Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

ALTERAÇÕES NO USO DA TERRA ENTRE 1987 E 2013 E A VARIABILIDADE HIDROLÓGICA NO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO JACARÉ GUAÇÚ (SP)

SOUZA, Vladimir de – vladimirdesouza@yahoo.com.br
Instituto Federal de São Paulo / IFSP

GALVANI, Emerson – egalvani@usp.br
Universidade de São Paulo / USP

RESUMO: As modificações no uso da terra e cobertura dos solos podem proporcionar variabilidade hidrológica em bacias hidrográficas localizadas em regiões de clima tropical. O presente estudo teve como objetivo determinar as alterações no uso da terra entre 1987 e 2013 e analisar suas implicações na variabilidade da vazão fluvial e da precipitação pluviométrica no médio curso da bacia do rio Jacaré Guaçú, localizada no setor central do Estado de São Paulo. Dados hidrológicos, de Sensoriamento Remoto, análise estatística e técnicas de Geoprocessamento foram usadas para atingir o objetivo proposto. Os resultados demonstraram um aumento da cultura temporária, do solo exposto, das áreas urbanas e da silvicultura sobre locais destinados às pastagens, campos, vegetação arbórea, cultura anual, lagos e represas na área de estudo. O teste t de Student usado para comparar a média dos dados hidrológicos (precipitação e vazão) dos anos estudados indicou aceitação da hipótese de aumento significativo da média de descarga fluvial nos meses de junho, julho e agosto de 2013 em função das alterações de uso da terra. O mesmo teste rejeitou a hipótese de variabilidade significativa de médias para a vazão fluvial em maio de 2013 e para os dados de precipitação pluvial dos meses analisados (maio, junho, julho e agosto).

PALAVRAS-CHAVE: Vazão fluvial, uso da terra, bacia hidrográfica

CHANGES IN LAND USE BETWEEN 1987 AND 2013 AND THE HYDROLOGICAL VARIABILITY IN THE MEDIUM JACARÉ GUAÇÚ STREAM BASIN (SÃO PAULO STATE - BRAZIL)

ABSTRACT: This paper aims identify changes in land use between 1987 and 2013 and analyzes the implications of these alterations in river flow and rainfall in medium Jacaré Guaçú stream basin (São Paulo State - Brazil). Hydrological and Remote Sensing data, statistical analysis and Geoprocessing techniques were used to elaborate this research. The results showed an increase of temporary crop, exposed soil, urban areas and forestry on areas previously intended for pastures, fields, forest vegetation, annual crops, and lakes in the study area. The Student t test used to compare the average rainfall and river flow of the years studied (1987 and 2013) indicated acceptance of the hypothesis of a significant increase in the average river discharge in the months of June, July and August of 2013 due to land use changes. For the daily rainfall data of May, June, July and August and river flow to May the Student t test rejected the hypothesis of significant variability of averages due to land use changes between 1987 and 2013.

KEYWORDS: River flow, land use, watershed.

CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA ENTRE 1987 Y 2013 Y LA VARIABILIDAD HIDROLÓGICA EN EL MEDIO CURSO DE LA CUENCA DEL RÍO JACARÉ GUAÇÚ (ESTADO DE SÃO PAULO – BRASIL)

RESUMEN: El presente estudio tuvo como finalidad identificar los cambios en el uso de la tierra entre 1987 y 2013 y analizar sus implicaciones en la variabilidad del caudal fluvial y de la precipitación pluviométrica en el medio curso de la cuenca del río Jacaré Guaçú, ubicada en el sector central del Estado de São Paulo, sudeste de Brasil. Se utilizaron datos hidrológicos, de Percepción Remota, análisis estadístico y técnicas de

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

geoprocesamiento para alcanzar el objetivo propuesto. Los resultados demostraron una expansión del cultivo de la caña de azúcar, suelo expuesto, áreas urbanas y forestales sobre emplazamientos dedicados a pastizales, vegetación arbórea, cultivo agrícola anuale, estanques y presas en el área de estudio. Lo test t de Student usado para comparar la media de los datos hidrológicos (precipitación y caudal) de los años estudiados indicó la aceptación de la hipótesis de aumento significativo del promedio de caudal en los meses de junio, julio y agosto de 2013 en función de los cambios en el uso de la tierra. Lo mismo teste rechazó la hipótesis de variabilidad significativa de promedios para el caudal en mayo de 2013 y para los datos de precipitación pluvial de los meses analizados (mayo, junio, julio y agosto).

PALABRAS CLAVE: caudal fluvial, uso de la tierra, cuenca.

1.INTRODUÇÃO

Em uma bacia de drenagem o processo de escoamento superficial é controlado pela fisiografia da área, condicionantes climáticos (precipitação pluvial) e o uso da terra (TUCCI, 2001; PINTO et al., 2014). Algumas mudanças nos padrões de deflúvio, sobretudo na vazão fluvial, podem ser observadas devido às modificações desses fatores controladores (TUCCI, 2002).

Nessa perspectiva, em uma escala de tempo relativamente pequena, as modificações no uso e cobertura da terra tendem a ocorrer de forma mais rápida quando comparada aos demais fatores e impactar nos processos hidrológicos das bacias hidrográficas. A variabilidade nos padrões da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo condicionada pela urbanização são exemplos dessas alterações (GUIMARÃES, 2000).

Em algumas regiões do Brasil esse dinamismo de uso e cobertura da terra pode ser observado pelas frequentes alterações de locais destinados às pastagens, silvicultura ou com vegetação arbórea para áreas com cultivo agrícola temporário. Em termos hidrológicos, o aumento do escoamento superficial e consequentemente da vazão fluvial em detrimento do processo de interceptação, evapotranspiração e infiltração de água no solo podem ocorrer no período de exposição das terras existentes entre as safras das lavouras temporárias (TUCCI, 2002).

A avaliação das mudanças no uso das terras e os impactos no regime de descarga fluvial podem ser analisados por meio de estudos de correlação, em bacias pareadas e em uma única bacia hidrográfica (McCULLOCH, ROBINSON, 1993). Os estudos de correlação têm como base a comparação entre vazões fluviais em bacias com características morfométricas semelhantes, mas com uso e cobertura vegetal distinta. No estudo de bacias pareadas monitora-se a vazão de duas bacias semelhantes em termos fisiográficos e vegetacionais. Após um determinado período altera-se propositalmente o uso e a cobertura da terra em uma das bacias e aplica-se a análise comparativa dos dados de vazão fluvial para as duas unidades, ou seja, a alterada e a sem alteração.

Os estudos que se baseiam na análise de uma única bacia hidrográfica (ou de parte dela) consiste em verificar a variabilidade da descarga fluvial em períodos anteriores e posteriores às mudanças ocorridas no uso e cobertura das terras. A análise, quantificação e comparação estatística multitemporal de dados de uso da terra, de precipitação pluvial e de vazão fluvial são exemplos metodológicos desenvolvidos nesse tipo de estudo.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Dentro dessa perspectiva, o presente estudo teve como objetivo determinar as alterações no uso e ocupação da terra em 1987 e 2013 e avaliar as implicações dessas mudanças no regime de vazão fluvial e de precipitação pluviométrica do médio curso da bacia do Jacaré Guaçú, localizada no setor central do estado de São Paulo. Na referida região paulista ocorreu um aumento considerável da área de cultivo de cana-de-açúcar entre 2003 e 2010 (RUDORF et al., 2010) o que motivou o desenvolvimento do presente estudo. Nesse sentido, foram utilizados dados hidrológicos (precipitação pluviométrica e vazão fluvial), de Sensoriamento Remoto, análise estatística e técnicas de Geoprocessamento para atingir o objetivo proposto.

1.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no médio curso da bacia do rio Jacaré Guaçú, localizada na região central do Estado de São Paulo, sudeste do Brasil (Fig. 1).

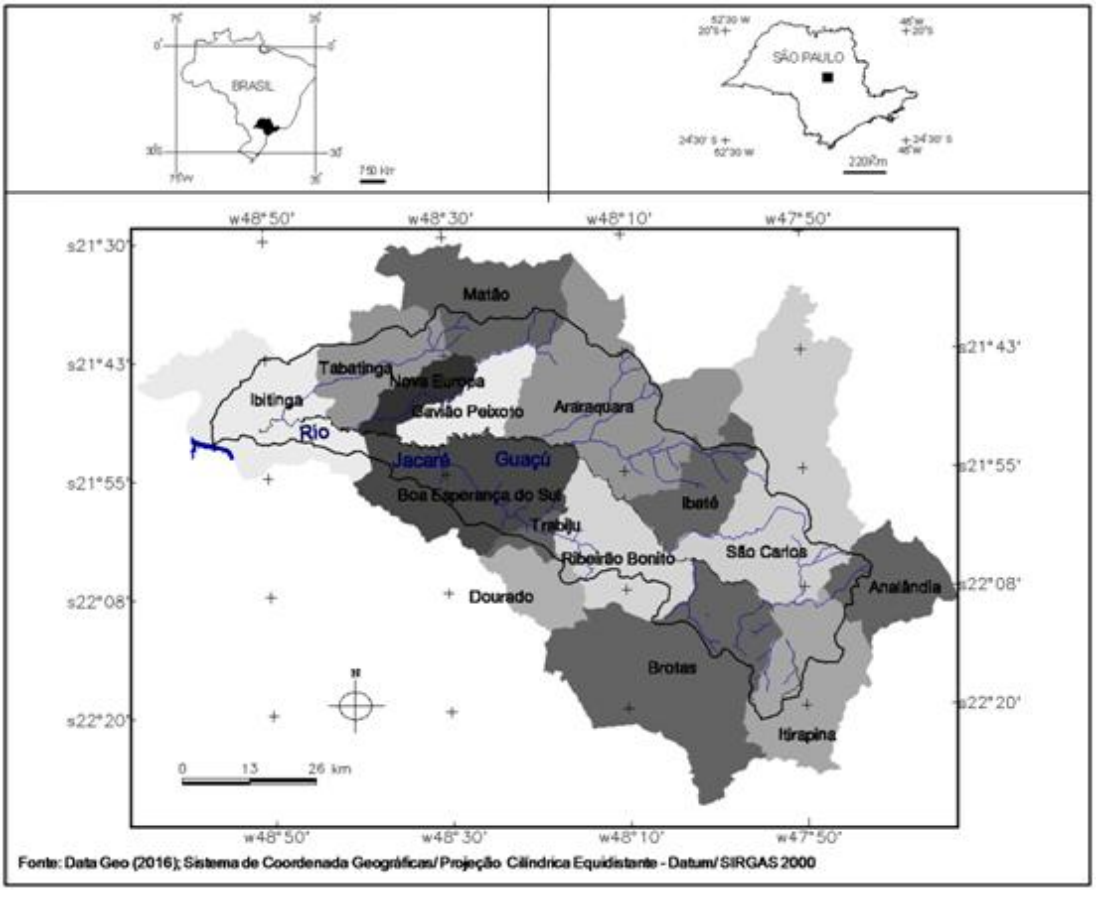


Figura 1 – Localização da bacia do rio Jacaré Guaçú. Elaborado pelos autores.

A bacia hidrográfica possui área aproximada de 4057 km^2 e abrange os municípios de Nova Europa, Gavião Peixoto e partes de São Carlos, Brotas, Analândia, Ribeirão Bonito, Araraquara, Ibaté, Matão, Ibitinga, Itirapina, Tabatinga, Trabiju, Dourado e Boa Esperança do Sul.

Em termos geomorfológicos, no que tange a morfoestrutura, a área de estudo é sustentada por rochas sedimentares e, em algumas localidades,

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

vulcânicas da bacia Fanerozóica do Paraná. Em termos morfoesculturais a bacia hidrográfica encontra-se sobre o Planalto Ocidental Paulista, especificamente nas subunidades Planalto Residual de São Carlos e Planalto Centro Ocidental (ROSS, MOROZ, 1997; PERROTA et al., 2005). Associados a esses compartimentos ocorrem solos com morfologia e características físicas variadas como os Latossolos, Argissolos, Neossolos, Gleissolos, Planossolos e Organossolos (OLIVEIRA, 1999).

O clima da área de estudo é o tropical alternadamente seco e úmido com total pluviométrico anual médio que varia entre 1100 e 2000 mm, temperatura média do mês mais frio entre 15ºC e 18ºC e do mês mais quente acima de 22ºC (MONTEIRO, 1973; SANT'ANNA NETO, 1995; IBGE 2002). Os dados do INMET (2020) referente à normal climatológica (1981 a 2010) do município de São Carlos (Figura 2) ratificam os resultados determinados pelos autores citados no que diz respeito à pluviosidade e temperatura média do ar.

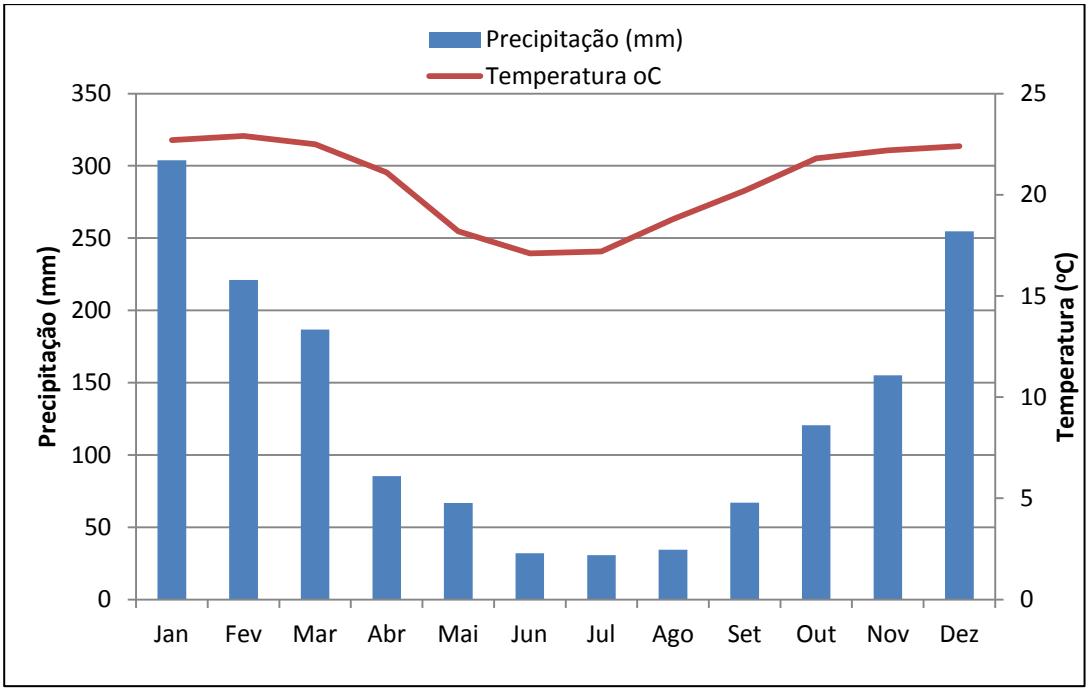


Figura 2 – Climograma do município de São Carlos - SP. Fonte: INMET, 2020. Elaborado pelos autores.

Nos municípios que compõem a bacia hidrográfica, cuja população estimada é 516912 habitantes, são desenvolvidas atividades agropecuárias (culturas temporárias, anual e pecuária bovina), industriais e comerciais junto às áreas urbanas dos municípios (IBGE, 2017). As vegetações remanescentes da Savana (Cerrado) e da Floresta Estacional Semidecidual (Mata Atlântica) podem ser verificadas em alguns setores da área de estudo (IBGE, 1992).

2. MÉTODOS E TÉCNICAS

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Para ao desenvolvimento do trabalho foram realizados procedimentos metodológicos para a análise dos dados hidrológicos (variabilidade da precipitação pluvial e vazão fluvial) e de Sensoriamento Remoto (determinação do uso da terra). Especificamente, os dados (hidrológicos e de Sensoriamento Remoto) são representativos de datas dos anos 1987 e 2013, anos estabelecidos para análise comparativa das variáveis mencionadas. Os métodos e técnicas usados em cada etapa são detalhados a seguir.

2.1 DADOS HIDROLÓGICOS

Para a identificação da variabilidade da vazão fluvial e da precipitação pluvial foram usados dados diários de dois postos pluviométricos (C5-50 e D5-076) e um fluviométrico (5C 013) compilados do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2013). A figura 3 exibe a localização dos postos na bacia hidrográfica do rio Jacaré Guaçú representados com seus respectivos prefixos DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) e plotados sobre o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo e de seu entorno.

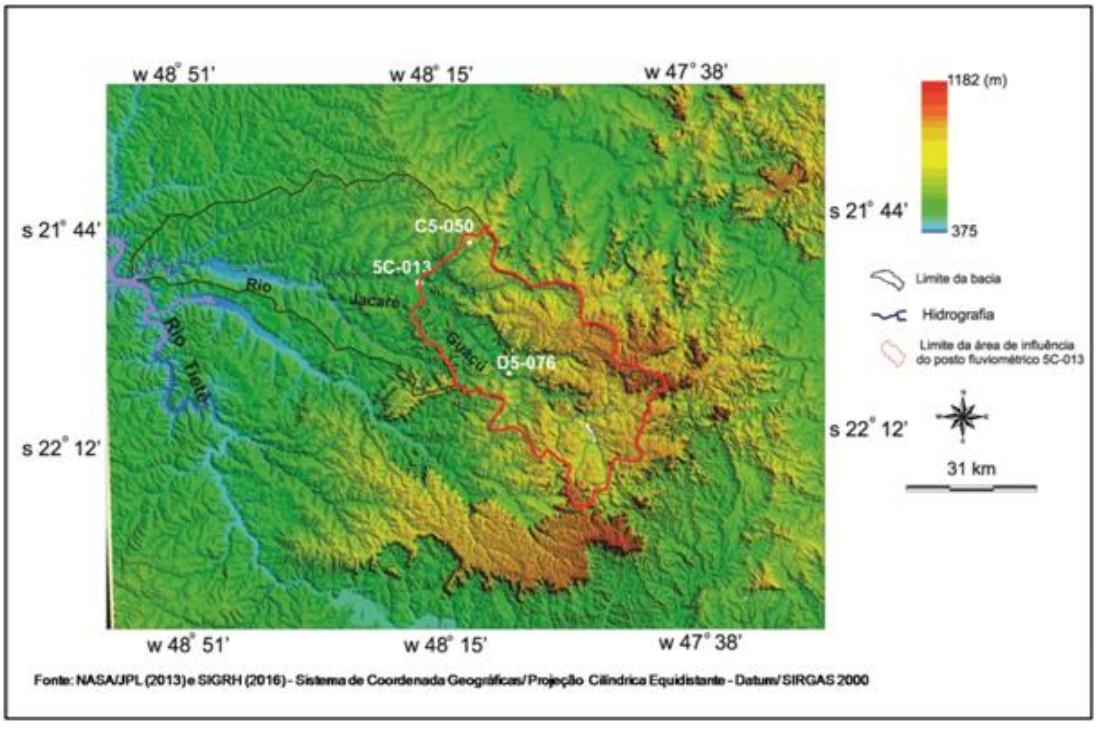


Figura 3 – Localização dos postos pluviométricos, fluviométrico e sua área de influência na área de estudo. Elaborado pelos autores.

O posto fluviométrico 5C 013, disposto no médio curso da bacia hidrográfica, foi o único que apresentou série histórica diária completa compatível com a data das imagens orbitais usadas para a classificação do uso da terra, ou seja, 1987 e 2013. Com isso, toda a determinação, quantificação e análise da precipitação, vazão e uso da terra ocorreram em função da área de influência do posto fluviométrico, cujo limite topográfico é destacado com a linha vermelha na figura 3.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Após a aquisição dos dados foram usadas técnicas de estatística descritiva para organização e elaboração de histogramas com a representação diária e sazonal das variáveis hidrometereológicos.

Para verificar se a variabilidade das médias dos anos analisados é significativa estaticamente, em função das alterações ocorridas no uso da terra, foram realizados dois procedimentos. Primeiro, a análise de variância fator único (Anova) foi usada para definir se este parâmetro estatístico dos dados comparados apresentou variação estatística significativa. As hipóteses testadas a uma confiança de 95% foram:

H0 (Hipótese Nula): Não há diferença significativa das variâncias das amostras comparadas;

H1 (Hipótese Alternativa): Há diferença significativa das variâncias das amostras comparadas;

Em função do resultado desta análise (Anova) foi aplicado o teste paramétrico t de Student para verificar a significância estatística nas mudanças de tendência das médias históricas das variáveis hidrológicas entre os meses dos anos estudados (1987 e 2013). Em suma, quando o teste de variância (Anova) apresentou variabilidade estatística significativa aplicou-se o teste t com presunção de variância diferente e no caso oposto, para a variabilidade não significativa, o teste t escolhido foi o com variância semelhante.

Com isso, as seguintes hipóteses foram testadas para uma confiança de 95% (ou $\alpha = 0,05$):

H0 (Hipótese Nula): sem variação significativa das médias hidrometereológicos em função das alterações no uso e ocupação da terra.

H1: (Hipótese Alternativa): com variação significativa das médias hidrometereológicos em função das alterações no uso e ocupação da terra.

No total foram aplicados os testes para comparar as médias mensais de precipitação e vazão dos anos estudados (1987 e 2013) e diárias dos meses de maio, junho, julho e agosto. Tais meses correspondem aos períodos antecedentes, correspondentes e precedentes às datas das imagens orbitais usadas para determinar o uso e ocupação das terras, ou seja, 29/06/1987 e 18/07/2013. O intuito foi verificar a variabilidade em termos estatísticos dos dados hidrometereológicos em períodos relativamente próximos aos das modificações identificadas no uso e ocupação da terra.

2.2 DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Para determinar o uso e ocupação das terras em 1987 foram usadas as bandas 3,4 e 5 do sistema sensor Landsat5/TM adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2013). Para 2013 foram usadas as cenas 3,4,5 e 8 do Ladnsat8/OLI compiladas da United State Geological Servey (2013). A tabela 1 exibe as características dos dados orbitais usados para a classificação do uso e ocupação das terras.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 – Características dos dados orbitais usados no trabalho.

Sensor	*Resolução Espacial*	*Órbita/ Ponto*	*Data*	*Bandas*
Landsat5/TM	*30m*	*220/75*	*29/06/1987*	*3,4 e 5*
Landsat8/OLI	*30m e 15m (b8)*	*220/75*	*18/07/2013*	*3,4, 5 e 8*

Todos os procedimentos aplicados aos dados de Sensoriamento Remoto descritos a seguir foram realizados com o software SPRING 5.2 (CAMARA, et al. 1996). As técnicas de processamento digital das imagens orbitais usadas no trabalho têm como base os fundamentos de Lillesand e Kiefer (1994).

Inicialmente foi realizada a correção geométrica dos dados com base no mosaico Geocover s22-20-2000 que foi obtido junto ao site da USGS. Foram utilizados 12 pontos de controle para retificação com grau de polinômio 1 e interpolador vizinho mais próximo. Adotou-se a projeção cilíndrica equidistante, com sistema de coordenadas geográficas e datum SIRGAS 2000 como parâmetros geodésicos.

Após a retificação geométrica as imagens foram submetidas à técnica de realce de contraste, modelo linear com máscara 4x4. Composições coloridas sintéticas foram elaboradas por meio da associação dos canais espectrais dos sistemas sensores aos filtros B (Blue), G (Green) e R (Red) disponível no software adotado. Além disso, para os dados do sistema sensor Landsat8/OLI executou-se a técnica de fusão de imagem IHS para melhorar a resolução espacial dos dados de 30 para 15m (TU et al., 2001). Esses procedimentos auxiliaram no refinamento visual dos dados que facilitaram na identificação do uso e ocupação das terras da área de estudo.

Na sequência, para separar a área de estudo em regiões espectrais homogêneas utilizou-se a técnica de segmentação com a aplicação do método de crescimento por regiões. Após a realização de alguns testes foram definidos os valores 18 (similaridade) e 85 (área) para as imagens de 1987. Para os dados de 2013 os valores de similaridade e área foram de 10 e 69, respectivamente. Com isso, executou-se o treinamento para a aquisição das amostras e associação das mesmas com as classes de uso criadas, ou seja, área urbana, pastagem/campos, solo exposto, cultura anual, cultura temporária, silvicultura, vegetação arbórea e água do (IBGE, 2006). As regiões obtidas na segmentação foram associadas às classes temáticas criadas de acordo com suas características geométricas, texturais e espectrais. Assim, realizou-se a classificação das imagens segmentadas com uso do algoritmo Bhattacharya e limiar de aceitação de 99% (MATHER, 1993).

Após classificação dos dados orbitais procedeu-se o processo de pós-classificação cujo objetivo foi corrigir as áreas associadas erroneamente a temas que não correspondessem às classes estabelecidas. Para isso, como fonte de dados para o ano de 1987, utilizou-se o mapeamento de uso das terras do projeto do Sistema de Gestão Territorial da ABAG/RP (Associação Brasileira do Agronegócio da Região de Ribeirão Preto) em parceria com a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) /Monitoramento por Satélite, disponível em http://www.abagrp.cnpm.embrapa.br. Para 2013 foi realizado um trabalho de campo para ratificar e/ou corrigir os dados obtidos na classificação

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

automatizada. Com isso, a espacialização e quantificação das áreas de uso e ocupação das terras em 1987 e 2013 foram determinadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS

A distribuição espacial dos dados de uso e ocupação das terras em 1987 e 2013 na área de estudo pode observada na figura 4.

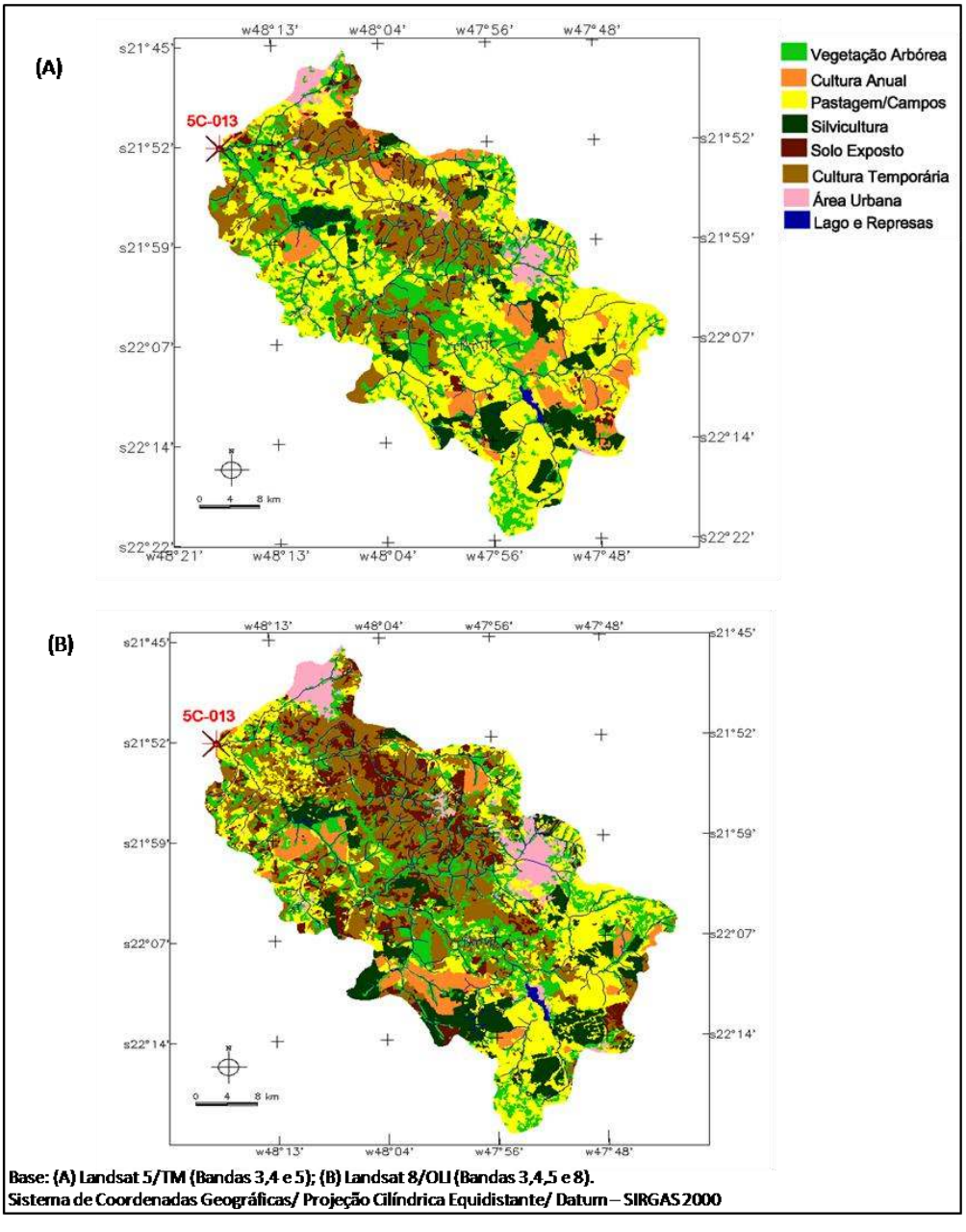


Figura 4 - Distribuição espacial dos dados de uso e ocupação das terras em 1987 (A) e 2013 (B) na área de abrangência do posto fluviométrico 5C-013 (Alto e médio Jacaré Guaçú). Elaborado pelos autores.

Por meio dos dados é possível observar diminuição expressiva de pastagem/campos e vegetação arbórea entre os anos analisados. Em contrapartida, a silvicultura, as áreas urbanizadas, a cultura temporária e os locais com solo exposto aumentaram entre 1987 e 2013. Esse dinamismo verificado no uso das terras do alto e médio jacaré Guaçú entre 1987 e 2013 está associado, sobretudo, ao aumento da área de plantio de cana de açúcar que também ocorreu em boa parte do Estado de São Paulo (RUDORF, et al., 2009). Especificamente, na área de estudo isso pode ser verificado no aumento de locais destinados a cultura temporária e com solo exposto (ambos associados ao plantio da cana) sobre as pastagens, campos, cultura anual (café e laranja) e vegetação arbórea.

A variabilidade e os valores absolutos em área para os períodos analisados de cada classe de uso da terra podem ser observada na figura 5.

As maiores ampliações de área ocorreram com a cultura temporária, solo exposto, áreas urbanas e silvicultura, respectivamente. Em compensação, também em ordem decrescente, os locais que mais perderam área de uso e ocupação no médio e alto Jacaré Guaçú foram as pastagens, campos, vegetação arbórea, cultura anual, lagos e represas.

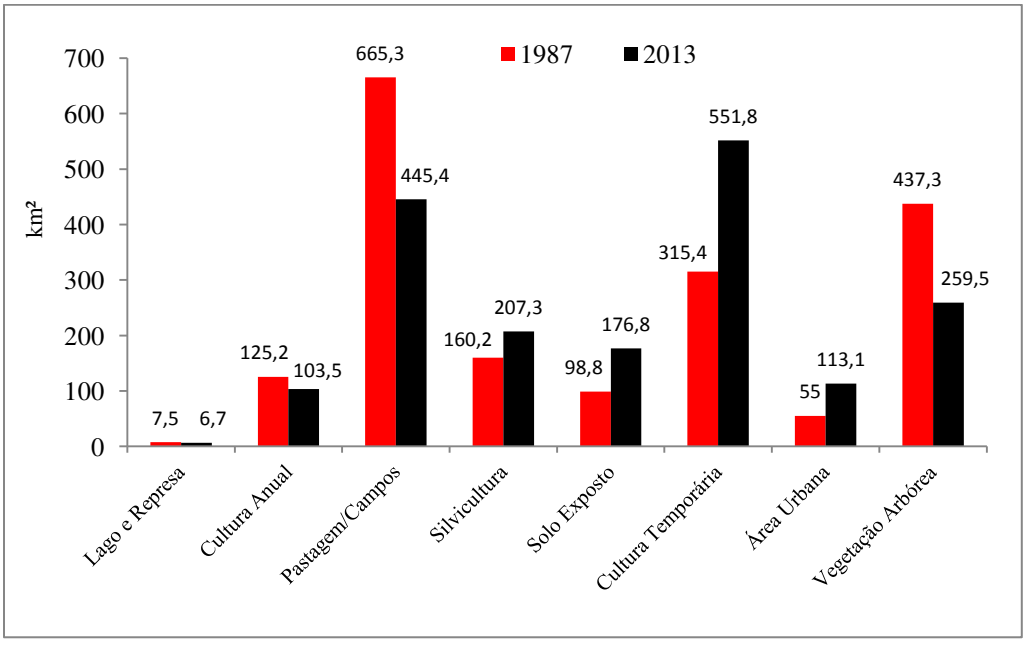


Figura 5 - Variação do uso e ocupação da terra na área de abrangência do posto fluviométrico 5C-013 (alto e médio Jacaré Guaçú) entre 1987 e 2013. Elaborado pelos autores.

3.2 VARIABILIDADE DOS DADOS HIDROLÓGICOS

A precipitação total anual na área de estudo foi de 1341,4 mm em 1987 e 1410,9 mm em 2013. Contudo, em função dos fatores climáticos e da dinâmica atmosférica da região, a distribuição dos totais pluviométricos ao longo do ano não é homogênea (SANT'ANNA NETO, 1995). Para 1987, os maiores valores pluviométricos ocorreram em janeiro (387,5 mm) e novembro (213,9 mm) e os menores foram em julho com 16,2 mm e agosto com 5,5mm. A

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

mesma dinâmica sazonal de pluviosidade é verificada em 2013 em que dezembro ocorreu 277,7 mm e janeiro apresentou 266,2 mm. Agosto com 3,7mm e julho com 15,7 foram os meses que apresentaram os menores valores de precipitação pluvial.

Em relação à vazão fluvial, a média mensal de 1987 foi de 22,7 m^3/s e em 2013 foi de 28,5 m^3/s. A variabilidade da vazão fluvial acompanha os dados de precipitação com dois períodos demarcados. Em 1987 as maiores médias mensais ocorreram em fevereiro com 32,0 m^3/s e janeiro com 29,8 m^3/s. Agosto com 16,3 m^3/s e outubro com 17,9 m^3/s foram os meses que apresentaram as menores médias mensais de vazão fluvial. Em 2013, janeiro e fevereiro com 44,4 m^3/s e 40,5 m^3/s foram os meses com as maiores médias mensais de vazão fluvial enquanto que setembro e agosto apresentaram os menores valores com 18,4 m^3/s e 19,1 m^3/s, respectivamente.

A variabilidade diária dos dados de precipitação e vazão fluvial de 1987 e 2013 pode ser verificada na figura 6.

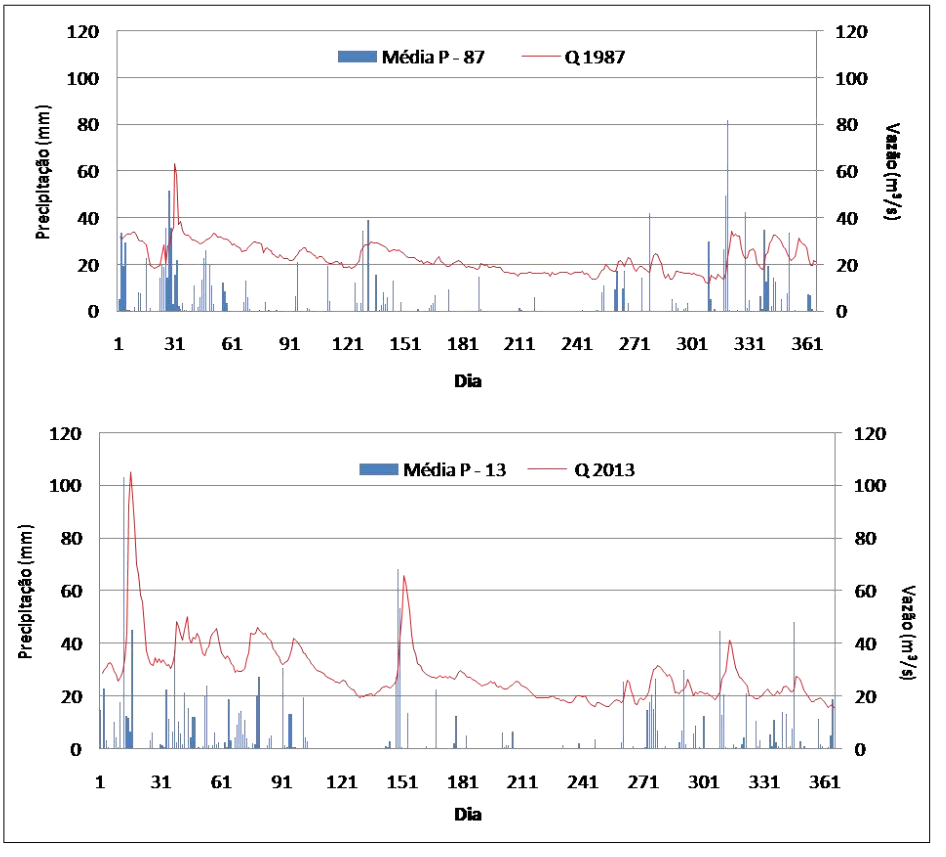


Figura 6 – Variabilidade diária da precipitação e vazão no alto e médio Jacaré Guaçú em 1987 e 2013. Elaborado pelos autores.

A análise da variabilidade dos dados hidrológicos dos meses que antecederam, coincidiram e precederam as datas dos dados orbitais que serviram de base para a classificação do uso e ocupação da terra dos anos estudados, ou seja, maio, junho, julho e agosto pode ser verificada na figura 7.

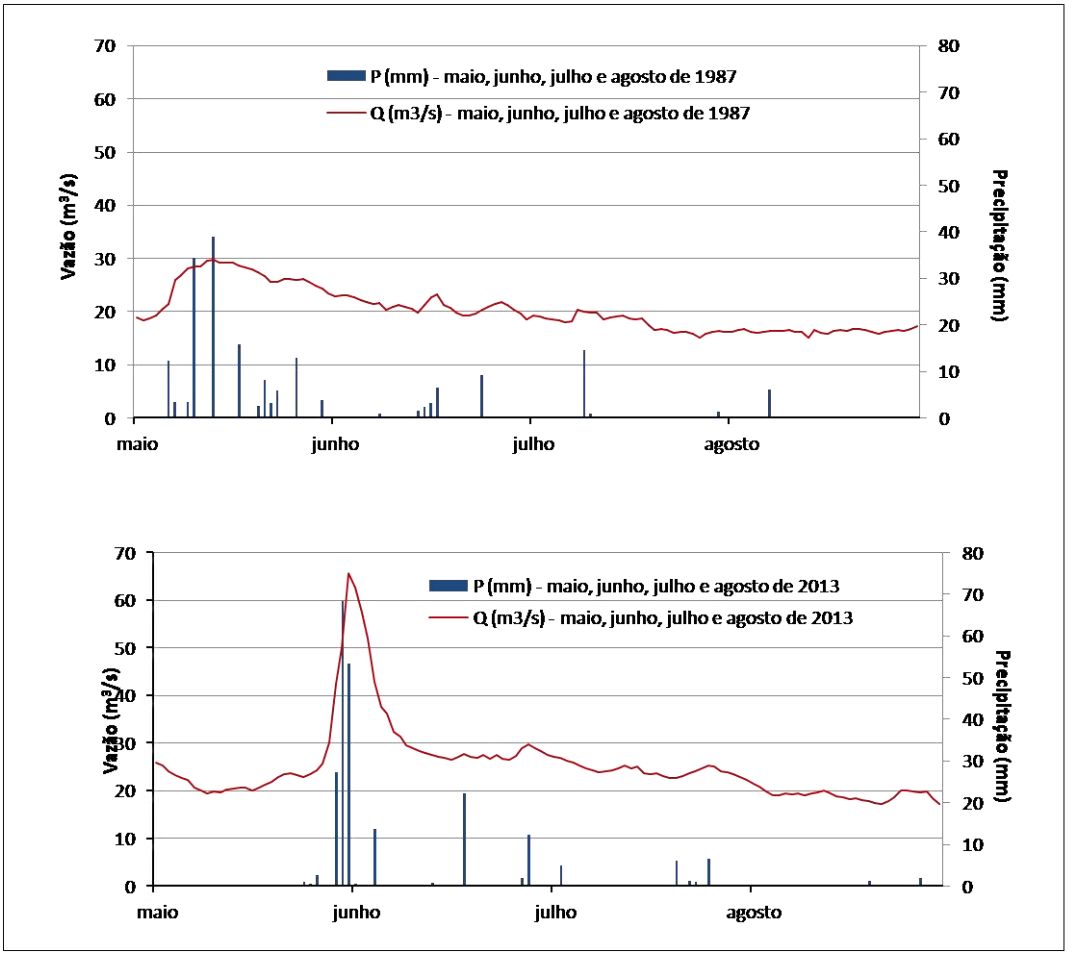


Figura 7 - Variabilidade diária da precipitação e vazão em maio, junho, julho e agosto de 1987 e 2013 no alto e médio Jacaré Guaçú. Elaborado pelos autores.

A precipitação total do período analisado foi de 192 mm em 1987 e 227,8 mm em 2013. A média diária foi de 1,5 mm para 1987 e 1,8 mm para 2013. Em relação à vazão fluvial a media diária dos meses analisados foi de 20,2 m^3/s em 1987 e de 25,1 m^3/s em 2013.

Por meio dos dados é possível verificar que a precipitação pluviométrica e a vazão fluvial apresentam menor amplitude em 1987 quando comparado a 2013. Em 1987 a maior vazão entre os meses analisados (maio, junho, julho e agosto) ocorreu no dia 14 de maio com 29,7 m^3/s e a menor foi de 15 m^3/s no dia 15 de agosto. Em 2013 o valor máximo registrado para os meses do mesmo período de análise de descarga fluvial foi de 65,7 m^3/s enquanto que a menor foi de 17,7 m^3/s. A amplitude do período foi de 14,7 m^3/s para 1987 e de 48 m^3/s para 2013.

Em relação à precipitação pluvial dos meses de análise (maio, junho, julho e agosto), o maior valor registrado foi de 26,9 mm em 1987 e 50,3 mm em 2013. Esses valores também representam a amplitude pluviométrica do período uma vez que nos dois anos existem dias sem registro de chuva. Em 1987 dos 123 dias do período analisado em 96 não ocorreu precipitação

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

pluviométrica enquanto que em 2013 o número de dias sem chuva, ou seja, 0mm, é 102.

A tabela 2 exibe os valores estatísticos (média e variância), análise de variância e teste t obtidos para comparação entre a vazão média diária para os meses do período estudado (maio, junho, julho e agosto) de 1987 e 2013.

Tabela 2 - Valores estatísticos, análise de variância (ANOVA) e teste t de Student obtidos para comparação entre a vazão (Q) média diária para os meses de maio (05), junho (06), julho (07) e agosto (08) de 1987 e 2013.

Medidas	Q (05/87)	Q (05/13)	Q (06/87)	Q (06/13)	Q (07/87)	Q (07/13)	Q (08/87)	Q (08/13)
Média	25,33	25,60	21,16	31,99	17,88	24,44	16,31	19,10
Variância	97,90	11,87	1,38	88,75	2,19	1,61	0,14	1,34
Observações	31,00	31,00	30,00	30,00	31,00	31,00	31,00	31,00
F Crítico	4,00		4,00		4,00		4,00	
F - 95%	0,02		39,08		350,11		161,67	
t crítico bi-caudal	2,00		2,04		2,00		2,02	
Teste T - 95%	-0,14		6,25		18,71		12,71	

Fonte – SIGRH (2013). Elaborado pelos autores.

Por meio da comparação dos dados é possível verificar que a variância é estatisticamente diferente a um intervalo de significância de 95% nos meses de junho, julho e agosto e semelhante no mês de maio. Com esses resultados aplicou-se o teste paramétrico t de Student com presunção de variância diferente para junho, julho e agosto e com variância semelhante para maio.

O teste t aplicado indicou que a média diária é estatisticamente diferente a um intervalo de significância de 95% nos meses de junho, julho e agosto. Para maio o resultado foi oposto, ou seja, o teste t rejeitou a hipótese de variabilidade significativa média de vazão fluvial.

Em relação à precipitação pluvial a variância não é estatisticamente diferente nos meses analisados (maio, junho, julho e agosto). O intervalo de significância usado para a precipitação foi o mesmo da vazão fluvial (95%). Com isso, por meio da aplicação teste paramétrico t de Student com presunção de variância semelhante houve a rejeição da hipótese de diferença significativa (95%) da média de precipitação entre os meses de maio, junho, julho e agosto de 1987 e 2013.

Os valores de média, variância e dos testes estatísticos (ANOVA e Teste t) usados para comparar os dados de precipitação pluvial dos meses 5,6,7 e 8 de 1987 e 2013 são exibidos na tabela 3.

Tabela 3 - Valores estatísticos, análise de variância (ANOVA) e teste t obtido obtidos para comparação entre a precipitação pluvial (P) média diária para os meses de maio (05), junho (06), julho (07) e agosto (08) 1987 e 2013.

Medidas	P (05/87)	P (05/13)	P (06/87)	P (06/13)	P (07/87)	P (07/13)	P (08/87)	P (08/13)
Média	4,67	4,92	0,79	1,72	0,54	0,65	0,20	0,1
Variância	91,50	249,20	4,35	25,77	6,89	3,13	1,19	0,15
Observações	31,00	31,00	30,00	30,00	31,00	31,00	31,00	31,00
F Crítico	4,00		4,00		4,00		4,00	
F - 95%	0,00		0,84		0,03		0,27	
t crítico bi-caudal	2,00		2,00		2,00		2,00	
Teste T - 95%	-0,07		0,92		0,19		0,52	

Fonte – SIGRH (2013). Elaborado pelos autores.

Os resultados ratificam os fundamentos determinados por Bosch, Hewlett (1982) em que da redução da cobertura florestal aumenta a vazão fluvial. No caso da área de estudo, além da diminuição das áreas florestadas, verificou-se um aumento de áreas com solo exposto destinado ao cultivo temporário da cana de açúcar que pode ter potencializado o escoamento superficial e consequentemente a descarga fluvial.

Os resultados também corroboram com a tese de Bacelar (2005), na qual a diminuição da cobertura florestal em áreas relativamente pequenas e descontínuas não influencia no regime de precipitação pluviométrica. A influência do desmatamento sobre a precipitação pode ocorrer em regiões florestadas extensas como a Floresta Amazônica (BRUINJZEEL, 1994).

Outros componentes do ciclo hidrológico também podem ser influenciados com a diminuição das áreas florestadas, campos e pastagens e aumento de solo exposto e cultura temporária, como observado na área de estudo. De acordo com Cheng et al. (2002) a infiltração e a evapotranspiração tendem a diminuir com a diminuição das áreas florestadas, campos e pastagens enquanto que umidade do solo, o fluxo superficial e subsuperficial e como citado e identificado neste trabalho, a vazão fluvial tende a aumentar.

Outro fator que deve ser levado em consideração na análise dos resultados é de um possível aumento na média da vazão fluvial em decorrência de dois dias (30 e 31/05/2013) com precipitação pluvial de 68,6 e 53,2 mm, respectivamente. Os valores são considerados elevados para o período. Esse evento associado às modificações no uso da terra identificada pode ter influenciado no aumento significativo da descarga fluvial.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos objetivos propostos e da aplicação metodológica adotada foi possível determinar a evolução multitemporal do uso e ocupação das terras em parte da bacia do rio Jacaré Guaçú entre 1987 e 2013 e avaliar a estatisticamente influência dessas modificações na vazão fluvial e na precipitação pluviométrica na área de estudo. Nesse sentido, verificou-se uma diminuição das áreas dispostas com pastagem/campos e vegetação arbórea e

um aumento de silvicultura, áreas urbanizadas, cultura temporária e áreas com solo exposto entre 1987 e 2013.

Em relação à variabilidade da vazão fluvial, o teste t aplicado indicou que ocorreu diferença significativa (95% de confiança) da média diária nos meses de junho, julho e agosto em função das alterações no uso e ocupação da terra que ocorreram entre 1987 e 2013. O mesmo teste rejeitou a hipótese de variabilidade significativa de médias comparadas (1987 e 2013) para a vazão fluvial em maio e para os dados de precipitação pluvial dos meses analisados (maio, junho, julho e agosto).

Com isso, é possível afirmar que a expansão de locais para o cultivo da cana de açúcar (cultura temporária e solo exposto) sobre áreas florestadas, pastagens e campos na área de estudo contribuiu para o aumento significativo da vazão fluvial média em três dos quatro meses analisados. No entanto, essas alterações no uso da terra não influenciaram significativamente na variabilidade da precipitação pluviométrica média dos meses estudados devido, sobretudo, às características vegetacionais e à dimensão da área estudada.

Diante dos resultados obtidos (modificações no uso e ocupação das terras e variabilidade significativa de descarga fluvial), recomenda-se uma atenção especial ao manejo e proteção dos solos na área de estudo, sobretudo nos períodos entre as safras das culturas temporárias. O manejo adequado da cobertura pedológica pode contribuir para a manutenção do ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, principalmente no que diz respeito ao escoamento superficial e a consequente vazão fluvial em períodos com solo exposto e com eventos relativamente intensos de chuvas no alto e médio Jacaré Guaçú.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo de acordo com o processo 141662/2013-1 e ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil – Edital CAPES 071/2013 – Processo número 88881.068465/2014-01.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACELLAR, L. A.P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. Geo. br, v. 1, p. 1-39, 2005. Disponível em: <http//:www.degeo.ufop.br/geobr>. Acesso em: 11 mai. 2017.

BRUIJNZEEL, L. A.; CRITCHLEY, W. R. S. Environmental impacts of logging moist tropical forests. Paris, FR. UNESCO–IHP–MAB. 48 p.(IHP Humid Tropics Programme Series n. 7), 1994.

BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. Journal of hydrology, v. 55, n. 1-4, p. 3-23, 1982.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Interacting remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers&Graphics, v.20 n.3, p. 395-403, 1996.

CHENG, J. D.; LIN, L. L.; LU, H. S. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. Forest Ecology and Management, v. 165, n. 1-3, p. 11-28, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Monitoramento por satélite. Disponível em: <http://www.abagrp.cnpm.embrapa.br/>. Acesso em: 02 out. 2013.

HIBBERT A. R. Forest treatment effects on water yield. In: International Symposium Forest Hydrology, Pergamon, Oxford. p. 527-543, 1967.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Mapa de Clima do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Disponível em: https://mapas.ibge.gov.br/tematicos.html. Acessado em: 12 nov. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual Técnico de Uso da Terra. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Brasil em síntese. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/v4>. Acessado em 17 mar. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Normais Climatológicas do Brasil. Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acessado em 28 fev. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Catálogo de imagens. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acessado em 12 jan. 2013.

GUIMARÃES, João Luis Bittencourt. Relação entre a ocupação do solo e o comportamento hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, São José dos Pinhais - PR. 2000. 205p. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation.3a ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 750p.

MATHER, P. M. Geographical Information Handling - Research and Applications. New York: John Wiley & Sons, 1993. 365p.

McCULLOCH, J.S.; ROBINSON, M. History of forest hydrology. Journal of hydrology, v. 150, n. 2-4, p. 189-216, 1993.

MONTEIRO, C.A. de F. A dinâmica climática e as chuvas do estado de São Paulo: estudo em forma de atlas. São Paulo: USP/Igeo. 130p. 1993

OLIVEIRA, J.B. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Boletim científico, v. 45, 1999.

PERROTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES,R.C; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOEMS, S.D.; SACHS, L.L.B; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, G.V. (2005) Mapa Geológico do estado de São Paulo, escala 1:750000. São Paulo: CPRM, 2005.

PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F.L.S. Hidrologia básica. São Paulo: Ed. Edgard Blucher. 2015. 278p.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.10, p.41-56, 1996.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. Remote Sensing. v. 2 .n 4, p.1057-1076, 2010.

SANT'ANNA NETO, J. L. (1995) As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. 1995. 200p. Tese (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras, Artes e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Banco de dados Hidrológicos do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/flu/>. Acesso em: 16 dez. 2013.

Tu, T.; Su, S. C.; Shyu, H. C.; Huang, P. S. Efficient intensity-hue-saturation-based image fusion with saturation compensation. Optical Engineering, v. 40, n. 5, p. 720-729, 2001.

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. 150p.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre, Ed. da Universidade UFRGS, 2001. 943 p.

UNITED STATE GEOLOGICAL SERVEY – USGS - Earth Explorer. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 06 jan. 2013