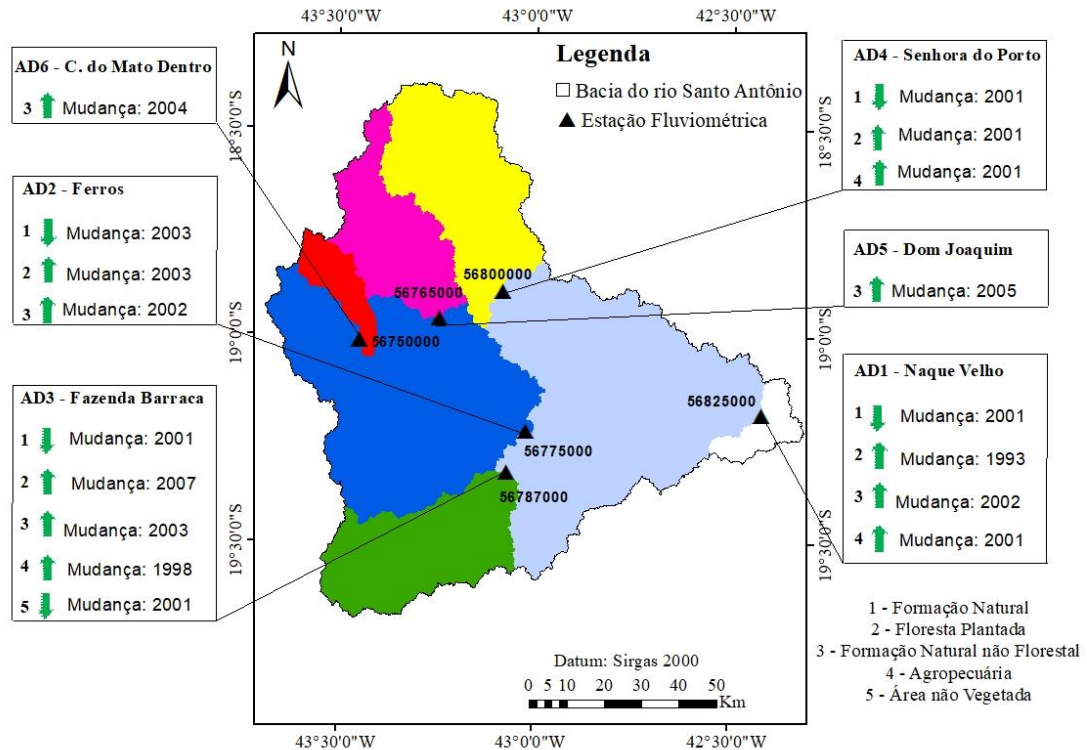


Figura 10 – Tendência do uso e cobertura da terra em cada uma das seis áreas de drenagem a montante das estações fluviométricas localizadas na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.

Santos et al. (2016) desenvolveram trabalho na bacia hidrográfica do rio Pardo e constaram que o uso da terra e as alterações na cobertura vegetal podem levar a não estacionariedade das séries de vazões.

Analisando o comportamento do uso e cobertura da terra, foi verificado que em todas as áreas de drenagem pelo menos uma classe de uso e cobertura apresenta comportamento não estacionário, ou seja, possui tendência. As tendências observadas na alteração do uso da terra em sua maioria ocorreram após às tendências observadas nas séries de vazão, indicando não haver relação entre elas. Para a estação fluviométrica 56787000, entretanto, a vazão mensal máxima teve tendência de redução no ano de 2005, podendo essa mudança estar relacionada com a tendência de redução

das áreas não vegetadas no ano de 2001 e ao aumento das formações naturais não florestais em 2003.

4.2 Classificação e variabilidade temporal do uso e cobertura da terra e comparação com os regimes hidrológicos

Nas Figuras 11 a 16 estão representados o uso e a cobertura da terra para os anos de 1985, 2000 e 2014, respectivamente, para cada uma das áreas de drenagem a montante das estações fluviométricas. As classes de usos representados foram: Floresta Natural, Floresta Plantada, Formação Natural não Florestal, Agropecuária e Área não Vegetada.

Dentre esses usos, as áreas de Florestas Naturais e de Agropecuária representam em média 90% da área total das áreas de drenagem em estudo, sendo a maior variação de cobertura da terra por essas classes de uso e pela classe de Floresta Plantada, sendo estas três classes avaliadas para cada uma das seis áreas de drenagem, representadas a seguir.

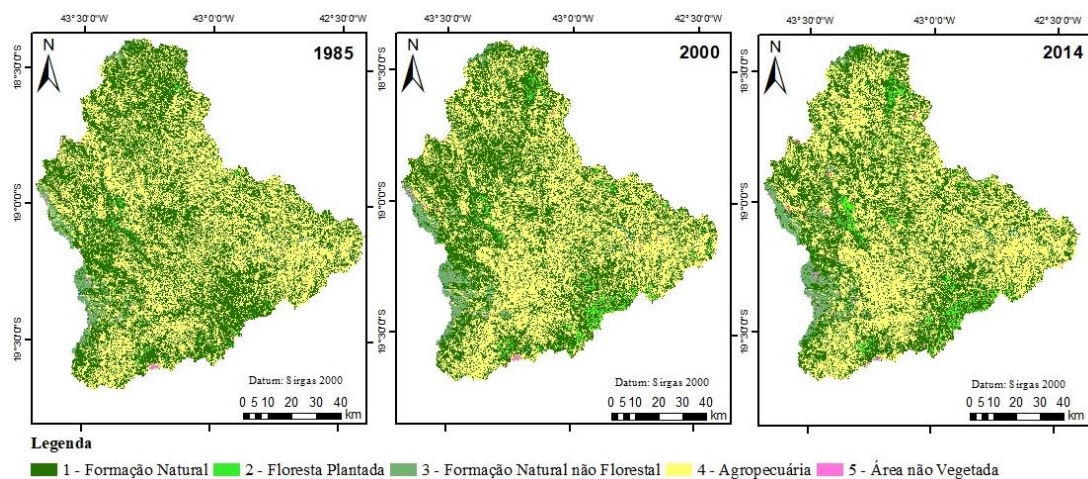


Figura 11 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56825000 (Naque Velho)

Tabela 7 – Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56825000

		Área de drenagem 56825000		
		1985	2000	2014
Uso e cobertura da terra (km ²)	Formação Natural	5.229,21	4.892,11	4.604,97
	Agropecuária	5.169,52	5.283,61	5.419,27
	Floresta Plantada	42,54	179,16	265,28
Vazões (m ³ /s)	Q ₇	58,91	25,85	18,90
	Q _{med}	152,93	101,28	64,36
	Q _{max}	1217,78	551,53	303,46
Precipitação (mm)	P _a	1.118,03	1.079,32	904,76

A área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56825000, com aproximadamente 10.200 km², é a maior área de drenagem da bacia do rio Santo Antônio. Em 1985, o percentual da área de Floresta Natural nessa área de drenagem era de 48%, semelhante à área de Agropecuária, e a área de Florestas Plantadas nessa época era menor do que 0,4%. Em 2000, a Floresta Natural representava 45% da área total, ou seja, teve uma redução de cerca de 7% de sua área, enquanto a Agropecuária teve um aumento de 2% e a área de Floresta Plantada teve um aumento de 320%. Em 2014, a área de Floresta Natural continuou a reduzir, nessa época representando 42% do total, a Agropecuária aumentou mais 2% de sua área em relação ao ano 2000 e a área de Floresta Plantada aumentou 50%.

Ralacionando essas variações de uso e cobertura com as vazões anuais e a precipitação total anual dessa área de drenagem nesses mesmos anos, observou-se uma redução de 56% nas vazões mínimas de 1985 para 2000 e de 27% de 2000 para 2014. Para as vazões médias também ocorreram redução de 1985 para 2000, em cerca de 34%, e de 36% de 2000 para 2014. Nas vazões máximas a redução de 1985 para 2000 foi de 55% e de 45% de 2000 para 2014. E para a precipitação total anual a redução foi de 3,46% de 1985 para 2000, e de 16,17% de 2000 para 2014.

A área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56825000 é a maior área na bacia do Santo Antônio. Seis dos municípios que integram a região do Vale do Aço estão parcial ou integralmente inseridos nessa área: Açucena, Antônio Dias, Belo Oriente, Braúnas, Joanésia e Mesquita.

De acordo com Costa e Costa (2000), a região do Vale do Aço é a segunda aglomeração urbana do estado de Minas Gerais, sendo essa região estruturada originalmente em torno de duas grandes siderúrgicas, a Acesita e a Usiminas, e posteriormente, incorporando uma fábrica de celulose, a Cenibra localizada no município de Belo Oriente.

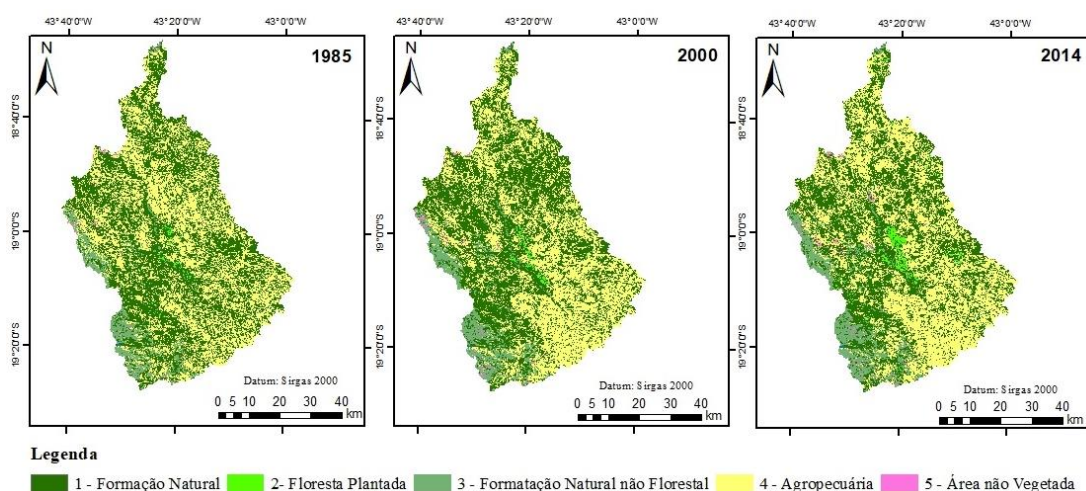


Figura 12 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56775000 (Ferros)

Tabela 8 - Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56775000

Área de drenagem 56775000		1985	2000	2014
Uso e cobertura da terra (km ²)	Formação Natural	2.129,46	2.054,80	1.843,91
	Agropecuária	1.889,58	1.886,47	1.995,96
	Floresta Plantada	16,27	23,32	69,41
Vazões (m ³ /s)	Q ₇	23,47	12,84	17,50
	Q _{med}	72,16	43,47	31,58
	Q _{max}	802,78	345,09	384,00
Precipitação (mm)	P _a	1.118,00	1.079,33	904,71

A área de Floresta Natural representava, em 1985, cerca de 49% da área total da área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56775000 (4.089 km²), enquanto que a área de Agropecuária representava 43% e a de Floresta Plantada era menor que 0,4%. No ano de 2000, as áreas de Floresta Natural reduziram

aproximadamente 3,5%, enquanto a Agropecuária manteve praticamente a mesma área e as áreas de Floresta Plantada aumentaram em 43%. Comparando o ano de 2000 com o de 2014, nota-se que a área de Florestas Naturais diminuiu 10%, representando nessa época 42% da área total, enquanto a Agropecuária aumentou 7% de sua área, passando a representar 46% da área total, e a área de Floresta Plantada aumentou cerca 181%.

Avaliando as alterações observadas nas vazões anuais e na precipitação total anual nos mesmos períodos em que foram avaliadas as alterações no uso e cobertura da terra, observou-se que as vazões mínimas tiveram uma redução, no período de 1985 a 2000, da ordem de 45% e um aumento de 36% no período de 2000 a 2014. Apesar desse aumento, a vazão mínima observada em 2014 é 25% menor do que a ocorrida em 1985. Para as vazões médias, de 1985 a 2000 a redução foi de 40% e de 27% de 2000 a 2014. Para as vazões máximas, de 1985 a 2000 a redução foi de 57% e de 2000 a 2014 houve um aumento de 11%. Ainda que essa vazão tenha aumentado, ela é cerca de 53% menor do que a vazão observada em 1985. Embora tenham sido observados pequenos aumentos, de maneira geral as vazões ocorridas de 1985 a 2014 tiveram redução. E para a precipitação total anual a redução foi de 3,46% de 1985 para 2000, e de 16,18% de 2000 para 2014.

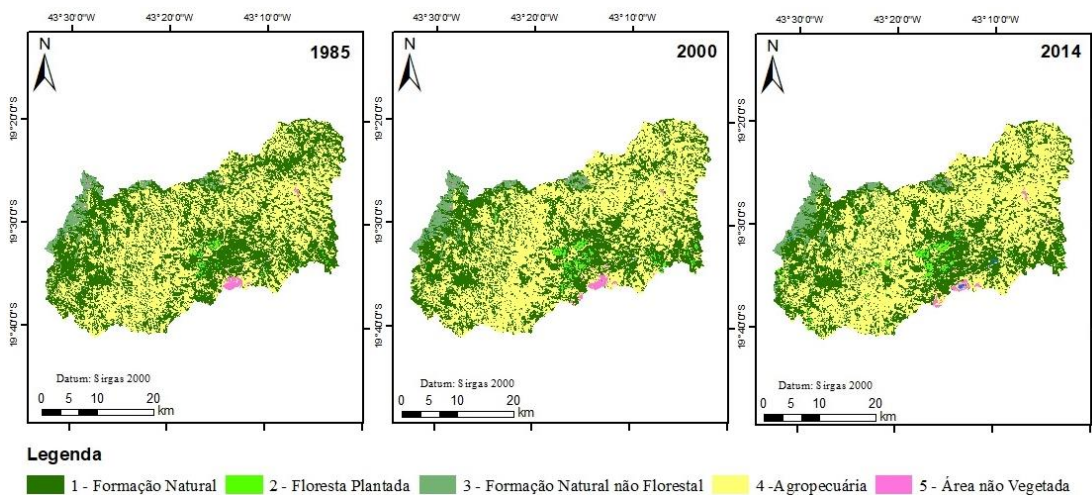


Figura 13 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56787000 (Fazenda Barraca)

Tabela 9 - Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56787000

		Área de drenagem 56787000		
		1985	2000	2014
Uso e cobertura da terra (km ²)	Formação Natural	630,63	538,97	523,90
	Agropecuária	642,38	711,26	716,54
	Floresta Plantada	7,33	17,06	19,82
Vazões (m ³ /s)	Q ₇	5,53	5,45	5,02
	Q _{med}	19,79	15,10	11,44
	Q _{max}	186,21	113,67	56,28
Precipitação (mm)	P _a	1.118,02	1.079,33	904,85

A área de Floresta Natural representava, em 1985, cerca de 47% da área total da área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56787000 (1.253 km²), enquanto que a área de Agropecuária representava 48% e a de Floresta Plantada era menor que 0,6%. Em 2000, a área de Floresta Natural reduziu em 15% de sua área e a área de Agropecuária aumentou em 10%, passando a representar 40% e 53%, respectivamente, da área total, e a área de Floresta plantada teve um aumento de 132%. Em 2014, a área de Floresta Natural reduziu mais 3% de sua área, enquanto a área de Agropecuária se manteve praticamente constante, com aumento de apenas 1%, e a área de Floresta Plantada aumentou 15%.

Avaliando as alterações observadas nas vazões anuais e na precipitação total anual nos mesmos períodos em que foram avaliadas as alterações no uso e cobertura da terra, observa-se que as vazões mínimas tiveram uma redução, no período de 1985 a 2000, da ordem de 2%; e de 2000 a 2014, de 8%. Já para as vazões médias, a redução foi de 24% de 1985 a 2000 e de 25% de 2000 a 2014. Para as vazões máximas, a redução foi de 39% de 1985 a 2000 e de 50% de 2000 a 2014. E para a precipitação total anual a redução foi de 3,46% de 1985 para 2000, e de 16,17% de 2000 para 2014.

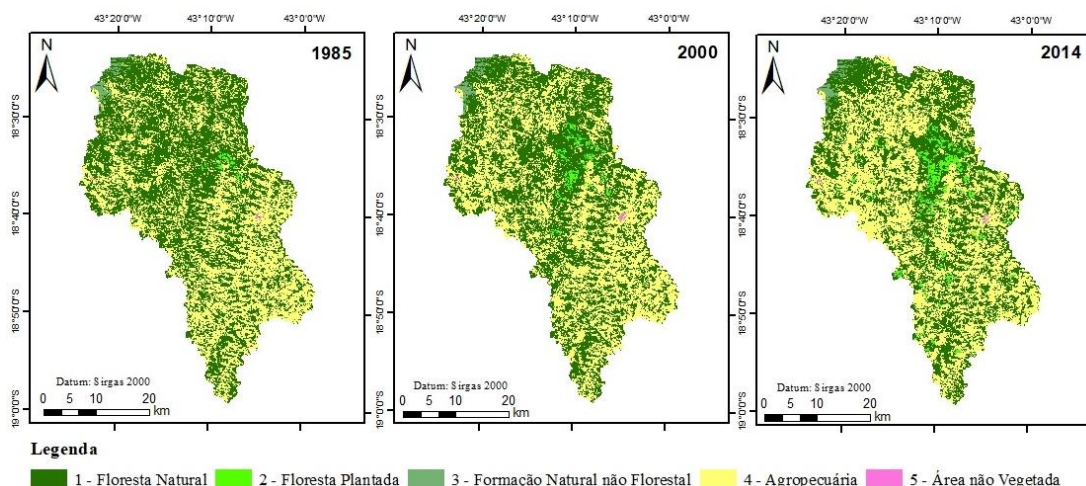


Figura 14 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56800000 (Senhora do Porto)

Tabela 10 - Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56800000

		Área de drenagem 56800000		
		1985	2000	2014
Uso e cobertura da terra (km ²)	Formação Natural	864,80	820,23	734,87
	Agropecuária	724,94	752,10	802,06
	Floresta Plantada	6,51	21,90	59,20
Vazões (m ³ /s)	Q ₇	7,70	4,29	0,41
	Q _{med}	18,30	11,73	8,16
	Q _{max}	110,25	104,89	93,40
Precipitação (mm)	P _a	1.118,08	1.079,31	904,93

A área de Floresta Natural representava, em 1985, cerca de 54% da área total da área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56800000 (1.521 km²), enquanto que a área de Agropecuária representava 45% e a de Floresta Plantada era menor que 0,4%. Em 2000, as Florestas Naturais tiveram sua área reduzida em 6% e a área da Agropecuária aumentou 4%, enquanto a classe de Floresta Plantada aumentou sua área em 227%. No ano de 2014, a área de Floresta Natural foi reduzida em mais 11% e a Agropecuária aumentou mais 7%, representando nessa época 45% e 49%, respectivamente, da área total. Para as áreas de Floresta Plantada, o aumento também foi expressivo, cerca de 170%, representando quase 4% da área total.

Avaliando as alterações observadas nas vazões anuais e na precipitação total anual nos mesmos períodos em que foram avaliadas as alterações no uso e cobertura da terra, observou-se que as vazões mínimas tiveram uma redução, no período de 1985 a 2000, da ordem 45%. Entre os anos de 2000 e 2014, essa redução foi da ordem de 90%; Já para as vazões médias a redução foi de 36%, de 1985 a 2000, e de 30%, de 2000 a 2014. Para as vazões máximas, a redução entre 1985 a 2000 foi de 5% e de 2000 a 2014 foi de 11%. E para a precipitação total anual a redução foi de 3,47% de 1985 para 2000, e de 16,16% de 2000 para 2014.

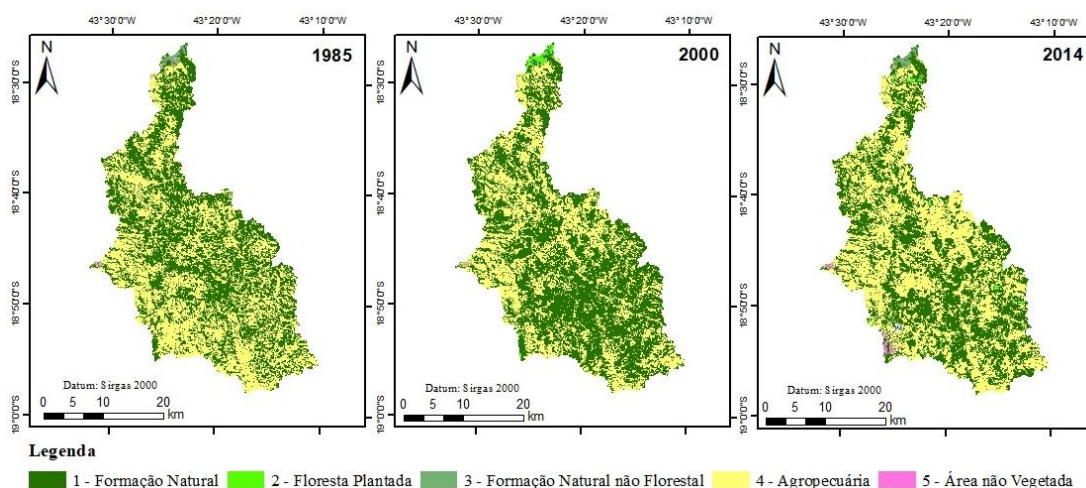


Figura 15 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56765000 (Dom Joaquim)

Tabela 11 - Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56765000

		Área de drenagem 56765000		
		1985	2000	2014
Uso e cobertura da terra (km ²)	Formação Natural	510,18	584,87	471,28
	Agropecuária	513,06	438,01	540,62
	Floresta Plantada	-	-	-
Vazões (m ³ /s)	Q ₇	3,36	2,31	1,62
	Q _{med}	13,27	9,73	6,03
	Q _{max}	169,57	105,04	69,87
Precipitação (mm)	P _a	1.117,95	1.079,35	904,70

A área de Floresta Natural representava, em 1985, cerca de 49% da área total da área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56765000 (974 km²), enquanto que a área de Agropecuária representava 49% e a de Floresta Plantada era menor que 0,4%. Em 2000, observou-se um aumento de 15% na área de Floresta Natural e uma redução também de 15% nas áreas de Agropecuária. Nessa época, essas áreas representavam 56% e 42%, respectivamente, da área total. Já no ano de 2014 observou-se um aumento de cerca de 19% nas áreas de Floresta Natural e uma aumento de 23% nas áreas de Agropecuária, representando 46% e 52%, respectivamente, da área total. Nessa área de drenagem não foi constatada a presença de Floresta Plantada ao longo dos anos analisados.

Avaliando as alterações observadas nas vazões anuais e na precipitação total anual nos mesmos períodos em que foram avaliadas as alterações no uso e cobertura da terra, observou-se que as vazões mínimas tiveram uma redução, no período de 1985 a 2000, da ordem 31%. Entre os anos de 2000 e 2014 essa redução foi da ordem de 30%. Já para as vazões médias, a redução foi de 27%, de 1985 a 2000, e de 38%, de 2000 a 2014. Para as vazões máximas de 1985 a 2000 observou-se uma redução de 38% e de 2000 a 2014 essa redução foi de 33%. E para a precipitação total anual redução foi de 3,45% de 1985 para 2000, e de 16,18% de 2000 para 2014.

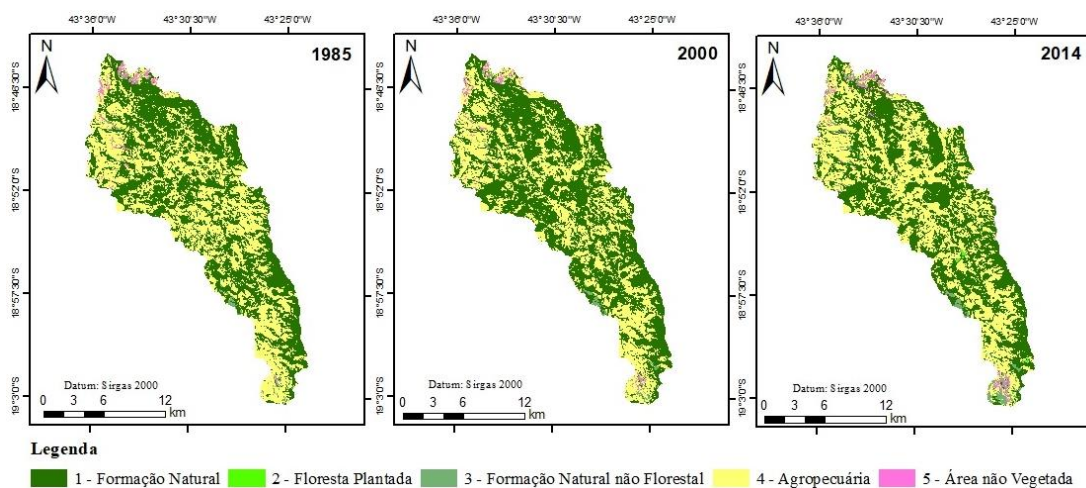


Figura 16 – Uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56750000 (Conceição do Mato Dentro)

Tabela 12 - Área ocupada pelas classes de uso da terra onde ocorreram as maiores modificações, vazões mínima, média e máxima e precipitação anual, para os anos de 1985, 2000 e 2014, na área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56750000

		Área de drenagem 56750000		
		1985	2000	2014
Uso e cobertura da terra (km ²)	Formação Natural	160,14	177,94	153,78
	Agropecuária	143,59	126,20	142,78
	Floresta Plantada	-	-	-
Vazões (m ³ /s)	Q ₇	1,96	1,04	0,44
	Q _{med}	5,71	4,18	2,68
	Q _{max}	58,62	28,88	23,10
Precipitação (mm)	P _a	1.118,00	1.079,34	904,86

A área de Floresta Natural representava, em 1985, cerca de 51% da área total da área de drenagem a montante da estação fluviométrica 56750000 (294 km²), enquanto que a área de Agropecuária representava 46%. Em 2000, a área de Floresta Natural aumentou cerca de 11%, enquanto a Agropecuária reduziu em 12% de sua área. Em 2014, a Floresta Natural reduziu em 14% de sua área e a Agropecuária aumentou 13% de sua área. No período de estudo não foi classificado o uso e cobertura de Floresta Plantada nessa área.

Avaliando as alterações observadas nas vazões anuais e na precipitação total anual, para os mesmos períodos em que foram avaliadas as alterações no uso e cobertura da terra, observou-se que as vazões mínimas tiveram uma redução, no período de 1985 a 2000, da ordem 47% e de 58% de 2000 a 2014. Já para as vazões médias, a redução foi de 27%, de 1985 a 2000, e de 36%, de 2000 a 2014. Para as vazões máximas, observou-se uma redução de 51% no período de 1985 a 2000 e de 20% no período de 2000 a 2014. E para a precipitação total anual a redução foi de 3,46% de 1985 para 2000, e de 16,17% de 2000 para 2014.

De maneira geral, em todas as áreas de drenagem das estações fluviométricas avaliadas, é notório que as áreas de agropecuária já estavam em expansão. Entre os anos de 1985 a 2014 verificou-se que houve redução das áreas de Formação de Floresta Natural e um aumento das áreas de Pastagens e de Cultivos Agrícolas. As maiores modificações foram observadas nas áreas de drenagem a montante das estações fluviométricas 56787000 e 56800000, onde as mesmas, de 1985 a 2014, tiveram suas áreas de Florestas Naturais reduzidas em 8% (106,7 km²) e 8,1% (130 km²),

respectivamente, e as áreas de Agropecuária aumentadas em 5,5% (74,2 km²) e 4,8% (77,1 km²), respectivamente. Como ocorreu o desmatamento para expansão das áreas de agropecuária, é esperado que se tenha mudanças nos regimes de vazões ao longo dos anos na bacia.

Segundo Trimble et al. (1987), de maneira geral os hidrólogos florestais concordam que as florestas, em relação aos outros usos da terra, são os maiores consumidores de água e reduzem a vazão total ou a produção de água. Isso ocorre porque as florestas aumentam a interceptação e a transpiração, diminuindo desta forma a vazão.

Por outro lado, as florestas contribuem para aumentar a infiltração da água no solo e manter a vazão nos períodos de estiagem e, em virtude do desmatamento ocorrido na bacia do rio Santo Antônio, é esperado que ocorra uma redução das vazões mínimas. De acordo com Silva (2019), a substituição de áreas de formação florestal por áreas agrícolas, de pastagem e plantio comercial, contribui para compactar o solo, dificultando a infiltração, rebaixando o lençol freático e reduzindo a vazão dos rios no período de estiagem, que é quando ocorrem as vazões mínimas.

Estudos realizados por Bayer (2014) mostraram que o desmatamento de florestas contribuem para aumentar a vazão média da bacia hidrográfica. Espera-se também um aumento das vazões máximas, em decorrência principalmente da diminuição da rugosidade da superfície e da interceptação pelo dossel das florestas, favorecendo dessa forma o escoamento superficial (PRUSKI, 2009). De acordo com Santos et al. (2016), as alterações no uso da terra reduz o atrito e outras abstrações iniciais contribuindo para a diminuição do tempo de concentração da água que precipita na bacia, favorecendo assim o aumento das vazões máximas.

Embora seja esperado que ocorra o aumento das vazões máximas e médias, e diminuição das vazões mínimas em virtude do desmatamento de áreas nativas para a expansão das áreas de agropecuária, a bacia hidrográfica do rio Santo Antônio não apresentou esse comportamento. Quando se compara os regimes de vazões entre os anos de 1985 a 2014, em todas as áreas de drenagem, os valores de Q_{max} , Q_{med} e Q_7 apresentaram redução.

Em concordância com trabalho desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Araguaia por Porto (2019), onde foi constatado que com o aumento das áreas ocupadas pela agropecuária reduz a vazão média da bacia, o aumento de 1% da área de agropecuária na bacia reduz em média $234,68 \pm 68,18$ m³/s a vazão dos rios.

Em relação às áreas de Florestas Plantadas, apenas nas áreas de drenagem a montante das estações 56765000 e 56750000 não foram constatados a presença dessa classe de uso entre os anos de 1985 e 2014. Já nas outras áreas de drenagem, houve uma evolução significativa desse tipo de uso e cobertura da terra, sendo que na área de drenagem a montante da estação 56800000 foi constatado o maior aumento percentual, correspondente a cerca 3,3% (130 km²) da área total.

De acordo com relatório do IGAM (2010), as áreas de floresta plantada se concentram nas proximidades da região do Vale do Aço, localizada na bacia do Santo Antônio, sendo esta região um pólo industrial, com grandes siderúrgicas e fábrica de celulose, que requerem a matéria prima proveniente das áreas de reflorestamento para os seus processos.

A diminuição de todos os regimes de vazões observadas em todas as áreas de drenagem, no período de 1985 a 2014, pode estar associada a diminuição ocorrida na precipitação total anual no mesmo período, e também ao aumento das vazões retiradas superficialmente pelos usuários na bacia (Figura 17), como nas áreas de mineração, e nos processos das siderúrgicas e indústrias de celulose.

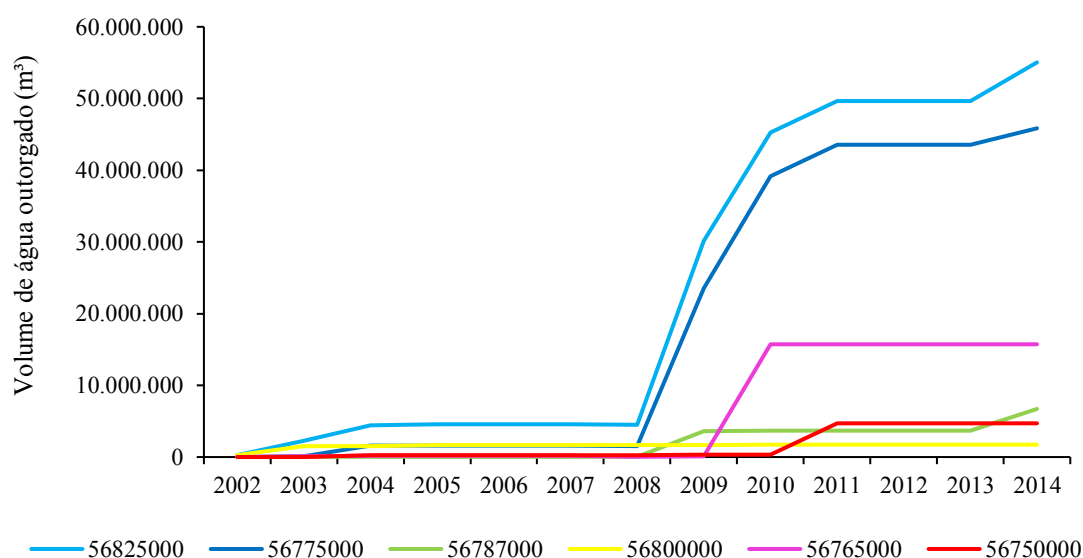


Figura 17 – Volume de água outorgado a montante da estação fluviométrica

Observa-se nessa figura um aumento do volume de água outorgado a partir do ano 2003. Esse volume foi calculado separadamente para cada área de drenagem, do ano de 2003 até 2014. Na estação fluviométrica 56825000 observou-se um aumento

no volume de água outorgado de 24,5 vezes; na estação 56775000 esse aumento foi de 485,9 vezes; na estação 56787000 o aumento foi de 269,3 vezes; na estação 56800000 aumentou 1,2 vezes; na estação 56765000 o aumento foi de 166,7 vezes; e na estação 56750000 aumentou 17,6.

4.3 Relação entre as precipitações e uso e cobertura da terra no regime de vazão

Para cada área de drenagem no estudo, foram realizadas análises de regressão linear simples para verificar o efeito isolado das precipitações pluviométricas e do uso e cobertura da terra no regime de vazões.

A partir da análise apresentada na Tabela 13, nota-se que houve relação significativa ($R^2 > 0,49$) em algumas áreas de drenagem, entre a Precipitação Total Anual (P_a) e as Vazões mínima (Q_7) e média (Q_{med}), da Precipitação do Semestre Chuvoso (P_{sc}) e as Vazões média (Q_{med}), e da Precipitação do Trimestre Chuvoso (P_{tc}) e as Vazões média (Q_{med}) e máxima (Q_{max}), onde as relações foram significativas (Valor- $p < 0,05$).

Tabela 13 – Relações das vazões com as precipitações pluviométricas nas sub-bacias em estudo.

Precipitação Total Anual (P_a)						
Área de drenagem	Q_7		Q_{med}		Q_{max}	
	R^2	Valor- p	R^2	Valor- p	R^2	Valor- p
56825000	0,310	2,12E-03	0,656	2,07E-08	0,345	2,14E-04
56775000	0,355	2,56E-04	0,415	3,66E-05	0,258	1,31E-03
56787000	0,490	5,31E-06	0,618	2,05E-07	0,363	5,56E-04
56800000	0,257	5,34E-03	0,384	2,20E-04	0,219	2,97E-03
56765000	0,378	1,85E-04	0,520	4,66E-06	0,303	5,40E-04
56750000	0,290	1,59E-03	0,444	2,36E-05	0,426	7,94E-05
Precipitação Semestre Chuvoso (P_{sc})						
Área de drenagem	Q_7		Q_{med}		Q_{max}	
	R^2	Valor- p	R^2	Valor- p	R^2	Valor- p
56825000	0,340	4,54E-03	0,663	5,06E-09	0,250	4,72E-04
56775000	0,332	1,15E-03	0,454	2,50E-04	0,192	1,18E-02
56787000	0,375	7,04E-05	0,545	5,97E-08	0,286	6,03E-04
56800000	0,252	1,75E-02	0,561	2,09E-05	0,245	2,38E-03
56765000	0,403	1,58E-03	0,642	1,54E-06	0,278	2,18E-03
56750000	0,240	2,13E-02	0,667	3,33E-05	0,303	5,71E-04

Continua...

Tabela 13 – Continuação...

Precipitação Trimestre Chuvoso (P_{tc})						
Área de drenagem	Q₇		Q_{med}		Q_{max}	
	R²	Valor-p	R²	Valor-p	R²	Valor-p
56825000	0,161	0,030	0,659	3,05E-08	0,575	4,27E-07
56775000	0,292	0,002	0,347	4,14E-04	0,308	8,70E-04
56787000	0,371	0,000	0,669	2,31E-07	0,386	8,26E-04
56800000	0,284	0,002	0,400	1,36E-04	0,171	1,19E-02
56765000	0,191	0,013	0,450	4,04E-05	0,279	1,32E-03
56750000	0,146	0,030	0,362	3,98E-04	0,340	6,03E-04
Precipitação Semestre Seco (P_{ss})						
Área de drenagem	Q₇		Q_{med}		Q_{max}	
	R²	Valor-p	R²	Valor-p	R²	Valor-p
56825000	0,002	0,380	0,003	0,948	0,026	0,762
56775000	0,087	0,239	0,054	0,195	0,147	0,040
56787000	0,011	0,164	0,000	0,885	0,001	0,733
56800000	0,034	0,330	0,011	0,764	0,002	0,532
56765000	0,045	0,174	0,002	0,942	0,032	0,371
56750000	0,101	0,034	0,002	0,756	0,087	0,198
Precipitação Trimestre Seco (P_{ts})						
Área de drenagem	Q₇		Q_{med}		Q_{max}	
	R²	Valor-p	R²	Valor-p	R²	Valor-p
56825000	0,006	0,774	0,044	0,303	0,010	0,474
56775000	0,009	0,367	1E-04	0,95	0,052	0,318
56787000	0,007	0,601	0,090	0,124	0,074	0,174
56800000	0,049	0,285	0,064	0,158	1E-05	0,982
56765000	0,013	0,491	0,040	0,306	0,049	0,387
56750000	0,011	0,519	0,023	0,437	0,011	0,898
Precipitação Mês Mais Seco (P_{ms})						
Área de drenagem	Q₇		Q_{med}		Q_{max}	
	R²	Valor-p	R²	Valor-p	R²	Valor-p
56825000	1E-07	0,505	0,003	0,832	0,004	0,678
56775000	0,028	0,791	0,020	0,529	0,068	0,159
56787000	3E-05	0,821	0,031	0,699	0,036	0,358
56800000	0,003	0,930	0,003	0,453	0,002	0,617
56765000	0,035	0,798	0,000	0,841	0,005	0,658
56750000	0,011	0,866	0,014	0,891	0,009	0,975

Continua...

Tabela 13 – Continuação...

Área de drenagem	Precipitação Mês Mais Chuvoso (P_{mc})					
	Q_7		Q_{med}		Q_{max}	
	R^2	Valor-p	R^2	Valor-p	R^2	Valor-p
56825000	0,063	0,361	0,313	0,023	0,459	0,003
56775000	0,092	0,248	0,148	0,186	0,138	0,203
56787000	0,091	0,495	0,192	0,157	0,099	0,329
56800000	0,183	0,047	0,255	0,029	0,147	0,078
56765000	0,082	0,298	0,208	0,089	0,206	0,059
56750000	0,166	0,048	0,188	0,049	0,187	0,119

A área de drenagem da estação fluviométrica 56800000, que foi a única em que os dados apresentaram comportamento não estacionário com tendência de redução para a vazão mínima anual, nenhum dos índices de precipitação analisados foram significativos quando se analisou a Q_7 (Tabela 13). Ou seja, para essa estação fluviométrica a mudança no comportamento no regime da Q_7 não pode ser explicada apenas pelo comportamento das precipitações.

A área de drenagem da estação fluviométrica 56750000 apresentou tendência de redução para as vazões mensais Q_{med} e Q_{max} . Para a Q_{med} ocorreu em setembro, e para a Q_{max} ocorreu em julho, agosto e setembro. As mudanças ocorridas na Q_{med} e nas Q_{max} podem não estar relacionadas somente ao comportamento das precipitações, uma vez que nenhum dos índices de precipitação analisados foram significativos quando se analisaram essas vazões.

Para esse estudo apenas os valores de P_a , P_{sc} e P_{tc} obtiveram relação significativa para os regimes de vazão. Em concordância com estudos desenvolvidos por Latuf (2007), as precipitações que ocorrem no período seco do ano não geraram escoamento superficial para alterar o regime de vazões, devido ao baixo volume e intensidade.

De acordo com Santos (2016), nos períodos mais úmidos, quando se tem um aumento da precipitação, observa-se um aumento nos índices de vazão. Isso ocorre devido ao balanço hídrico, onde há uma maior quantidade de entrada de água pela precipitação, em relação a evapotranspiração, gerando assim um maior escoamento.

São apresentadas nas Figuras 18, 19 e 20 os gráficos de regressão linear onde a relação foi significativa. Observa-se que trata-se de uma associação, de modo que os

aumentos nos valores de Q_7 , Q_{med} e Q_{max} em algumas áreas de drenagem foram influenciados pelos aumentos de P_a , P_{sc} e P_{tc} ao longo do período base.

Em concordância com estudos desenvolvidos por Maciel (2017) na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, houve correlação entre a precipitação e a vazão, demonstrando que à medida que a precipitação aumenta o volume nas vazões também se torna maior, essas correlações variaram de 0,60 a 0,91, ou seja, o R^2 de 0,36 a 0,83.

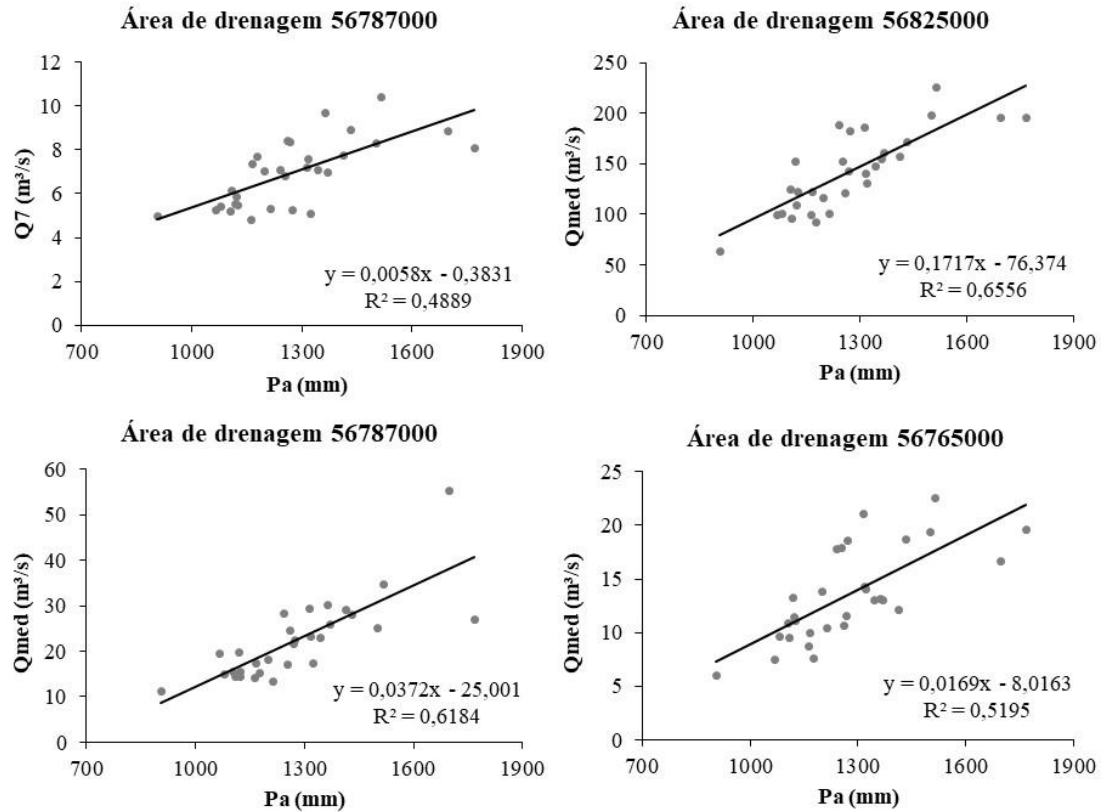


Figura 18 - Gráficos das equações de regressão significativas entre as vazões mínima (Q_7), média (Q_{med}) e a Precipitação Total Anual (P_a)

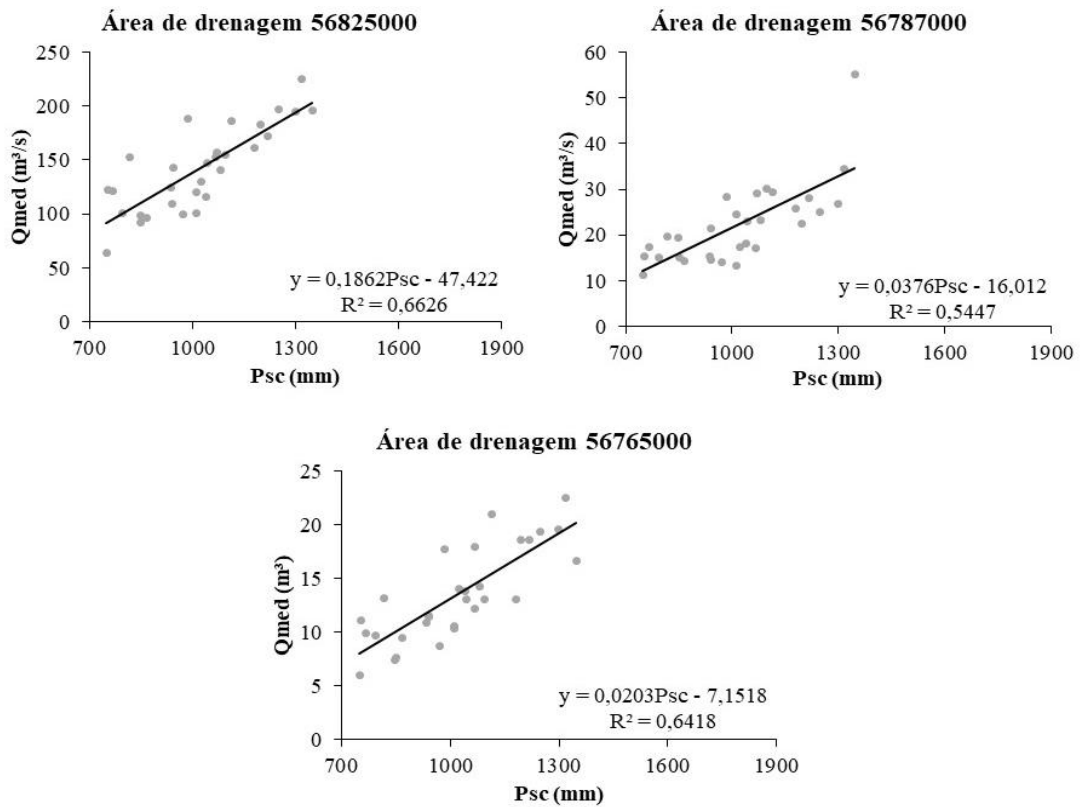


Figura 19 - Gráficos das equações de regressão significativas entre as vazões médias (Q_{med}) e a Precipitação do Semestre Chuvoso (P_{sc})

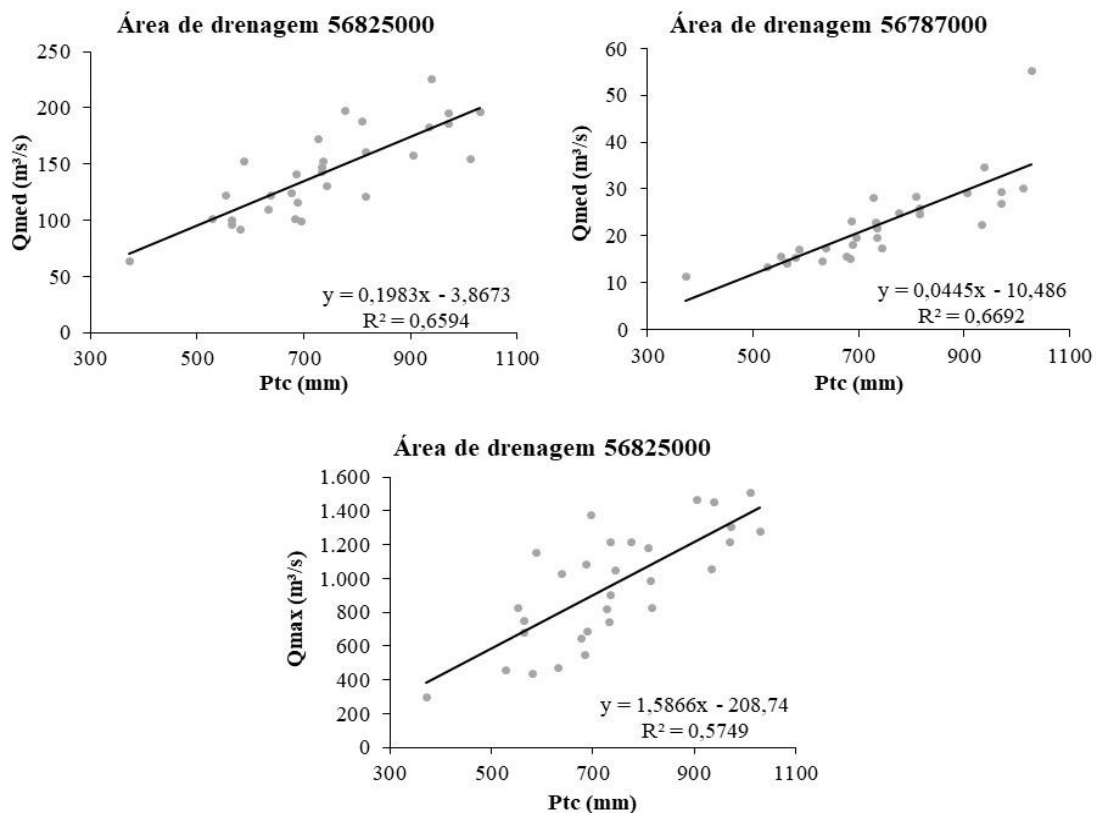


Figura 20 - Gráficos das equações de regressão significativas entre as médias (Q_{med}) e máximas (Q_{max}) a Precipitação do Trimestre Chuvoso (P_{tc})

Como pode ser observado pela Figura 18, em relação à Q_{med} , das seis áreas de drenagem, em três delas o comportamento foi explicado pela P_a , com valores variando de 0,52 a 0,66. Em concordância com estudos realizados por Mendes (2016) na bacia do rio Itapemirim, em dez das 11 sub-bacias a P_a influenciou a variação de seus regimes de Q_{med} , sendo que todas apresentaram tendência positiva, de forma que os aumentos nas Q_{med} foram causados pela atuação das chuvas anuais.

Além da P_a , a P_{sc} e a P_{tc} também explicaram o comportamento para a Q_{med} sendo a P_{sc} em três das seis áreas de drenagem (Figura 19), onde a relação entre elas variou de 0,55 a 0,66, e a P_{tc} em duas das seis áreas de drenagem (Figura 20), sendo a relação entre elas variando de 0,66 a 0,67.

Para a Q_7 , apenas a área de drenagem a montante da estação 56787000 o comportamento foi explicado pela P_a , onde essa relação foi de 0,49. Em estudos realizados por Mendes (2016), o aumento dos valores de Q_7 foram explicados pela P_a . As precipitações do semestre seco, embora algumas áreas de drenagem tenha $p < 0,05$, não obtiveram relação significativa. A P_a , que é constituída do total acumulado de chuva durante todo o ano, foi a que mais contribuiu para a variação da Q_7 .

A Q_{max} foi explicada apenas pela P_{tc} na área de drenagem a montante da estação 56825000, com R^2 de 0,60. Em estudos realizados por Mendes (2016), de 11 sub-bacias, apenas cinco obtiveram R^2 acima de 0,49 para as relações da Q_{max} com a P_{tc} , essa relação encontrada para as Q_{max} era esperada, uma vez que os totais máximos ocorrem em poucos meses na bacia, como dezembro e janeiro, assim elevando o regime de Q_{max} dos rios.

Estudos realizados por Latuf (2007) mostraram que a relação entre as precipitações média anual e do período chuvoso tiveram correlação com os dados de vazões média e máxima, isto é, as alterações que ocorreram nas precipitações certamente tiveram influência nas alterações dessas vazões, como observou-se no presente estudo.

As relações entre as vazões Q_7 , Q_{med} e Q_{max} e as classes de uso e cobertura da terra (Floresta Natural, Floresta Plantada, Formação Natural não Florestal, Agropecuária e Área não Vegetada) não foram significativas ($R^2 > 0,49$) para nenhuma das áreas de drenagem em estudo (Apêndice D).

4.4 Estimativa da vazão em função da precipitação e uso e cobertura da terra

Para as áreas de drenagem a montante das estações fluviométricas foram realizadas análises de regressão múltipla para avaliar o efeito combinado das precipitações e do uso e cobertura da terra no regime de vazões. Essas análises foram realizadas entre as variáveis vazão (variável dependente Y), precipitações (variável independente X₁) e uso e cobertura da terra (variável independente X₂).

Os modelos de regressão múltipla que apresentaram melhores ajustes para descrever o regime de vazões da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio podem ser analisados a partir da Tabela 14. Nessa tabela estão representado os modelos de regressão apenas nos casos em que se obteve ajustes satisfatórios e também aqueles em que todas as variáveis explicativas foram significativas, uma vez que em diversos casos foi obtido R_a^2 com valores acima de 0,49, no entanto, apenas uma variável explicativa foi significativa. Em função disso não se tem para cada uma das áreas de drenagem analisada os modelos para todos os regimes de vazão (Q₇, Q_{med} e Q_{max}).

Tabela 14 - Modelos de regressão múltipla que apresentaram melhores ajustes para descrever o regime de vazões da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio e respectivas estatísticas

Área de drenagem	Vazões	Variáveis Explicativas		R_a^2	F calculado (ANOVA)	Coeficientes		
		X ₁	X ₂			B ₀	B ₁	B ₂
56825000	Qmax	Ptc	Área não Vegetada	0,5874	21,6415	220,989	1,571	-754,855
			Floresta Natural	0,6606	29,2194	-247,152	0,174	3,805
	Qmed	Pa	Formação Natural não Florestal	0,6809	31,9447	45,321	0,168	-28,602
			Agropecuária	0,6551	28,5477	186,198	0,176	-5,417
			Área não Vegetada	0,7473	43,8713	-7,391	0,181	-144,917
		Psc	Floresta Natural	0,7084	36,2171	-316,423	0,196	5,866
			Formação Natural não Florestal	0,7440	43,1419	118,758	0,189	-41,319
			Agropecuária	0,6913	33,4654	338,952	0,197	-8,039
	Ptc	Área não Vegetada	0,7542	45,4931	23,0436	0,1956	-144,532	
		Formação Natural não Florestal	0,6692	30,3271	97,933	0,193	-23,843	
		Área não Vegetada	0,6753	31,1605	44,699	0,197	-85,310	
	56775000	Qmed	Pa	Área não Vegetada	0,4910	14,9808	-33,589	0,132
56787000	Qmed	Psc	Floresta Natural	0,5579	19,2989	-44,095	0,039	0,628
			Agropecuária	0,5598	19,4379	19,682	0,040	-0,733
	Q ₇	Pa	Floresta Natural	0,5064	15,8732	-5,290	0,0058	0,117
			Agropecuária	0,5211	16,7747	7,2508	0,0059	-0,149
			Área não Vegetada	0,5037	15,7139	-2,3963	0,0058	2,563
56800000	Qmed	Psc	Formação Natural não Florestal	0,5745	20,5794	10,850	0,021	-17,033

Continua...

Tabela 14 – Continuação...

Área de drenagem	Vazões	Variáveis Explicativas		R ² _a	F calculado (ANOVA)	Coeficientes		
		X ₁	X ₂			B ₀	B ₁	B ₂
56765000	Q _{med}	Pa	Área não Vegetada	0,5304	17,3775	-6,687	0,017	-3,942
		P _{sc}	Área não Vegetada	0,6620	29,403	-5,774	0,020	-3,951

F_{tabelado} = 2,511;

t_{tabelado} = 1,314;

Q_{max} = Vazão máxima;

Q_{med} = Vazão média;

Q₇ = Vazão mínima de 7 dias consecutivos;

P_a = Precipitação total anual;

P_{sc} = Precipitação do semestre chuvoso.

A partir da Tabela 14, constatou-se que nenhuma das vazões é predita para a estação fluviométrica 5675000. As outras estações também não tiveram predição para todos os regimes de vazão, no entanto a Q_{med} foi predita para cinco das seis estações utilizadas no estudo.

Como pode ser observado na Tabela 14, os melhores valores de R_a^2 obtidos foram para a área de drenagem a montante da estação 56825000, sendo o melhor ajuste para a Q_{med} , considerando as variáveis explicativas P_a , P_{sc} e P_{tc} ; Floresta Natural, Formação Natural não Florestal, Agropecuária e Área não Vegetada, com os valores superiores a 0,66.

Os valores obtidos do R_a^2 para a bacia hidrográfica do rio Santo Antônio são satisfatórios. Neste contexto, estudos realizados por Trimble et al. (1987) no leste dos Estados Unidos Unidos, consideraram satisfatório o ajuste do R^2 igual a 0,5 entre a redução de áreas florestadas e o regime de vazão.

Bayer (2014) estudando bacias grandes, obteve uma relação de R^2 de até 0,89 nos resultados da simulação hidrológica, considerando a redução da área de vegetação e seu impacto sobre a vazão. Em estudo realizado por Aires (2018) na bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, foi obtido R_a^2 de até 0,96 para Q_{max} , utilizando-se o modelo com a média de 5 anos das variáveis de área de pastagem, área de vegetação e precipitação do semestre chuvoso.

O teste da análise da variância (ANOVA) foi utilizado para avaliar se os modelos ajustados apresentaram comportamento linear entre as variáveis explicativas (precipitação e uso e cobertura da terra) e a variável dependente (vazões). Para que o modelo ajustado seja considerado linear, o valor de $F_{calculado}$ deve ser superior ao valor de $F_{tabelado}$ (HAIR *et al.*, 2009).

Os valores de $F_{calculado}$ foram maiores em todos os modelos selecionados quando se é comparado aos valores de $F_{tabelado}$ (Tabela 14), considerando o nível de significância de 10%, o que indica que a relação entre o regime de variação de vazões e as variáveis explicativas utilizadas para o ajuste do modelo seguem um comportamento linear.

O teste *t student* foi aplicado para analisar se as variáveis explicativas que foram utilizadas nos modelos para descrever o regime de variações de vazões são confiáveis. Para isto, o valor $t_{calculado}$ em módulo deve ser superior ao valor de $t_{tabelado}$ para que a variável explicativa empregada tenha influência sobre a variável dependente (HAIR *et al.*, 2009). As equações apresentada na Tabela 14, os valores de *t student*

obtidos foram todos maiores que o t_{tabelado} , sendo assim, as variáveis explicativas do modelo, tem influência sobre a variável dependente.

A estação fluviométrica 56800000 foi a única estação que apresentou comportamento não estacionário com tendência de redução na vazão mínima anual. Essa área foi uma das que passou por maiores modificações ao longo dos anos, de 1985 a 2014. As áreas de Florestas Naturais reduziram 8,1%, enquanto que as áreas de Agropecuária e Floresta Plantada aumentaram em 4,8% e 3,3%, respectivamente. O modelo ajustado para essa área, entretanto, não explicou esse comportamento de redução da Q_7 , podendo as alterações ocorridas no uso e cobertura da terra e da precipitação de forma conjunta não terem significância para descrever esse regime de vazões.

Nessa área de drenagem, a Q_{max} e a Q_{med} apresentaram comportamento estacionário, no entanto, para o regime da Q_{med} o modelo obteve resultado satisfatório para a variável explicativa classe de uso do solo Formação Natural não Florestal, ou seja, as alterações ocorridas nas outras classes de uso e cobertura do solo não foram explicativas para essas vazões

As áreas de drenagem 56775000, 56787000, 56750000 apresentaram comportamento não estacionário para os valores de Q_{max} e Q_{med} mensais. Para a Q_{med} , apenas a estação 56750000 apresentou tendência de redução para o mês de setembro. O modelo ajustado para obtenção da Q_{med} dessa área de drenagem não foi ajustado. Para Q_{max} , essas três áreas de drenagem apresentaram tendência de redução entre os meses de julho e setembro, correspondendo ao período seco do ano. Como observado na Tabela 14, não foram obtidos os modelos ajustados para Q_{max} , ou seja, as variáveis explicativas não foram significativas para esse regime de vazão.

A área de drenagem da estação 5682500, correspondente a aproximadamente 10.200 km², maior área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, apresentou influência de diversos fatores na variação do regime de vazões. Para essa estação foi possível obter ajustes satisfatórios para Q_{max} e Q_{med} , sendo os melhores valores do R_a^2 para essa área obtidos na estimativa de Q_{med} . O modelo que melhor descreveu a variabilidade dos dados destes regimes de vazões foram aqueles que utilizaram P_a , P_{sc} e P_{tc} e as classes de Floresta Natural, Formação Natural não Florestal, Agropecuária e Área não Vegetada. Os regimes de vazões apresentaram comportamento estacionário anual e mensal ao longo do tempo nessa estação e, desta

maneira, a variabilidade das variáveis utilizadas não teve influência sobre este regime de vazão.

Dentre os valores obtidos de R_a^2 no estudo, a variável explicativa de uso do solo, que obteve os melhores valores foi a Área não Vegetada, com valores de R_a^2 variando de 0,49 a 0,75, e ela também explicou varios modelos de vazão presente no estudo.

4.4.1 Desempenho dos modelos para estimativas das vazões

No treinamento, o desempenho dos modelos foi calculado a partir de valores fornecidos pela validação cruzada para cada modelo (Tabela 15).

Tabela 15 – Desempenho do modelo para o conjunto de testes

Área de drenagem	Vazões	Variáveis Explicativas			ME	MAE	NSE
		X ₁	X ₂				
56825000	Q _{max}	Ptc	Área não Vegetada	0,00	176,52	0,57	
			Floresta Natural	-0,40	19,25	0,60	
	Pa	Psc	Formação Natural não Florestal	-0,04	17,68	0,64	
			Agropecuária	-1,05	19,91	0,57	
			Área não Vegetada	0,36	16,26	0,70	
	Q _{med}	Psc	Floresta Natural	-0,64	18,12	0,67	
			Formação Natural não Florestal	0,04	16,20	0,71	
			Agropecuária	-1,15	19,04	0,64	
			Área não Vegetada	0,04	15,20	0,75	
			Ptc	Formação Natural não Florestal	1,05	19,09	0,59
			Área não Vegetada	0,21	18,97	0,60	
	56775000	Q _{med}	Pa	Área não Vegetada	0,01	17,15	0,30
56787000	Q _{med}	Psc	Floresta Natural	0,09	4,42	0,53	
			Agropecuária	0,11	4,27	0,54	
			Floresta Natural	0,05	0,91	0,42	
56800000	Q ₇	Pa	Agropecuária	0,02	0,89	0,46	
			Área não Vegetada	0,00	0,84	0,48	
			Formação Natural não Florestal	-0,05	3,30	0,34	
56765000	Q _{med}	Pa	Área não Vegetada	0,02	2,58	0,45	
	Q _{med}	Psc	Área não Vegetada	0,07	2,41	0,48	

Os modelos que apresentaram os piores desempenho dentre os avaliados foram: estação 567750000 para o cálculo da Q_{med}, com as variáveis explicativas Pa e

Área não Vegetada; e 56800000 para o cálculo da Q_{med} , com as variáveis explicativas P_{sc} e Formação Natural não Florestal, onde os valores apresentados de NSE foram iguais a 0,30 e 0,34, respectivamente. E de acordo com Silva et al. (2008), esses valores não são considerados como um desempenho aceitável, considerando valores acima de 0,36.

A estação fluviométrica 56825000 apresentaram os maiores valores de NSE, obtendo valores de até 0,75 para o cálculo da Q_{med} , com as variáveis P_{sc} e Área não Vegetada.

Para os modelos que apresentaram melhor desempenho de acordo com Ritter e Munõz-Carpena (2013), para uma eficiência aceitável o NSE tem que ser com valores acima de 0,65. A única estação que obteve esses valores foi a 56825000, para o cálculo da Q_{med} , onde os valores de NSE variou de 0,67 a 0,75. O MAE obtido para o conjunto de treinamento por esses modelos que apresentaram melhor eficiência variou de 15,20 a 18,12 m³/s.

O MBE é utilizado para ver se o modelo obtido sobrestima ou subestima, a precisão do modelo não deve ser tendenciosa, e os valores devem estar próximos de zero. Os valores obtidos de MBE para os modelos, de forma geral apresentaram valores próximos a zero, os que mais distanciaram foram para a estação 56825000 para o cálculo da Q_{med} , com as variáveis: P_{sc} e Agropecuária; P_a e Agropecuária; e P_{tc} e Formação Natural não Florestal, onde os valores obtidos foram de -1,15, -1,05, e 1,05, respectivamente, onde os dois primeiros subestimam o modelo e o último sobrestima.

5. CONCLUSÕES

Das estações pluviométricas utilizadas, 12 delas possuem tendência, em sua maioria de redução. Apenas em uma estação pluviométricas no regime anual foi constatada tendência de redução para as séries das vazões mínimas, e no regime mensal três estações foram não estacionárias com tendência de redução para as séries de vazões médias e máximas para os meses de julho a setembro. Para o uso e cobertura da terra, em todas as áreas de drenagem pelo ao menos uma classe de uso apresentou tendência.

Foi constatado que o efeito isolado das precipitações pluviométricas no regime de vazões foram significativos apenas para as precipitação total anual; precipitação do semestre chuvoso e precipitação do trimestre chuvoso, em algum dos regimes de vazão, já para as classes de uso e cobertura da terra no regime de vazões não foram constatadas relações significativas.

Constatou-se que para prever os regimes de vazão na bacia do rio Santo Antônio, a partir das variáveis de precipitações pluviométricas e das classes de uso e cobertura da terra foi significativo em quase todas as áreas de drenagem, no entanto não foram para todos os regimes de vazões.

Na modelagem do regime de vazões na bacia do rio Santo Antônio, as variáveis explicativas mais importantes foram as precipitação total anual; precipitação do semestre chuvoso e precipitação do trimestre chuvoso e as classes de usos Floresta Natural, Formação Natural não Florestal, Agropecuária e Área não Vegetada, sendo a Área não Vegetada a que possuiu os maiores valores de correlação.

REFERÊNCIAS

- ADAM, K. N. et al. Mudanças climáticas e vazões extremas na Bacia do Rio Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 999-1007, 2015.
- 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.; MELO NETO, J. de O.; CAMPOS, J. A. Uso de NDVI para análise do comportamento do regime de vazões do rio Paraopeba, MG. **Scientia agraria**, v. 18, n. 3, p. 8-19, 2017.
- AIRES, U. R. V. **Utilização de NDVI para análise da influência da modificação da cobertura vegetal no regime de vazões**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 97 p. 2018.
- ALMEIDA, A. C. de; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista árvore**, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.
- ALMEIDA, D. N. O. de et al. Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, 2018.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013.
- ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Variabilidade, anomalia e mudança climática. **Material didático**, 2007. Disponível em: <https://portais.ufg.br/up/68/o/variabilidade__anomalia_e_mudan__as_clim__ticas.pdf>. Acesso em: 24 jun 2019.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2. 2003.
- ATTORRE, F. et al. Comparison of interpolation methods for mapping climatic and bioclimatic variables at regional scale. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 13, p. 1825-1843, 15 nov. 2007.
- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.
- BAJRACHARYA, A. R. et al. Climate change impact assessment on the hydrological regime of the Kaligandaki Basin, Nepal. **Science of the Total Environment**, v. 625, p. 837-848, 2018.

BAYER, D. M. **Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 172 p. 2014.

BELISÁRIO, D. L. et al. Hidrogramas de cheias em função de alterações no uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica sete voltas no município de Taubaté, SP. **Repositório de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2017.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. In: Tucci, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS, p.177-241, 2012.

BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T.; BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T. Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos para Estações no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 215–226, jun. 2017.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; MARTINS, S. V.; SOARES, C. P. B. Caracterização hidroambiental da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 249-256, 2006.

CARUSO, C.; QUARTA, F. Interpolation methods comparison. **Computers & Mathematics with Applications**, v. 35, n. 12, p. 109–126, 1998.

CASAVECCHIA, B. H. et al. Tendências em séries históricas de precipitação na região amazônica de Mato Grosso. **REVISTA DE CIÊNCIAS AGROAMBIENTAIS**, v. 14, n. 2, 2016.

CAVALCANTE, R. B. L. **Planejamento de povoamentos de eucaliptos com condicionantes hidrológicos: um estudo de caso em Eldorado do Sul/RS**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 114 p. 2011.

CBH-SANTO ANTÔNIO. Comitê da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio. **A bacia**. Disponível em: <<http://www.cbhsantoantonio.org.br/a-bacia>>. Acesso em: 22 out. 2018.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. Ti. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 81-88, 2015.

CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature. **Geoscientific model development**, v. 7, n. 3, p. 1247-1250, 2014.

CHIARANDA, R. et al. Análise da precipitação e da vazão da bacia do Rio Cuiabá. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, 2012.

COE, M. T. et al. The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1-3, p. 119-131, 2011.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change?. **Journal of Hydrology**, v. 245, n. 1-4, p. 218-238, 2001.

COSTA, D. P. et al. Novas tecnologias e sensoriamento remoto: aplicação de uma oficina didática para a disseminação das potencialidades dos produtos e ferramentas do mapbiomas. **Sustainability, Agri, Food and Environmental Research**, 2018.

COSTA, G. M.; COSTA, H. S. M. **Novas e velhas diferenças: desafios à gestão metropolitana no Vale do Aço**. Anais do XII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambu, Sessão Temática 11, 2000.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para a Psicologia: usando o SPSS para Windows**, 2006. 3ª edição. Artmed. Porto Alegre.

FERREIRA, D. L.; PENEREIRO, J. C.; FONTOLAN, M. R. Análises estatísticas de tendências das séries hidro-climáticas e de ações antrópicas ao longo das sub-bacias do rio Tietê. **HOLOS**, v. 2, p. 50-68, 2015.

FIGUEIREDO FILHO et al. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson: o retorno. **Leviathan (São Paulo)**, n. 8, p. 66-95, 2014.

GAO, B.; YANG, D.; ZHAO, T.; YANG, H. Changes in the eco-flow metrics of the upper Yangtze river from 1961 to 2008. **Journal of Hydrology**, v. 448, p. 30-38, 2012.

GAO, J.; KIRKBY, M.; HOLDEN, J. The effect of interactions between rainfall patterns and land-cover change on flood peaks in upland peatlands. **Journal of Hydrology**, 2018.

GIRI, C. et al. Distribution and dynamics of mangrove forests of South Asia. **Journal of environmental management**, v. 148, p. 101-111, 2015.

GONÇALVES, E. D. et al. Identificação de regiões homogêneas e análise de regressão múltipla para regionalização de vazão na bacia hidrográfica do Rio Tapajós. **Revista Brasileira de Cartografia**, n 69/9, p.1725-1738, 2018.

GONÇALVES, F. N.; BACK, A. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 11-20, 2018.

GPRH, (2018). **Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos: Softwares**. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 22 out. 2018.

GRIMM, K. J.; MAZZA, G. L.; DAVOUDZADEH, P. Model selection in finite mixture models: A k-fold cross-validation approach. **Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal**, v. 24, n. 2, p. 246-256, 2017.

GUPTA, V.; JAIN, M. K. Investigation of Multi-model Spatiotemporal Mesoscale Drought Projections over India under Climate Change Scenario. **Journal of Hydrology**, 2018.

HAIR, J. F. et al. Análise de Regressão Múltipla. In: HAIR, J. F. et al. (Ed.). **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto alegre: Bookman: Bookman, 2009. p. 149–220.

HE, Y.; LIN, K.; CHEN, X. Effect of land use and climate change on runoff in the Dongjiang Basin of South China. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2013, 2013.

HONDA, E. A.; DURIGAN, G. A restauração de ecossistemas e a produção de água. **Hoehnea**, v. 44, n. 3. p 315-327. 2017.

HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Woody encroachment and its consequences on hydrological processes in the savannah. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**. Phil.Trans. R. Soc. B 371: 20150313. 2016.

HUANG, H. et al. Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 166-176, 2017.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações sobre a economia mineral do estado de Minas Gerais**. 2014. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004355.pdf>>. Acesso em: 05 jun 2019.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Santo Antônio PARH Santo Antônio**. 2010. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Santo_Antonio.pdf>. Acesso em: 22 out. 2018.

ISHIDA, K. et al. Trend analysis of watershed-scale precipitation over Northern California by means of dynamically-downscaled CMIP5 future climate projections. **Science of the Total Environment**, v. 592, p. 12-24, 2017.

JIANG, C. et al. Bivariate frequency analysis of nonstationary low-flow series based on the time-varying copula. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 6, p. 1521-1534, 2015.

JOSEPH, J. F.; FALCON, H. E.; SHARIF, H. O. Hydrologic trends and correlations in south Texas River basins: 1950–2009. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 12, p. 1653-1662, 2013.

JUNQUEIRA, R.; AMORIM, J. da S.; OLIVEIRA, A. S. de. Comparação entre diferentes metodologias para preenchimento de falhas em dados pluviométricos. **Sustentare**, v. 2, n. 1, p. 198-210, 2018.

KAYANO, M. T.; CAPISTRANO, V. B. How the Atlantic multidecadal oscillation (AMO) modifies the ENSO influence on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 1, p. 162-178, 2014.

- KENDALL, M.G. **Rank Correlation Methods**. Charles Griffin, London, UK. 1975.
- KIBRIA, K. N. et al. Streamflow trends and responses to climate variability and land cover change in South Dakota. **Hydrology**, v. 3, n. 1, p. 2, 2016.
- LATUF, M. De O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio Preto e Ribeirão Entre Ribeiros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 117 p. 2007.
- LENG, G.; TANG, Q.; RAYBURG, S. Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. **Global and Planetary Change**, v. 126, p. 23 – 34, 2015.
- LIMA, R. P. C. et al. Development of an annual drought classification system based on drought severity indexes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 1, 2019.
- LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ, USP, Departamento de Ciências Florestais, 1996. 318 p. (Apostila).
- LIU, S. et al. Identification of the non-stationarity of extreme precipitation events and correlations with large-scale ocean-atmospheric circulation patterns: A case study in the Wei River Basin, China. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 184-195, 2017.
- LOUREIRO, L. M. de J.; GAMEIRO, M. G. H. Interpretação crítica dos resultados estatísticos: para lá da significância estatística. **Revista de Enfermagem Referência**, n. 3, p. 151-162, 2011.
- MACÊDO, M. de N. C. de et al. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 1, p. 206, 2013.
- MACIEL, S. A. **Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 213 p. 2017.
- MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v.13, n. 7, 245-259. 1945.
- MAPBIOMAS – **Coleção 3.0 O que é o MapBiomas**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/pages/about/about>>. Acesso em: 18 nov. 2018.
- MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 2, 2013.

MAXWELL, S. K.; SYLVESTER, K. M. Identification of “ever-cropped” land (1984–2010) using Landsat annual maximum NDVI image composites: Southwestern Kansas case study. **Remote sensing of environment**, v. 121, p. 186-195, 2012.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras, UFLA, 2013, 455 p.

MENDES, N. G. de S. **Estudo das vazões na bacia hidrográfica do rio Itaperimim**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, 96 p. 2016.

MENDES, N. G. de S. et al. Relationship between the streamflows and precipitations in Itapemirim river basin. **FLORESTA**, v. 49, n. 2, p. 171-180, 2019.

MILLY, P. C. D. et al. Stationarity Is Dead: Whither Water Management?. **Science**, v. 319, n.5863, p. 573-574, 2008.

MONTAÑO, M.; SOUZA, M. P. de. Integração entre planejamento do uso do solo e de recursos hídricos: a disponibilidade hídrica como critério para a localização de empreendimentos. **Eng Sanit Ambient**, v. 21, n. 3, p. 489-495, 2016.

MORIASI, D. N., et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

MUDBHATKAL, A. et al. Impacts of Climate Change on Varied River-Flow Regimes of Southern India. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 22, n. 9, p. 0–13, set. 2017.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282–290, 1 abr. 1970.

NOVAES, L. F. de et al. Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica: Parte 1-Obtenção da equação de recessão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 1, p. 15-26, 2009.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C. de; DIAS, H. C. T.; Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1. 2005.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the changepoint problem. **Applied Statistics**, London, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

PENEREIRO, J. C.; FERREIRA, D. H. L.; GARCIA, V. F. V. Caracterização estatística de tendências climáticas em séries anuais de temperatura média e precipitação para as capitais estaduais do Brasil. **Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 3, n. 4, p. 001-015, 2013.

PORTO, J. N. L. **Parâmetros ecofisiológicos de *Podecnemis expansa*: efeito dos avanços da agropecuária**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, 66 p. 2019.

PRADO, R. B. et al. Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 2, 2007.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; BRANDÃO, V. S. **Escoamento Superficial**. Viçosa: UFV. 2. ed. 2004.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: Editora: UFV, Viçosa, 279 p., 2009.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. SANTOS, W. L.; RODRIGUES, L. N.; ANTUNES, V. L. **Infiltração de água no solo**. [S.l.: s.n.], 1997. 26p. (Caderno didático, 25).

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>.

RITTER, A.; MUÑOZ-CARPENA, R. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. **Journal of Hydrology**, v. 480, p. 33–45, 14 fev. 2013.

ROY, D. P. et al. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. **Remote sensing of Environment**, v. 185, p. 57-70, 2016.

SALIS, H. H. C. de et al. Diagnóstico da Disponibilidade Hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Manso-MG. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 64, p. 91-102, 2017.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64–73, 2016.

SANCHES, F. de O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 3, 2013.

SANTOS, C. A. dos et al. Análise estatística de séries temporais de vazão máxima anual diária na bacia hidrográfica do rio da não estacionariedade Pardo. **HOLOS**, v. 7, p. 179-193, 2016.

SANTOS, E. H. M. dos; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 826-834, 2010.

SANTOS, V. de O. **Identificação e análise de tendências das variáveis hidrológicas e mudanças no uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Uberaba, em Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 129 p. 2016.

SILVA, F. B. **Modelagem hidrológica na bacia do rio Paracatu: avaliação do modelo WEAP como ferramenta de planejamento e gestão de recursos hídricos.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 108 p. 2019.

SILVA, G. C. **Mudanças no uso do solo e comportamento das vazões na bacia do Paranaíba – Brasil.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 218 p. 2017.

SILVA, P. M. DE O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G. Modelagem da hidrógrafa de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 258–265, 2008.

SUN, S. et al. Spatial pattern of reference evapotranspiration change and its temporal evolution over Southwest China. **Theoretical and applied climatology**, v. 130, n. 3-4, p. 979-992, 2017.

THOM, H. C. S. Some of methods of climatological analysis. **World Meteorological Organization**, p. 54p., 1966.

TRIMBLE, S. W.; WEIRICH, F. H.; HOAG, B. L. Reforestation and the reduction of water yield on the Southern Piedmont since circa 1940. **Water Resources Research**, v. 23, n. 3, p. 425-437, 1987.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. **Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas–Câmara Temática de Recursos Hídricos, Brasília**, 2002.

ULIANA, E. M. et al. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Ambiente e Água**, v. 10, n. 1, p. 82–88, 1 jan. 2015.

UNESCO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos.** Água e emprego. WWAP, 2016.

UNESCO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos.** Águas residuais – O recurso inexplorado - WWAP, 2017.

VANZELA, L. et al. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, v. 14, n. 1, 2010.

VEHTARI, A.; GELMAN, A.; GABRY, J. Practical Bayesian model evaluation using leave-one-out cross-validation and WAIC. **Statistics and computing**, v. 27, n. 5, p. 1413-1432, 2017.

VERDON-KIDD, D. C.; KIEM, A. S. Regime shifts in annual maximum rainfall across Australia—implications for intensity–frequency–duration (IFD) relationships. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 12, p. 4735-4746, 2015.

VILLARINI, G. et al. Analyses of seasonal and annual maximum daily discharge records for central Europe. **Journal of Hydrology**, v. 399, n. 3-4, p. 299-312, 2011.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, v. 30, n. 1, p. 79–82, 2005.

ZHANG, Z. et al. Evaluating the non-stationary relationship between precipitation and streamflow in nine major basins of China during the past 50 years. **Journal of Hydrology**, v. 409, n. 1-2, p. 81-93, 2011.

ZHONG, X.; DUTTA, U. Engaging Nash-Sutcliffe Efficiency and Model Efficiency Factor Indicators in Selecting and Validating Effective Light Rail System Operation and Maintenance Cost Models. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, v. 3, p. 255-265, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A

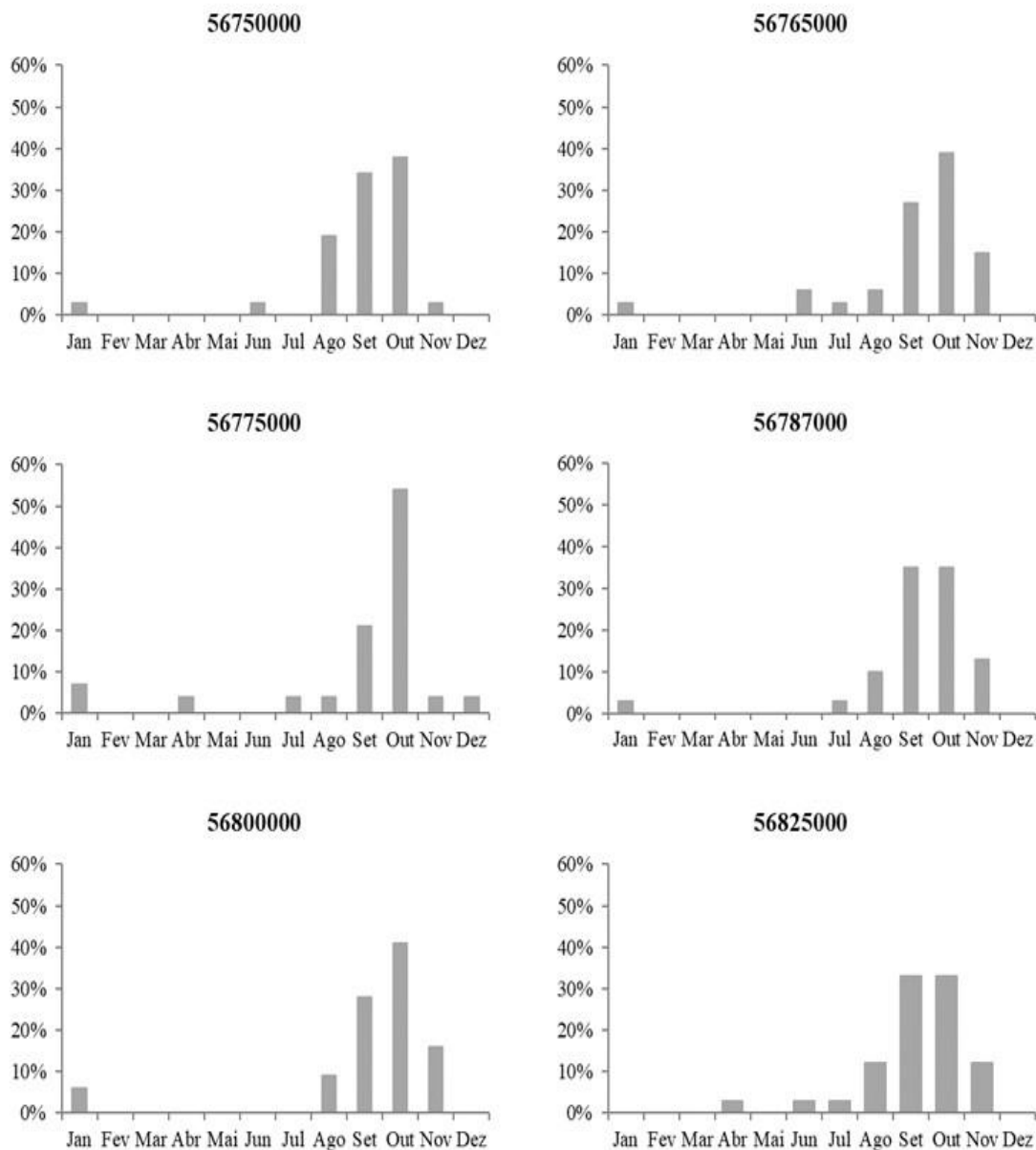


Figura 1A – Ocorrência da Q7 para os dados históricos de cada uma das seis estações fluviométricas no período base de estudo.

APÊNDICE B

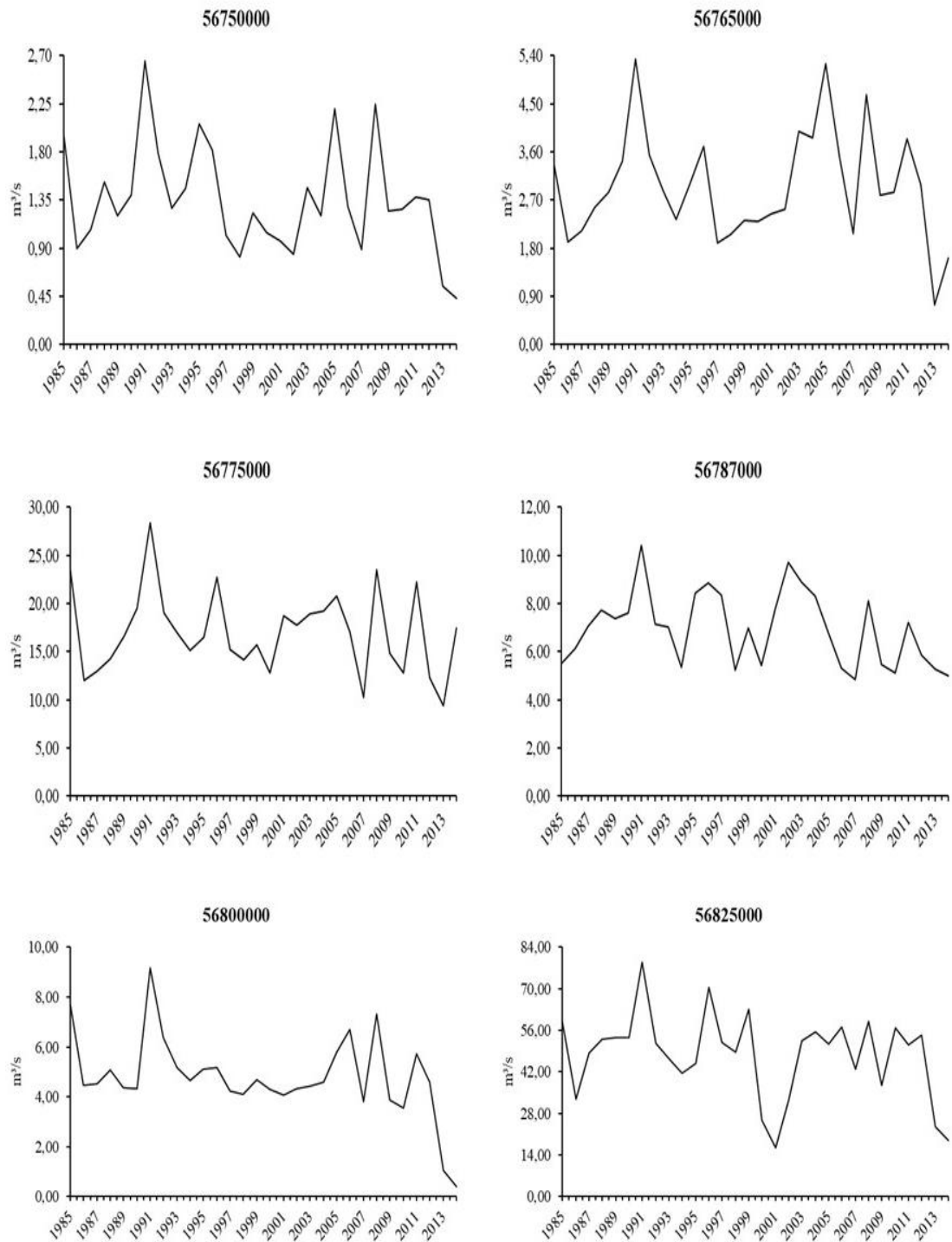


Figura 1B – Fluviograma das vazões mínimas de cada uma das seis estações fluviométricas

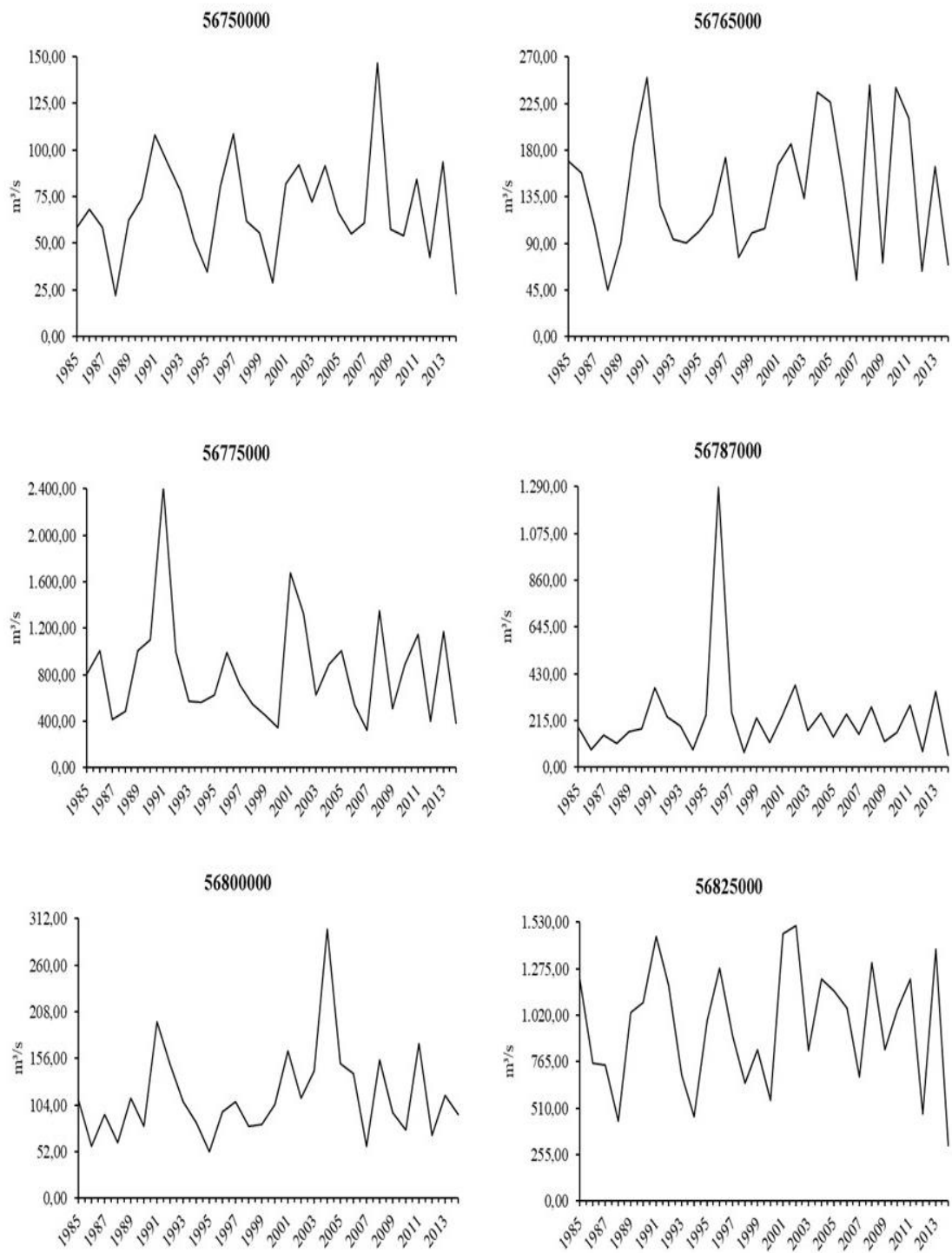


Figura 2B – Fluviograma das vazões máximas de cada uma das seis estações fluviométricas

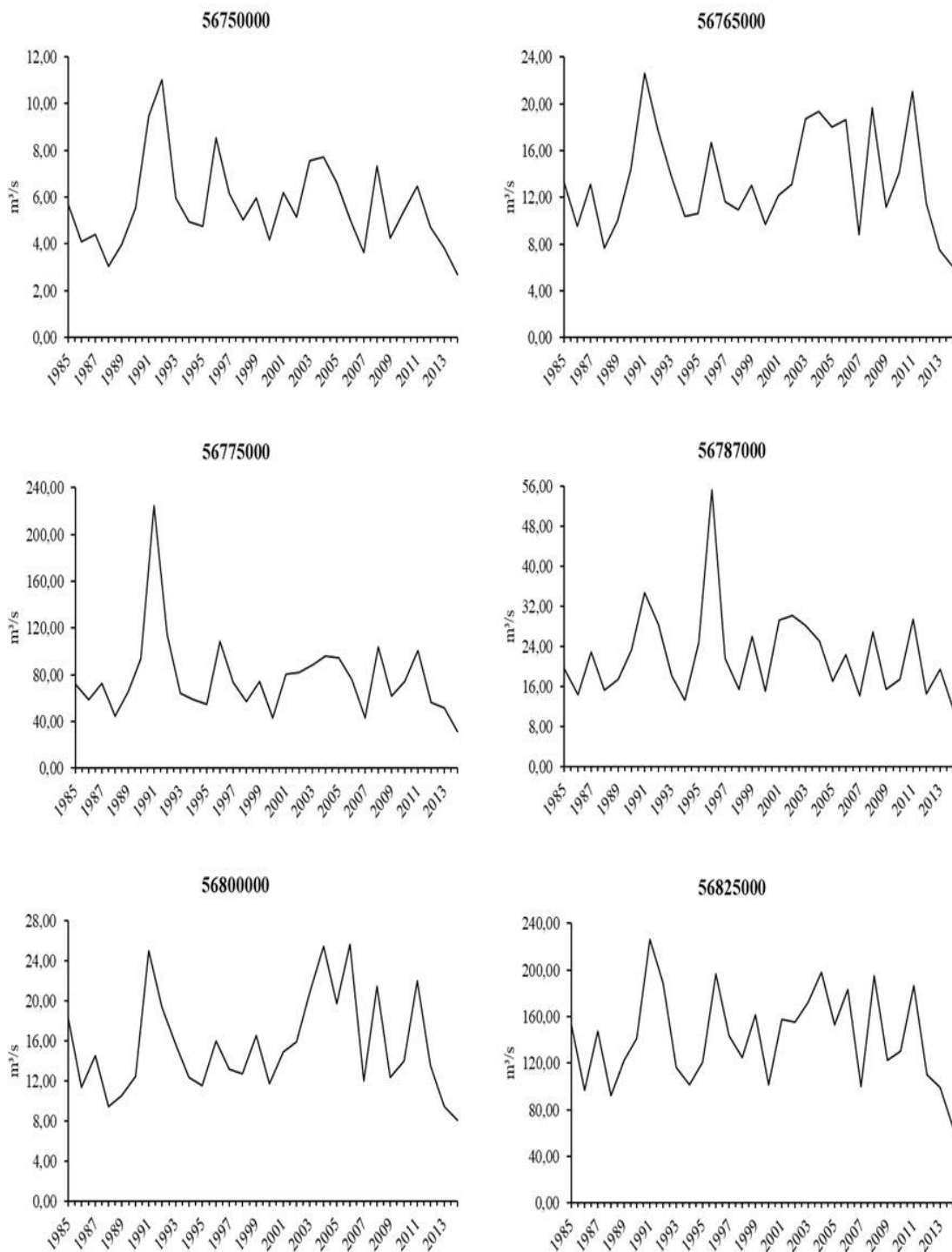


Figura 3B – Fluviograma das vazões médias de cada uma das seis estações fluviométricas

APÊNDICE C

Tabela 1C – Resultado da aplicação dos testes de Mann Kendall e Pettitt das estações fluviométricas

Estações	Tipo de vazão	Teste de Mann Kendall		Teste de Pettitt	
		Tau de Kendall	ρ	Ponto de mudança	Nível de significância (α)
56750000	Máxima	-0,016	0,915	1989	0,05
	Média	-0,039	0,775	1989	0,05
	Mínima	-0,163	0,212	1986	0,05
56765000	Máxima	0,053	0,695	2000	0,05
	Média	0,057	0,669	2011	0,05
	Mínima	0,025	0,858	2002	0,05
56775000	Máxima	-0,085	0,521	1992	0,05
	Média	-0,048	0,721	2011	0,05
	Mínima	-0,071	0,592	2006	0,05
56787000	Máxima	0,067	0,617	1990	0,05
	Média	-0,057	0,669	2004	0,05
	Mínima	-0,223	0,087	2004	0,05
56800000	Máxima	0,115	0,382	2000	0,05
	Média	0,085	0,521	1990	0,05
	Mínima	-0,267	0,040	1996	0,05
56825000	Máxima	0,030	0,830	2000	0,05
	Média	-0,007	0,972	2011	0,05
	Mínima	-0,131	0,318	1999	0,05

Tabela 2C – Resultado da aplicação dos testes de Mann Kendall e Pettitt das estações pluviométricas

Estações	Tipo de precipitação	Teste de Mann Kendall		Teste de Pettitt	
		Tau de Kendall	ρ	Ponto de mudança	Nível de significância (α)
01842007	Total anual	-0,071	0,592	2008	0,05
	Semestre chuvoso	-0,025	0,858	1990	0,05
	Semestre seco	-0,092	0,486	1992	0,05
	Trimestre chuvoso	0,011	0,943	1990	0,05
	Trimestre seco	-0,023	0,872	1994	0,05
	Mês seco	-0,113	0,416	1993	0,05
	Mês chuvoso	-0,062	0,643	1988	0,05
01843012	Total anual	0,136	0,301	1989	0,05
	Semestre chuvoso	0,145	0,269	1989	0,05

Continua...

Tabela 2C – Continuação...

Estações	Tipo de precipitação	Teste de Mann Kendall		Teste de Pettitt	
		Tau de Kendall	ρ	Ponto de mudança	Nível de significância (α)
01843012	Semestre seco	0,078	0,556	2006	0,05
	Trimestre chuvoso	0,136	0,301	1994	0,05
	Trimestre seco	0,080	0,544	2007	0,05
	Mês seco	0,325	0,019	1998	0,05
	Mês chuvoso	0,034	0,803	1991	0,05
01942029	Total anual	0,021	0,887	2000	0,05
	Semestre chuvoso	0,053	0,695	1990	0,05
	Semestre seco	-0,080	0,544	1989	0,05
	Trimestre chuvoso	0,044	0,748	1990	0,05
	Trimestre seco	-0,276	0,034	1994	0,05
	Mês seco	-0,131	0,330	1993	0,05
	Mês chuvoso	-0,025	0,858	1987	0,05
01943004	Total anual	-0,177	0,175	2004	0,05
	Semestre chuvoso	-0,085	0,521	2004	0,05
	Semestre seco	-0,260	0,046	1997	0,05
	Trimestre chuvoso	-0,034	0,803	1989	0,05
	Trimestre seco	-0,292	0,025	2005	0,05
	Mês seco	-0,212	0,153	2006	0,05
	Mês chuvoso	0,011	0,943	1990	0,05
01943023	Total anual	-0,163	0,212	2004	0,05
	Semestre chuvoso	-0,122	0,354	2004	0,05
	Semestre seco	-0,145	0,269	1997	0,05
	Trimestre chuvoso	-0,062	0,643	2003	0,05
	Trimestre seco	-0,223	0,087	1998	0,05
	Mês seco	-0,037	0,825	2006	0,05
	Mês chuvoso	-0,074	0,580	1997	0,05
01943027	Total anual	-0,039	0,775	2008	0,05
	Semestre chuvoso	-0,002	1,000	1989	0,05
	Semestre seco	-0,110	0,402	1997	0,05
	Trimestre chuvoso	0,025	0,858	2003	0,05
	Trimestre seco	-0,117	0,372	1991	0,05
	Mês seco	-0,304	0,029	1993	0,05
	Mês chuvoso	0,002	1,000	1994	0,05
01943035	Total anual	-0,094	0,475	2008	0,05
	Semestre chuvoso	-0,053	0,695	2008	0,05
	Semestre seco	-0,205	0,116	1992	0,05
	Trimestre chuvoso	-0,117	0,372	2011	0,05

Continua...

Tabela 2C – Continuação...

Estações	Tipo de precipitação	Teste de Mann Kendall		Teste de Pettitt	
		Tau de Kendall	ρ	Ponto de mudança	Nível de significância (α)
01943035	Trimestre seco	-0,145	0,269	1991	0,05
	Mês seco	-0,247	0,082	1989	0,05
	Mês chuvoso	-0,011	0,943	1992	0,05
01943042	Total anual	0,021	0,887	1989	0,05
	Semestre chuvoso	-0,044	0,748	2011	0,05
	Semestre seco	-0,007	0,972	2007	0,05
	Trimestre chuvoso	0,060	0,656	1989	0,05
	Trimestre seco	-0,035	0,803	1990	0,05
	Mês seco	0,044	0,803	1996	0,05
	Mês chuvoso	0,048	0,721	1990	0,05
01943100	Total anual	-0,039	0,775	2011	0,05
	Semestre chuvoso	0,021	0,887	2011	0,05
	Semestre seco	-0,163	0,212	1997	0,05
	Trimestre chuvoso	0,016	0,915	1994	0,05
	Trimestre seco	-0,287	0,027	1994	0,05
	Mês seco	-0,403	0,003	2002	0,05
	Mês chuvoso	0,048	0,721	2005	0,05
01843011	Total anual	0,140	0,284	2001	0,05
	Semestre chuvoso	0,163	0,212	2001	0,05
	Semestre seco	0,200	0,125	2007	0,05
	Trimestre chuvoso	-0,007	0,972	1995	0,05
	Trimestre seco	0,002	1,000	2008	0,05
	Mês seco	0,176	0,206	1998	0,05
	Mês chuvoso	0,120	0,363	2003	0,05
01942030	Total anual	-0,057	0,669	2010	0,05
	Semestre chuvoso	0,021	0,887	1989	0,05
	Semestre seco	-0,228	0,080	1993	0,05
	Trimestre chuvoso	-0,051	0,708	2008	0,05
	Trimestre seco	-0,228	0,080	1992	0,05
	Mês seco	-0,276	0,042	1993	0,05
01942032	Mês chuvoso	0,025	0,858	2002	0,05
	Total anual	-0,154	0,239	2008	0,05
	Semestre chuvoso	-0,062	0,643	2008	0,05
	Semestre seco	-0,172	0,187	1992	0,05
	Trimestre chuvoso	-0,122	0,354	2008	0,05
	Trimestre seco	-0,154	0,239	1992	0,05
	Mês seco	-0,236	0,079	1992	0,05
Mês chuvoso	-0,039	0,775	1997	0,05	

Continua...

Tabela 2C – Continuação...

Estações	Tipo de precipitação	Teste de Mann Kendall		Teste de Pettitt	
		Tau de Kendall	ρ	Ponto de mudança	Nível de significância (α)
01943002	Total anual	-0,030	0,830	2011	0,05
	Semestre chuvoso	0,011	0,943	2011	0,05
	Semestre seco	0,057	0,669	2006	0,05
	Trimestre chuvoso	0,025	0,858	1994	0,05
	Trimestre seco	-0,223	0,087	1998	0,05
	Mês seco	-0,262	0,049	1992	0,05
	Mês chuvoso	0,057	0,669	2002	0,05
01943003	Total anual	0,048	0,721	1994	0,05
	Semestre chuvoso	0,108	0,412	1994	0,05
	Semestre seco	-0,025	0,858	1989	0,05
	Trimestre chuvoso	0,062	0,643	1994	0,05
	Trimestre seco	-0,062	0,643	1992	0,05
	Mês seco	0,176	0,192	1998	0,05
	Mês chuvoso	0,168	0,199	1999	0,05
01943008	Total anual	0,034	0,803	1993	0,05
	Semestre chuvoso	0,117	0,372	1993	0,05
	Semestre seco	-0,094	0,475	1997	0,05
	Trimestre chuvoso	0,053	0,695	1994	0,05
	Trimestre seco	-0,232	0,074	1998	0,05
	Mês seco	-0,296	0,039	2005	0,05
	Mês chuvoso	0,053	0,695	1994	0,05
01943025	Total anual	-0,034	0,803	2008	0,05
	Semestre chuvoso	0,021	0,887	2000	0,05
	Semestre seco	-0,117	0,372	1991	0,05
	Trimestre chuvoso	0,062	0,643	1999	0,05
	Trimestre seco	-0,251	0,054	1992	0,05
	Mês seco	-0,211	0,125	1992	0,05
	Mês chuvoso	0,007	0,972	2000	0,05
01943010	Total anual	-0,039	0,775	2011	0,05
	Semestre chuvoso	-0,011	0,943	2011	0,05
	Semestre seco	-0,069	0,605	1998	0,05
	Trimestre chuvoso	-0,018	0,901	2011	0,05
	Trimestre seco	-0,113	0,392	1991	0,05
	Mês seco	0,174	0,212	2004	0,05
	Mês chuvoso	-0,076	0,568	1996	0,05
01943049	Total anual	-0,180	0,169	2005	0,05
	Semestre chuvoso	-0,097	0,464	2009	0,05

Continua...

Tabela 2C – Continuação...

Estações	Tipo de precipitação	Teste de Mann Kendall		Teste de Pettitt	
		Tau de Kendall	ρ	Ponto de mudança	Nível de significância (α)
01943049	Semestre seco	-0,331	0,011	1998	0,05
	Trimestre chuvoso	-0,249	0,056	2004	
	Trimestre seco	0,099	0,454	2003	0,05
	Mês seco	-0,136	0,389	1987	0,05
	Mês chuvoso	-0,154	0,239	2005	0,05
01944020	Total anual	-0,315	0,015	1996	0,05
	Semestre chuvoso	-0,255	0,050	1996	0,05
	Semestre seco	-0,331	0,011	1998	0,05
	Trimestre chuvoso	-0,103	0,432	2002	0,05
	Trimestre seco	-0,207	0,112	1990	0,05
	Mês seco	0,000	1,000	1995	0,05
	Mês chuvoso	-0,021	0,887	1996	0,05
01843000	Total anual	0,034	0,803	2001	0,05
	Semestre chuvoso	0,025	0,858	2001	0,05
	Semestre seco	-0,025	0,858	1993	0,05
	Trimestre chuvoso	0,044	0,748	2001	0,05
	Trimestre seco	-0,002	1,000	1990	0,05
	Mês seco	-0,146	0,352	1989	0,05
	Mês chuvoso	0,048	0,721	2001	0,05
01943007	Total anual	0,343	0,008	1995	0,05
	Semestre chuvoso	0,329	0,011	1995	0,05
	Semestre seco	0,172	0,187	2005	0,05
	Trimestre chuvoso	0,241	0,064	1995	0,05
	Trimestre seco	-0,044	0,748	1992	0,05
	Mês seco	0,094	0,498	2011	0,05
01943001	Mês chuvoso	0,205	0,116	1998	0,05
	Total anual	-0,021	0,887	1990	0,05
	Semestre chuvoso	0,101	0,443	1992	0,05
	Semestre seco	-0,080	0,544	1993	0,05
	Trimestre chuvoso	0,023	0,872	1990	0,05
	Trimestre seco	-0,159	0,225	1990	0,05
	Mês seco	-0,034	0,813	2005	0,05
01942008	Mês chuvoso	-0,136	0,301	2003	0,05
	Total anual	0,117	0,372	2000	0,05
	Semestre chuvoso	0,108	0,412	1995	0,05
	Semestre seco	-0,103	0,432	1993	0,05
	Trimestre chuvoso	0,030	0,830	1991	0,05

Continua...

Tabela 2C – Resultado da aplicação dos testes de Mann Kendall e Pettitt das estações pluviométricas

Estações	Tipo de precipitação	Teste de Mann Kendall		Teste de Pettitt	
		Tau de Kendall	ρ	Ponto de mudança	Nível de significância (α)
01942008	Trimestre seco	-0,021	0,887	2008	0,05
	Mês seco	-0,046	0,743	1992	0,05
	Mês chuvoso	0,264	0,042	1991	0,05
01842020	Total anual	0,154	0,239	1990	0,05
	Semestre chuvoso	0,140	0,284	1990	0,05
	Semestre seco	0,034	0,803	2007	0,05
	Trimestre chuvoso	0,080	0,544	1990	0,05
	Trimestre seco	0,106	0,422	2007	0,05
	Mês seco	0,087	0,547	1998	0,05
	Mês chuvoso	0,071	0,592	1990	0,05

Tabela 3C – Resultado da aplicação dos testes de Mann Kendall e Pettitt dos usos e cobertura da terra

Área de Drenagem	Uso da Terra	Teste de Mann Kendall		Teste de Pettitt	
		Tau de Kendall	ρ	Ponto de mudança	Nível de significância (α)
56825000	Floresta Natural	-0,660	0,000	2001	0,05
	Floresta Plantada	0,747	0,000	1993	0,05
	Formação Natural não Florestal	0,467	0,000	2002	0,05
	Agropecuária	0,402	0,002	2001	0,05
	Área não vegetada	-0,002	1,000	1992	0,05
56775000	Floresta Natural	-0,384	0,003	2003	0,05
	Floresta Plantada	0,572	0,000	2003	0,05
	Formação Natural não Florestal	0,425	0,001	2002	0,05
	Agropecuária	0,232	0,074	2003	0,05
	Área não vegetada	0,021	0,887	1992	0,05
56787000	Floresta Natural	-0,697	0,000	2001	0,05
	Floresta Plantada	0,366	0,005	2007	0,05
	Formação Natural não Florestal	0,434	0,001	2003	0,05

Continua...

Tabela 3C – Continuação...

Área de Drenagem	Uso da Terra	Teste de Mann Kendall		Teste de Pettitt	
		Tau de Kendall	ρ	Ponto de mudança	Nível de significância (α)
56787000	Agropecuária	0,595	0,000	1998	0,05
	Área não vegetada	-0,476	0,000	2001	0,05
56800000	Floresta Natural	-0,572	0,000	2001	0,05
	Floresta Plantada	0,931	0,000	2001	0,05
	Formação Natural não Florestal	-0,048	0,721	1988	0,05
	Agropecuária	0,425	0,001	2001	0,05
	Área não vegetada	0,177	0,175	1992	0,05
56765000	Floresta Natural	-0,232	0,074	2006	0,05
	Floresta Plantada	1,000	1,000	1985	0,05
	Formação Natural não Florestal	0,470	0,000	2005	0,05
	Agropecuária	0,177	0,175	2006	0,05
	Área não vegetada	0,145	0,269	2006	0,05
56750000	Floresta Natural	-0,067	0,617	2006	0,05
	Floresta Plantada	1,000	1,000	1985	0,05
	Formação Natural não Florestal	0,490	0,000	2004	0,05
	Agropecuária	-0,154	0,239	1991	0,05
	Área não vegetada	0,076	0,568	1992	0,05

APÊNDICE D

Tabela 1D – Relações entre as vazões mínima (Q₇), média (Q_{med}) e máxima (Q_{max}) e os percentuais de cobertura e uso do solo nas sub-bacias em estudo

Floresta Natural						
Área de drenagem	Q ₇		Q _{med}		Q _{max}	
	R ²	Valor-p	R ²	Valor-p	R ²	Valor-p
56825000	0,058	0,199	0,014	0,540	0,002	0,799
56775000	0,025	0,406	0,018	0,484	0,023	0,426
56787000	0,047	0,248	0,006	0,686	0,001	0,892
56800000	0,073	0,149	0,010	0,606	0,023	0,420
56765000	0,019	0,464	0,002	0,816	0,005	0,722
56750000	0,019	0,463	0,047	0,252	0,009	0,618
Floresta Plantada						
Área de drenagem	Q ₇		Q _{med}		Q _{max}	
	R ²	Valor-p	R ²	Valor-p	R ²	Valor-p
56825000	0,063	0,179	0,009	0,628	0,002	0,803
56775000	0,048	0,246	0,030	0,362	0,007	0,673
56787000	0,002	0,829	0,001	0,906	0,002	0,833
56800000	0,149	0,035	0	0,942	0,004	0,734
56765000	-	-	-	-	-	-
56750000	-	-	-	-	-	-
Formação Natural não Florestal						
Área de drenagem	Q ₇		Q _{med}		Q _{max}	
	R ²	Valor-p	R ²	Valor-p	R ²	Valor-p
56825000	0,052	0,224	0,075	0,142	0,019	0,469
56775000	0,077	0,137	0,060	0,190	0,016	0,506
56787000	0,019	0,473	0,017	0,497	0,011	0,576
56800000	5E-06	0,991	0,066	0,170	0,232	0,007
56765000	0,075	0,145	0,030	0,362	0,000	0,935
56750000	0,006	0,681	0,026	0,399	0,008	0,634
Agropecuária						
Área de drenagem	Q ₇		Q _{med}		Q _{max}	
	R ²	Valor-p	R ²	Valor-p	R ²	Valor-p
56825000	0,035	0,320	0,002	0,804	0,000	0,995
56775000	0,001	0,885	2E-04	0,937	0,019	0,474

Continua...

Tabela 1D – Continuação...

Agropecuária						
Área de drenagem	Q7		Qmed		Qmax	
	R2	Valor-p	R2	Valor-p	R2	Valor-p
56787000	0,047	0,249	0,003	0,760	0,000	0,964
56800000	0,029	0,368	0,021	0,444	0,041	0,284
56765000	0,027	0,384	0,004	0,728	0,007	0,651
56750000	0,047	0,248	0,037	0,309	0,012	0,559
Área não Vegetada						
Área de drenagem	Q7		Qmed		Qmax	
	R2	Valor-p	R2	Valor-p	R2	Valor-p
56825000	0,01	0,605	0,051	0,230	0,053	0,221
56775000	0,028	0,380	0,048	0,246	0,029	0,367
56787000	0,041	0,286	0,004	0,751	0,005	0,710
56800000	0,008	0,634	0,026	0,393	0,030	0,361
56765000	0,014	0,536	0,033	0,334	0,048	0,244
56750000	0,007	0,662	0,002	0,818	0,002	0,813