

ANÁLISE HIDROLÓGICA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

ROCHA, Paulo Cesar; ^{a*} SANTOS, Aline Aparecida dos; ^b

(a) Phd in Environmental Sciences. Paulista State University (UNESP), Presidente Prudente (SP) Brazil.. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1187-1093>. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4346506814865509>

(b) Mastering in Geographi of Paulista State University (UNESP), Presidente Prudente (SP) Brazil. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/7622794720439343>

(*) CORRESPONDING AUTHOR

Address: UNESP: Roberto Simonsen Street, 305, CEP: 19060-900, Presidente Prudente (SP) Brazil. Tel. (55) 18-3229-5388.

E-mail: pchrogag@gmail.com

RESUMO

Este trabalho aborda o comportamento hidrológico nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe, que drenam parte da região do Planalto Ocidental Paulista, Brasil. Foi avaliada a variação espacial da produção hídrica por unidade de área nas bacias hidrográficas, tomando-se como referencia diferentes períodos hidrológicos da série histórica de dados. Para tanto, foram considerados o regime hidrológico dos rios e a área de drenagem associada às estações de amostragem. A obtenção do regime fluviométrico e períodos hidrológicos foram baseados em dados diários, mensais e anuais de séries históricas. O índice de vazão específica média foi determinado pela razão entre a vazão média em uma dada seção de medição e a respectiva área de drenagem. Os resultados revelam alterações nos padrões espaciais da Qe. As estações situadas no alto curso das bacias apresentaram maior variabilidade nos dados nos três períodos hidrológicos, o que era esperado. O aumento da produção específica hídrica em determinados períodos hidrológicos pode intensificar os processos erosivos laminares e lineares, o que pode ser um problema a mais para áreas de manejo inadequado da terra.

Palavras chaves: Variabilidade Hidrológica; Zoneamento hidrológico; Vazão específica; Rio do Peixe.

ABSTRACT / RESUME

HYDROLOGICAL ANALYSIS IN WATER BASINS

This work addresses the hydrological behavior in the basins of the Aguapeí and Peixe rivers, which drain part of the region of the Western Plateau of São Paulo state, Brazil. The spatial variation of the water production per unit area in the hydrographic basins was evaluated, taking as a reference different hydrological periods of the historical series of data. To this end, the hydrological regime of the rivers and the drainage area associated to the sampling stations were considered. The obtention of the fluvimetric regime and hydrological periods were based on daily, monthly and annual data of historical series. The average specific flow rate was determined by the ratio between the average flow rate in a given measurement section and the respective drainage area. The results reveal changes in the spatial patterns of Qe. The stations located in the upper basin of the basins had a greater data variability in the three hydrological periods, which was expected. The increase in specific water production in certain hydrological periods can intensify the laminar and linear erosion processes, which may be an additional problem for areas with inadequate land management.

Keywords: Hydrological Variability; Hydrological zoning; Specific flow; Peixe River.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Este trabajo aborda el comportamiento hidrológico en las cuencas de los ríos Aguapeí y Peixe, que drenan parte de la región del Planalto Occidental Paulista, Brasil. Se evaluó la variación espacial de la producción hídrica por unidad de área en las cuencas hidrográficas, tomando como referencia diferentes períodos hidrológicos de la serie histórica de datos. Para ello, se consideraron el régimen hidrológico de los ríos y el área de drenaje asociada a las estaciones de muestreo. La obtención del régimen fluviométrico y períodos hidrológicos fueron basados en datos diarios, mensuales y anuales de series históricas. El índice de flujo específico promedio se determinó por la razón entre el caudal medio en una sección de medición y la respectiva área de drenaje. Los resultados revelan cambios en los patrones espaciales de la Qe. Las estaciones situadas en el alto curso de las cuencas presentaron mayor variabilidad en los datos en los tres períodos hidrológicos, lo que se esperaba. El aumento de la producción específica hídrica en determinados períodos hidrológicos puede intensificar los procesos erosivos laminares y lineales, lo que puede ser un problema más para áreas de manejo inadecuado de la tierra.

Palabras claves: Variabilidad Hidrológica; Zonificación hidrológica; Caudal específico; Río del Peixe.

This is an open access article under the CC BY Creative Commons license

Article history:

Received 4 July, 2018
Accepted 20 September, 2018
Publisher 15 November, 2018

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado na saída da Bacia Hidrográfica. Em termos gerais, ela provê uma bem definida unidade física para estudos hidrológicos, tendo uma única forma de entrada (input), que é a precipitação, e a saída é dada pelo runoff na saída da bacia, consideradas as perdas por evapotranspiração. Em macroescala, como no caso de grandes bacias hidrográficas, o padrão de runoff, intensidade e sazonalidade poderá ser controlado primariamente pelos efeitos climáticos. Este padrão geral reflete os padrões de precipitação e circulação geral da atmosfera. Contudo, aspectos do meio físico e cobertura da terra interagem entre si para determinar o padrão natural sazonal e espacial de variação de runoff (PETTS & FOSTER, 1990).

O regime de runoff (descargas) geralmente é baseado nas descargas médias mensais e permite a avaliação da sazonalidade das vazões. A média, máxima e mínima anual podem revelar as possíveis variações ao longo da série histórica da estação. Estes aspectos de avaliação tornam-se importantes devido às interações entre o homem e o ambiente, cujos resultados geralmente promovem alterações nos aspectos de intensidade e qualidade da relação precipitação-descargas na bacia hidrográfica.

O conhecimento acerca do regime hidrológico dos rios constitui informação básica para a tomada de decisão em diversas áreas do conhecimento, sobretudo para estudiosos interessados nas questões do planejamento ambiental e do uso dos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica. No entanto, um fato que dificulta a obtenção de tais conhecimentos, deve-se geralmente à escassez de informações. A deficiência de dados e a necessidade de conhecê-los por toda a extensão da área de estudo, muitas vezes, impedem a realização do planejamento compatível com as necessidades da área de interesse.

Por outro lado, com a Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, passou a existir maior controle no uso dos recursos a partir da sua regulamentação. Estabeleceu-se então a necessidade de determinação de variáveis hidrológicas a serem utilizadas na gestão dos recursos hídricos (SILVA JUNIOR, 2003), e a bacia hidrográfica tem sido utilizada como unidade de gestão dos recursos hídricos.

No estudo dos recursos hídricos, a bacia hidrográfica pode ser considerada, em linhas gerais, um sistema físico onde a entrada de água é o volume precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório e a água evapotranspirada. Em termos gerais, ela provê uma unidade física bem definida para estudos hidrológicos, tendo uma única forma de entrada (input), a precipitação, e a saída é dada pelo runoff no exutório da bacia, consideradas as perdas por evapotranspiração. Em macroescala, como no caso de grandes bacias hidrográficas, o padrão de runoff e suas intensidades e sazonalidades poderão ser controlados, primariamente, pelos efeitos climáticos. Este padrão geral reflete os padrões de precipitação e circulação geral da atmosfera. Para comparação entre bacias hidrográficas individuais, a geologia, morfometria da bacia, solos e vegetação, assim como os aspectos climáticos, interagem entre si para determinar o padrão natural sazonal de variação de runoff (PETTS & FOSTER, 1990).

A variabilidade do regime hidrológico é controlada por diversos elementos que caracterizam a bacia hidrográfica, tais como litologia, relevo, solos, cobertura vegetal e também por fatores climáticos, tais como precipitação, radiação solar e evaporação (TUCCI, 2002). Para Clarke et al. (2003), os fatores como a localização geográfica e/ou a altitude podem contribuir substancialmente nos resultados da análise do regime de vazões, avanços de massas de ar, eventos de precipitações locais, entre outros.

Embora o controle dos sistemas hidrológicos seja maior nos países desenvolvidos, as modificações inadvertidas nestes sistemas são universais, em geral em função do atual modelo de apropriação da natureza pelo homem contemporâneo. Intervenções humanas no ciclo hidrológico podem ocorrer em diferentes fases. O ciclo hidrológico funciona como uma série de armazenagens de água (caixas d'água), ligadas por transferências. Alguns destes depósitos ou caixas apresentam-

-se como tal devido à velocidade das transferências, que podem ser mais demoradas (por exemplo, da água subterrânea) ou mais rápidas (por exemplo, os rios), que também podem exercer limitada função de armazenagem. Em cada ponto de intervenção nestes locais, podem ocorrer diferentes intensidades de impactos (DREW, 1994).

Geralmente os maiores impactos estão associados com a relação infiltração–escoamento, em função de interferências na armazenagem da vegetação, do solo e nos fluxos fluviais (ROCHA & ANDRADE, 2012). A perda de cobertura arbórea, em curto prazo, reduz a perda de água do solo por transpiração, pois as raízes profundas das árvores são arrancadas, assim como provoca maior escoamento das águas na superfície do terreno, visto que a antiga vegetação e a manta amortecedora de folhas caídas foram substituídas pela terra nua ou por culturas com menor potencial de armazenagem. Assim, o mais provável é o aumento do fluxo direto da água para os rios. A figura 1 ilustra o efeito do desmatamento no fluxo fluvial de pequenas bacias hidrográficas (DREW, 1994).

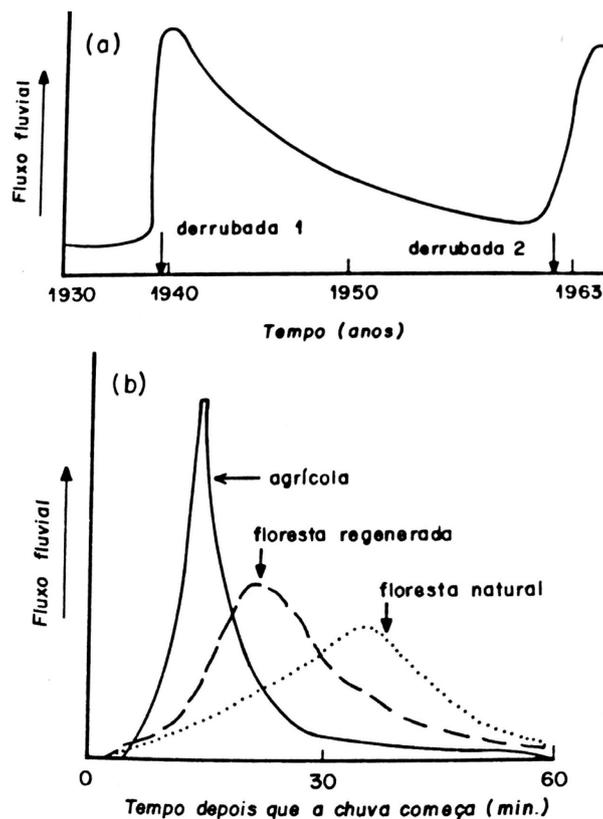


Figura 1 - Efeitos do desmatamento no fluxo de um rio. Em (a) alteração do fluxo fluvial após o desmatamento. Em (b) os diferentes hidrogramas após a chuva em bacias da mesma área com diferentes usos do solo.

Fonte: Drew (1994).

A produção hídrica numa bacia hidrográfica depende de vários fatores climáticos como precipitação, umidade, evaporação, temperatura, ventos e etc. (TUCCI & CLARK, 1998). A topografia também é importante pela influência na produção de chuvas (ANDRIUCCI et al., 2002). Estas por sua vez influenciam diretamente no escoamento superficial e subterrâneo, conforme a velocidade do escoamento. No que tange especificamente os estudos hidrológicos, a precipitação corresponde a água proveniente da evaporação que retorna para as superfícies em diferentes formas, contribuindo com os volumes de água nos rios e reservatórios.

A vazão específica média é uma variável hidrológica que pode ser utilizada nos estudos de regionalização ou zoneamento hidrológicos. Ela é determinada pela razão entre a vazão média em uma dada seção de medição e a respectiva área de drenagem (TUCCI, 2002). Esse parâmetro deve ser utilizado apenas em áreas com baixa densidade de postos fluviométricos (LIMA et al., 2008),

com o auxílio de um software de SIG (Sistema de Informação Geográfica) e geotecnologias para a representação espacial e mapeamento. Serve como medida da produção hídrica relativa a diferentes tamanhos de área de uma bacia hidrográfica.

O zoneamento hidrológico de uma bacia hidrográfica pode servir como importante ferramenta para se visualizar áreas de comportamento semelhante do ponto de vista do aproveitamento de água superficial, de forma a contribuir para um planejamento e gestão dos recursos hídricos superficiais. Assim como os princípios que regem o zoneamento ambiental, tem como objetivo o equilíbrio dos ecossistemas e a sustentabilidade dos recursos naturais.

Atualmente estão em diferentes fases os planos de execução da política de cobrança pelo uso e concessão de outorgas dos recursos hídricos no âmbito do Comitê das Bacias Hidrográficas no Estado de São Paulo. Contudo ainda existem problemas com o monitoramento, ainda deficitário nos cursos fluviais, a atualização dos mapas de regionalização e problemas com abastecimento público.

Este trabalho apresenta um estudo hidrológico superficial e se refere a uma análise paralela à análise de regionalização hidrológica tradicional, contudo, avaliando-se comparativamente períodos hidrológicos distintos. Neste zoneamento hidrológico, apresenta-se uma análise de cunho geográfico das variações espaço-temporais da produção hídrica específica como uma variável do escoamento superficial, tendo como intuito servir de suporte aos órgãos de gestão.

O objetivo deste estudo é analisar a variação espacial da produção hídrica por unidade de área nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe, região Oeste Paulista, tomando-se como referência diferentes períodos hidrológicos da série histórica de dados. Será analisado o comportamento hidrológico dos rios ao longo de uma série histórica de cerca de 70 anos, utilizando-se os períodos hidrológicos identificados na literatura regional, corroborados por análise estatística das séries temporais, na perspectiva da dinâmica temporal e espacial. Busca se assim, entender as variações na distribuição da vazão específica no espaço e no tempo, como subsidio as políticas públicas mais severas sobre os usos da água nessa área pelos órgãos oficiais.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

As bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe localizam-se na porção Oeste do estado de São Paulo entre as coordenadas -49.395142; e -52.168376, longitude Oeste e -20.951768; -22.439189, latitude Sul. Por apresentarem algumas semelhanças nos aspectos geográficos, físico e socioeconômico, as Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI) dos rios Aguapeí (UGRHI 20) e Peixe (UGRHI 21) foram inseridas em um único Comitê de Bacias Hidrográficas, conforme Lei estadual nº 7.663 de 30 de dezembro de 1991 ambas são geridas pelo Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP).

Conforme CBH-AP (2013), a interdependência entre essas duas bacias hidrográficas e outras que as circundam é pequena, ambas possuem maior interferência entre si, embora haja municípios que possuem parte de sua área inserida nos limites dessas bacias, mas não fazem parte das mesmas, pois suas sedes municipais estão localizadas em vertentes pertencentes a outras bacias hidrográficas. Assim, tais municípios são denominados “integrantes”, e são em maioria, aqueles localizados sobre a linha divisora dessas bacias hidrografias.

A incorporação dessas bacias em único Comitê se deu especificamente com o intuito de promover a discussão acerca das questões hídricas inerentes ao território e integração das diversas ações e atividades voltadas à recuperação e preservação dos recursos hídricos na área (CBH-AP, 2013).

Juntas as UGRHI Aguapeí e Peixe possuem uma área de aproximadamente 21.167 km², compostas por cinquenta e nove (59) municípios, conforme apresentado detalhadamente por Andrade (2011). Limitando-se ao Norte com a Bacia do Rio Tietê, a Oeste com o Estado do Mato Grosso do Sul, tendo como divisa o Rio Paraná, a Leste seu limite é a Serra dos Agudos e ao Sul com a bacia do rio Paranapanema (CBH-AP, 1997), conforme apresentado na figura 2.

Análise Hidrológica em Bacias Hidrográficas

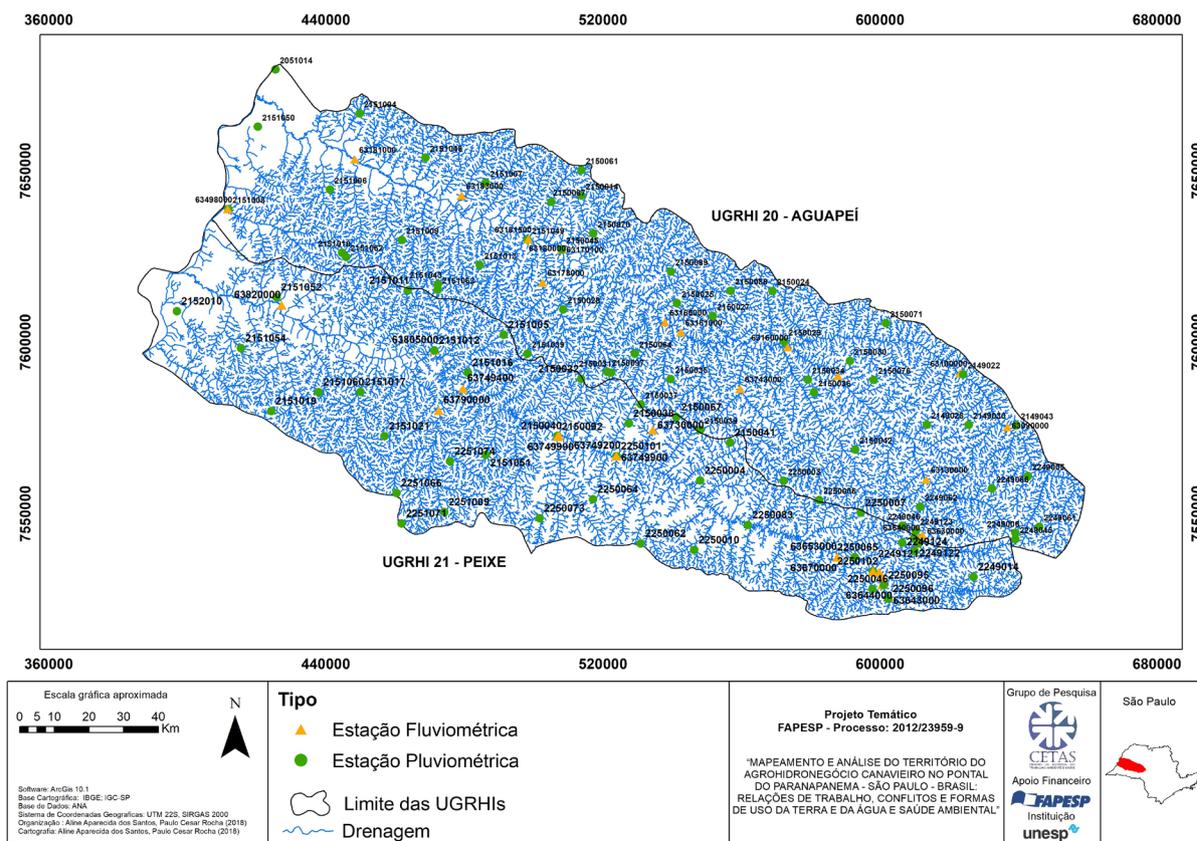


Figura 2 - Localização da área de estudos e localização dos postos fluviométricos e estações pluviométricas nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe.

Fonte: Andrade (2014)

De acordo com Sant'Anna Neto (1995) o padrão das chuvas no estado de São Paulo apresenta uma tendência de diminuição de Leste para Oeste e de Sul para Norte. Tais variações são influenciadas, sobretudo, pela circulação geral da atmosfera, caracterizadas pela atuação das massas tropicais (continental e marítima). Com influência direta da onda de noroeste-sudeste que atinge a área do Pontal do Paranapanema e as vertentes voltadas para a calha do Rio Paraná. Nessa região, os totais pluviais variam em torno de 1.100 e 1.500 mm anuais, considerados os mais baixos do estado.

O clima regional apresenta influências das massas de ar, tais como a massa Tropical Atlântica (Ta), Tropical Continental (Tc) e Equatorial Continental (Ec), alternando entre um período com temperaturas mais elevadas e altos índices pluviométricos (de outubro a março) e outro com temperaturas amenas e menores índices pluviométricos (abril a setembro) (SOUZA, 2005), conforme ilustrado na Figura 3.

A carta de isoietas anuais normais (período 31-60) do Atlas Climatológico da América do Sul (WMO/UNESCO, 1975, em ZAVATINI, op cit), demonstra que a pluviosidade na bacia do Paraná situava-se entre 1.200 e 1.600 mm, exceto no extremo oeste de Mato Grosso do Sul (Pantanal), onde os valores se reduzem (1.000/1.200 mm); no centro-sul do Paraná, no sudoeste de Minas Gerais e de Goiás (2.000 mm) e no curso superior do rio Paraná, onde se registraram índices mais fracos, entre 800 e 1.000 mm. Segundo este autor, tais características praticamente se mantiveram com a mesma distribuição no período 1966/1985.

Considerando-se os valores totais interanuais, os períodos hidrológicos identificados nos dados fluviométricos apresentam boa correlação visual. Foi possível ainda se perceber os distintos períodos hidrológicos similares aos apresentados anteriormente. Os valores da média para o período 1947-1971 foi de 1.182 mm (1o período), 1972-1984 de 1.389 mm (2o período) e 1985-2004 de 1.305 mm (3o período).

A figura 5 apresenta uma síntese do potencial de degradação baseado na criticidade dos processos erosivos nas duas bacias e suas subdivisões. De acordo com o diagnóstico geral do Plano de Bacias (CBH-AP, 2008), muitas áreas encontram-se com alta criticidade a processos erosivos, estando assim com alto potencial de degradação.

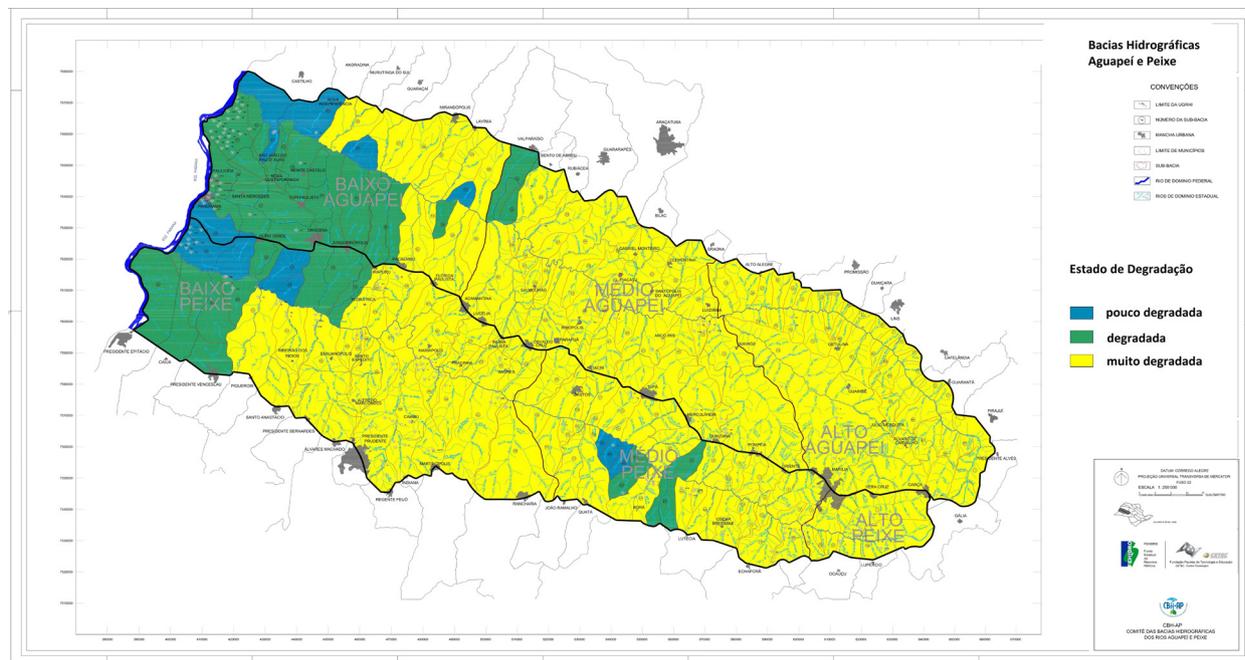


Figure 5 - Potencial de degradação nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe nos setores alto, médio e baixo, conforme a divisão oficial das UGRHs 20 e 21.

Fonte: CBH-AP (2008).

Decorrente de características do solo arenoso, associadas a um uso inadequado da terra, de acordo com o Caderno Sínteses das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP, 2011), 70% das áreas das bacias apresentam alto grau de potencial a erosão dos solos. A figura 6 apresenta um estudo sobre as tendências erosivas e deposicionais para as duas unidades de gerenciamento de recursos hídricos.

Nota-se que parte da alta bacia apresenta uma tendência muito elevada a processos erosivos. De maneira geral, no entanto, predomina uma tendência alta a processos erosivos, mais evidentes da alta para a média bacia. Apenas em trechos próximos a baixo curso dos Rios Aguapeí e Peixe apresenta-se baixa tendência aos processos de erosão e mais intensa deposição (MANOEL & ROCHA, 2017).

De forma geral, o uso da terra de ambas as bacias tem predominância de pastagens, com intenso avanço da cana de açúcar como culturas temporárias. Os gráficos da figura 7 apresentam a divisão das atividades na área rural, baseado em relatórios do CBH-AP.

ESTUDOS PRÉVIOS ACERCA DO REGIME HIDROLÓGICO DE RIOS NA BACIA DO ALTO RIO PARANÁ

As investigações sobre o comportamento hidrológico dos rios da bacia do Alto Paraná para o entendimento das suas variabilidades hidrológicas e alterações no regime dos rios foram objeto

de análises em diversas pesquisas, tais como Clarke et al. (2003), Tucci & Clarke (1998) e Collischonn et al. (2001) no rio Paraguai, e por Rocha et al. (1994; 1998; 2001, 2003), Rocha (2010) no rio Paraná e Araujo (2011), Rocha e Araújo (2017) no rio Paranapanema. Estes últimos associando também aos efeitos de grandes barragens. Estes trabalhos têm observado uma nítida alteração de magnitude no regime hidrológico dos rios a partir do início da década de 1970 e associaram a alteração ao efeito do controle de débitos pelas grandes barragens na bacia, e em parte, aos processos de uso e ocupação nas encostas. Nas bacias do Oeste Paulista, estudos recentes nos rios Aguapeí e Peixe também têm indicado a existência de períodos hidrológicos coincidentes com os estudos anteriormente citados (ROCHA & TOMMASELLI, 2012).

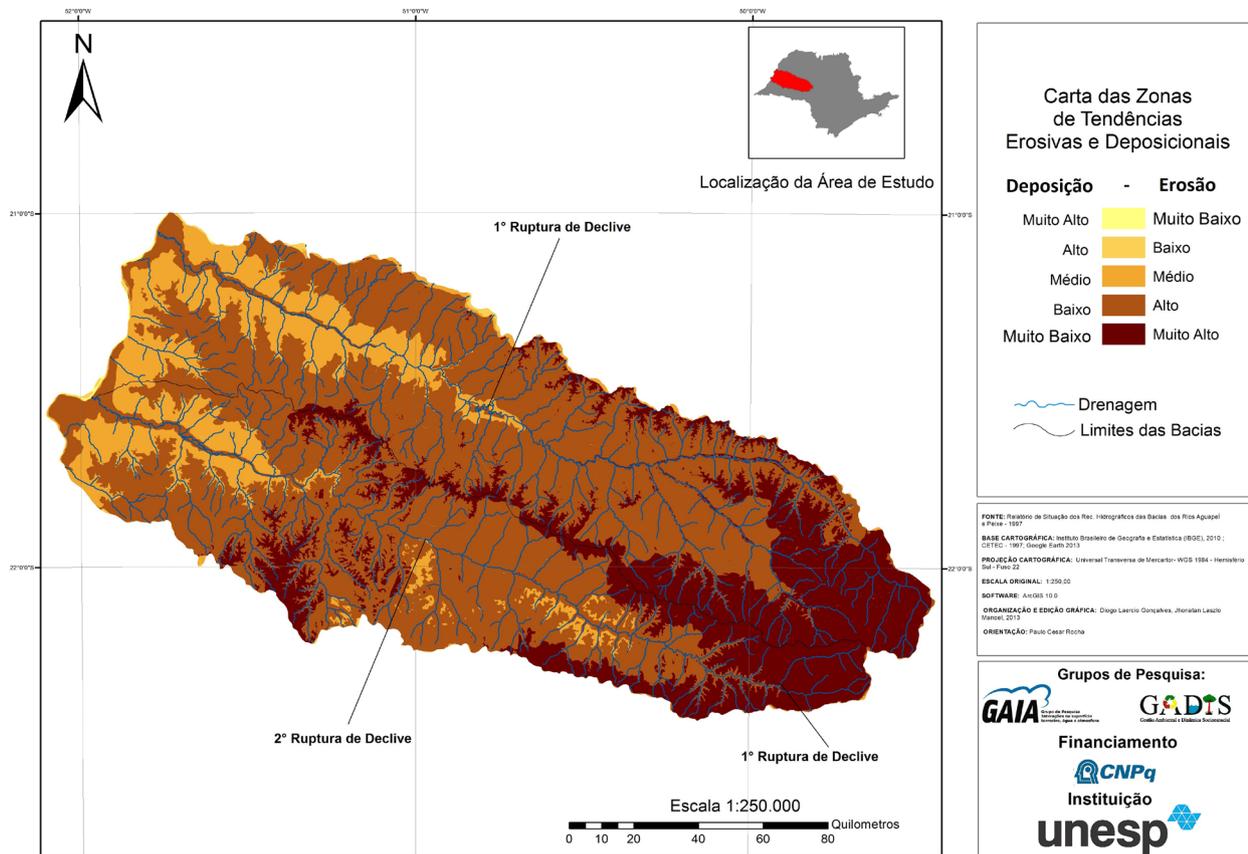


Figura 6 - Carta das zonas de tendências erosivas e deposicionais das Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe.
Fonte: MANOEL (2015)

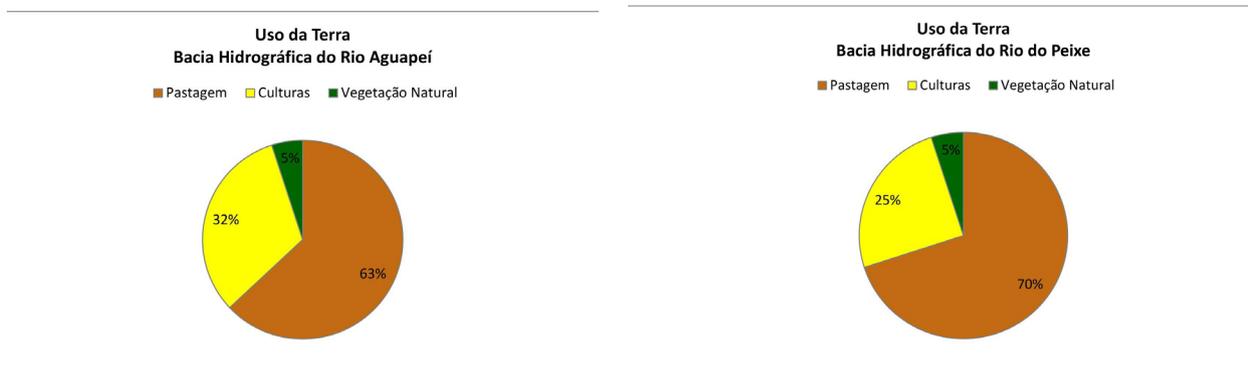


Figura 7 - Principais usos da terra nas UGRHIs 20 e 21
Fonte: SANTOS (2013).

de dados históricos. A identificação dos períodos foi feita a partir da análise visual e em seguida por teste estatístico comparativo das médias, desvio padrão e coeficiente de variação para validação.

O índice de vazão específica média é determinado pela razão entre a vazão média em uma dada seção de medição e a respectiva área de drenagem (TUCCI, 2002). De acordo com este autor, existe uma tendência de redução da vazão específica de montante para jusante, conforme o aumento do tamanho da bacia e o comprimento do rio.

Nesse sentido, o zoneamento hidrológico a partir da vazão específica pode ser utilizado também como uma técnica para melhorar o entendimento e qualidade dos dados hidrológicos. Assim, a vazão específica média, variável a ser utilizada no zoneamento hidrológico é obtida pela equação (1):

$$Q_e = \frac{Q_m}{A} \quad (1)$$

Onde:

Q_e , é a vazão específica média em L.s-1.km-2;

Q_m , é a vazão média mensal convertida para L.s-1;

A , é a área de influência na bacia hidrográfica em km².

A apresentação dos dados obtidos e do zoneamento hidrológico foi feita através da análise espacial das estações fluviométricas utilizadas no estudo, considerados três trechos das bacias, conforme a posição das estações no alto, médio e baixo curso dos rios principais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A VARIABILIDADE INTERANUAL E SAZONAL DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE E PERÍODOS HIDROLÓGICOS

O regime hidrológico dos dois rios em estudo pode ser observado na figura 8 e na tabela 2. Os dois rios apresentam alteração nas suas magnitudes interanuais desde o início da década de 70, acompanhando o que apresentam os rios Paraná e Paraguai. O diferencial para o rio Paraná é que este ainda apresenta um achatamento dos picos de máxima e mínima desde o início da década de 70, que são atribuídos ao controle de fluxo pelos barramentos (UHEs) a montante que iniciaram a operação coincidentemente neste período em diante. Os dados das duas bacias permitem afirmar que as mesmas têm comportamento hidrológico parecido.

Porém, não foram observados apenas dois períodos hidrológicos, mas sim pelo menos três, considerando a série de dados utilizada. Um primeiro período até 1972; outro entre 1972 e 1984; outro a partir de 1985. Ainda é provável que este último período ou fase hidrológica tenha terminado em 2001 quando um novo período hidrológico possa ter começado, contudo a série de dados avaliada não permite melhor detalhamento.

Analisando-se os gráficos da figura 8 e os dados da tabela 2, nota-se que os dois rios apresentam um mesmo comportamento hidrológico, corroborando a premissa de que pertença à mesma região climática e hidrológica no Oeste Paulista.

Os resultados da análise dos gráficos indicam três períodos hidrológicos mais nítidos (ROCHA & ANDRADE, 2012). O primeiro caracterizado por menores magnitudes do fluxo e menor variabilidade interanual. Apresentam menores valores na magnitude da vazão, desvio padrão e coeficiente de variação que os valores da série completa dos dados.

O segundo período se caracteriza por apresentar maiores magnitudes de fluxo e maior variabilidade interanual. Os resultados mostram maiores valores da magnitude da vazão média, desvio

padrão e coeficiente de variação do que os dados da série completa.

O terceiro período é marcado por apresentar proximidade nos valores de média para com o período anterior, porém com menor variância. Os valores de vazão média também foram superiores a media da série completa, porém com valores de desvio padrão e do coeficiente de variação inferiores. Neste período foram observados os menores valores do coeficiente de variação, considerando a série histórica completa e os períodos individualmente.

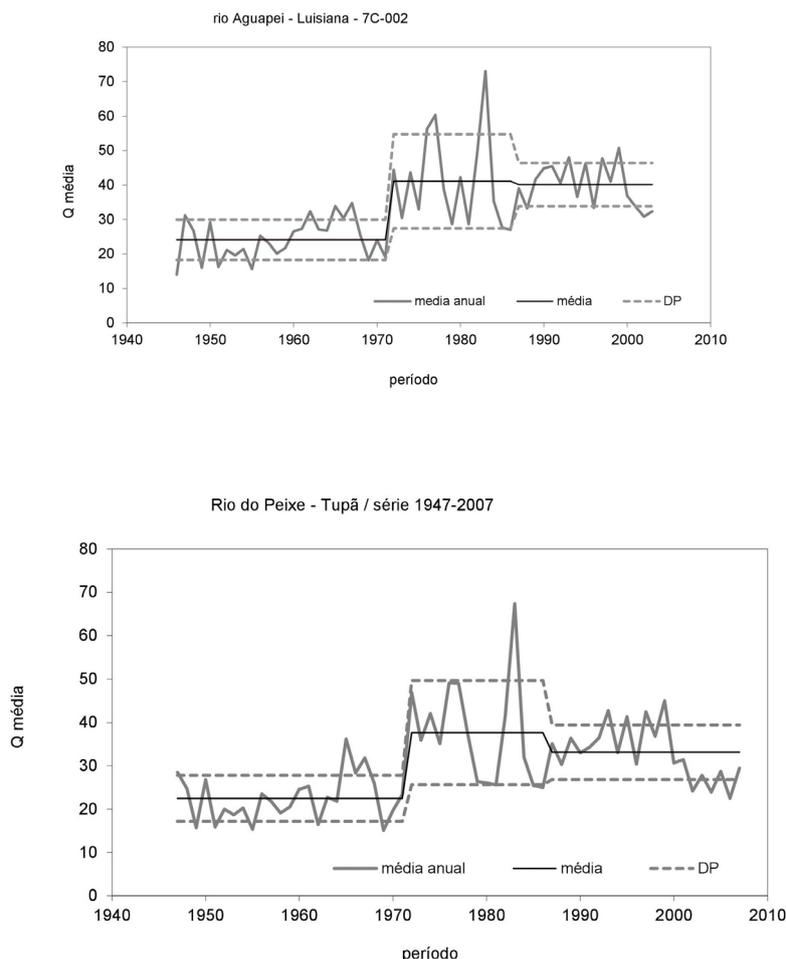


Figura 8 - Gráficos apresentando a variabilidade das vazões médias anuais e períodos hidrológicos identificados em duas estações representativas das bacias dos rios Aguapeí (A) e Peixe (B).

Fonte: ROCHA AND ANDRADE (2012).

Desse modo, em termos de variabilidade do fluxo, os desvios padrão e coeficientes de variação calculados indicam que a variabilidade interanual do fluxo teve intensidade muito maior no segundo período hidrológico, que compreende 1972-1984 (tabela 2).

Quanto às variações na sazonalidade, estas apresentam maiores valores nos dois últimos períodos observados (1972-1984, 1985-2004). A variabilidade média mensal apresentou semelhança entre o segundo e o terceiro período. Os valores de Vazão média sazonal mostraram-se menores no primeiro período do que nos demais para todas as estações avaliadas nos dois rios. Da mesma forma que os dados interanuais, o comportamento sazonal nas duas bacias é parecido, o que corrobora o entendimento de que as duas bacias pertencem a uma região homogênea em termos de meio físico e ambiental.

Tabela 2 - Parâmetros estatísticos aplicados às séries de dados das estações fluviométricas avaliadas nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe. Os dados obtidos dos valores da média anual de séries históricas entre as décadas de 1940 e 2004. Qm (vazões médias anuais, m³.s-1); DP (desvio padrão da série); CV (coeficiente de variação em %). Períodos hidrológicos identificados: 1 (1947-1971), 2 (1972-1984), 3 (1985-2004).

Aguapeí Rio	63100000	63160000	63165000	63170100	63180000
Qm 1948-1971	7.17	25/11	42.92	51(68%)	54.97
Qm 1972-1984	12.71	41.62	71.37	86.96	95.38
Qm 1985-2004	11.56	38.78	65.90	77.60	82.92
σ 1948-1971	2.01	6.26	9.35	11.24	23.66
σ 1972-1984	4.84	13.42	20.25	02 / 23	30.85
σ 1985-2004	2.6	7.16	11.42	12.84	20.73
CV 1948-1971	27.98	24.94	21.78	41.17	23.66
CV 1972-1984	38.09	32.25	28,37	24.47	30.85
1985-2004 CV	22.44	18.46	17.33	27.42	20.73
Peixe Rio	63650000	63670000	63710000	63700000	63810000
Qm 1948-1971	6.15	11.80	24.66	21:52	66.37
Qm 1972-1984	9.71	15.29	39.52	32.01	98.89
Qm 1985-2004	8.98	12.32	32.28	28,26	80.26
σ 1948-1971	1.46	2.62	6.22	5.0	9.67
σ 1972-1984	3.40	4.78	12.09	11.0	18.93
σ 1985-2004	2.33	2.50	6.39	4.03	10,18
CV 1948-1971	23.67	22.17	25.20	23.29	17.05
CV 1972-1984	34.98	31,23	30,6	34.28	23.68
1985-2004 CV	25.99	20.28	19.8	14.26	14.52

Fonte: ANDRADE (2014)

Pode-se observar, ainda, que o segundo período (1972-1984) apresentou maior irregularidade na sazonalidade no fluxo, principalmente nos meses de estiagem, como mostra a figura 9.

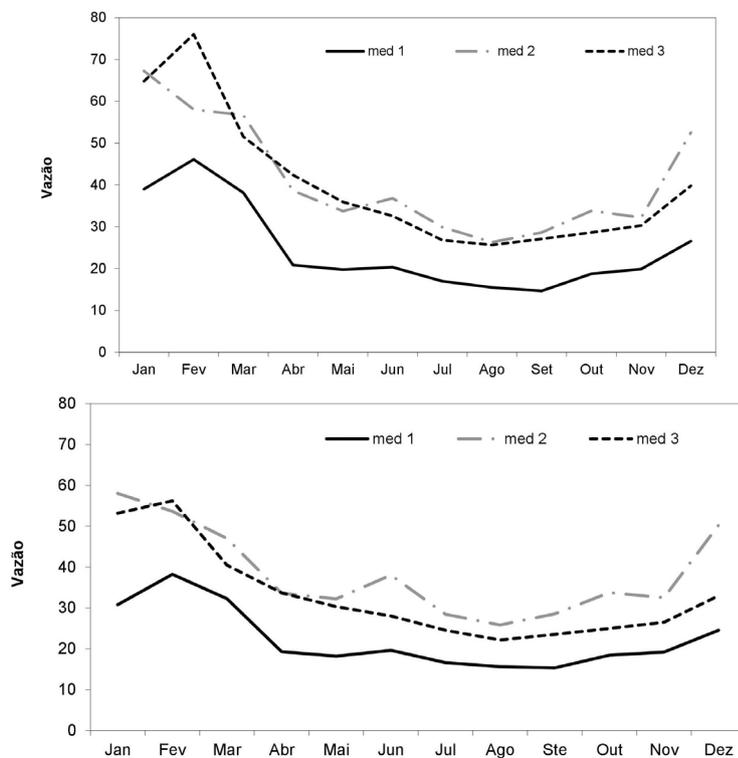


Figura 9 - Estatística das variações sazonais ao longo da série histórica e dos períodos hidrológicos identificados. 1, 2 e 3 são os períodos referidos no enunciado da tabela 1. A) bacia do rio Aguapeí (63160000); B) Bacia do rio do Peixe (63710000). Fonte: ROCHA AND ANDRADE (2012).

Sant’anna Neto (2000) constatou tendência de aumento das chuvas no Estado de São Paulo, ao comparar os períodos 1941/1970 e 1971/1993, de aproximadamente 10 % no segundo período, concentrados nos limites da bacia do Paraná. Observou pequena elevação nos valores pluviométricos e alteração na sazonalidade das chuvas na região de Presidente Prudente-SP, no Oeste Paulista, a partir da década de 1970.

Mesmo considerando a possibilidade de aumento médio da pluviosidade na bacia do Paraná, tal fato, por si só, pode não explicar o conjunto de modificações ocorridas no regime hidrológico dos rios, como no caso do rio Paraná ao longo do último século, demonstrado por Rocha (2010). Porém, se tal possibilidade for verdadeira, é possível que as alterações relativas à magnitude dos índices fluviométricos estejam parcialmente acompanhando tal tendência e se somam aos efeitos do uso e ocupação das encostas e provocam alterações no regime hidrológico dos rios do Oeste Paulista.

Mudanças na intensidade e sazonalidade das chuvas observadas por Rocha & Tommaselli (2012) também se relacionam com os períodos hidrológicos anteriormente apontados. Os autores observaram que o verão foi se tornando mais úmido e o mês mais chuvoso se deslocou de dezembro-janeiro, para fevereiro-março ao longo das décadas. Por outro lado, observaram intensificação do período de estiagem, também com deslocamento dos meses mais secos para o inverno e primavera, que anteriormente era mais úmida. Outros dados associados à dinâmica atmosférica no hemisfério sul também apontam para alternância de ciclos mais chuvosos e mais secos (associados a períodos mais quentes e mais frios, respectivamente), como apontados por Molion (2008) baseado nos índices da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

A VAZÃO ESPECÍFICA MÉDIA (QE) NAS BACIAS DO RIO AGUAPEÍ E PEIXE

Utilizando-se dos relacionamentos estatísticos obtidos entre a Vazão média e a Área de Drenagem em diferentes segmentos das Bacias de Drenagem em estudo, foi possível primeiramente identificar como o relacionamento espacial esteve estabelecido ao longo da série histórica e considerando os períodos hidrológicos observados. Deste modo, utilizando-se dos relacionamentos estatísticos e de equações modelo por bacia hidrográfica, a aplicação na Figura 10 apresenta diferenças significantes na disponibilidade hídrica específica entre os períodos hidrológicos. Nota-se se que no primeiro período hidrológico os valores de vazão estimados foram bem inferiores aos do segundo e terceiro períodos para os diferentes tamanhos da área de drenagem (Figura 10). Por outro lado, nota-se similaridades no comportamento entre as duas bacias de drenagem.

A) BACIA DO RIO AGUAPEÍ		Q média		
Area (km ²)	1 per	2 per	3 per	
1	0.01	0.01	0.02	
10	0.07	0.13	0.16	
100	0.66	1.22	1.38	
1000	6.65	11/69	11.68	
3,000	19.96	34:40	32.39	
6000	39.95	67.96	61.63	
10,000	66.61	112.25	99.02	
15000	99.96	167.17	144.26	
B) BACIA DO RIO DO PEIXE		Q média		
Area (km ²)	1 per	2 per	3 per	
1	0.01	0.02	0.01	
10	0.11	0.15	0.08	
100	1,00	1.41	0.89	
1000	9.25	13.51	10.16	
3,000	26.68	39.74	32.41	
6000	52.08	78.49	67.39	
10,000	85.25	129.63	115.57	
15000	126.05	193.02	177.34	

Figura 10 - Dados estimados de vazão e aplicação das equações de regressão para a bacia dos rios Aguapeí e Peixe nos períodos hidrológicos identificados. Fonte: Adaptado por ANDRADE (2011)

Considerando-se cada um dos períodos hidrológicos identificados, os resultados apontam para um aumento significativo na Q_e no segundo período (1972-1984), sendo que no terceiro período (1985-2004) os valores se mantiveram próximos, mas um pouco menores (Tabela 3, Figura 11-A). Contudo, foi observada gradativa diminuição na variabilidade da Q_e ao longo dos períodos, indicando ainda um melhor ajuste espacial na variação da Q_e . Estes dados indicam que houve uma maior homogeneidade dos valores entre as estações das bacias, conforme os períodos hidrológicos foram ocorrendo (tabela 3, Figura 11-B). Percebe-se assim um melhor ajustamento entre a Q_e e a área das estações ao longo do tempo (figura 11).

Em termos de variação média por setor, as maiores variações de valores no espaço da Q_e foram observadas nas estações do baixo curso, entre o primeiro e o segundo e entre o segundo e o terceiro períodos hidrológicos.

Tabela 3 - Vazão específica média (Q_e) calculada conforme períodos hidrológicos nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe (Q_e em L.s-1.km-2).

	Área de Drenagem (km ²) Qe 1947-1971	Períodos Hidrológicos		
		Qe 1972-1984	Qe 1985-2004	
Alto Curso	734	8.38	13.23	12.23
	1061	11.12	14.41	11.61
	1092	6.57	11.64	10.59
	2650	8,12	12/08	10.66
Médio Curso	2883	8.55	13.71	11.20
	3670	6.84	11.34	10.57
	6217	6.90	11:48 AM	10,60
	7422	8,94	13-32	10.81
Baixo Curso	7660	6.78	11.54	10.13
	8643)	6.36	11.04	9.59
Média das Estações		7.86	12.38	10.80-
DP dist. espacial		1.48	1.18	0.74
CV dist. espacial		18.8	9.5	6.9

SD: Standard Deviation; CV: Coefficient of Variation

De acordo com Tucci (2002) existe uma tendência de redução da vazão específica de montante para jusante, conforme o aumento do tamanho da bacia e o comprimento do rio.

As menores diferenças espaciais foram observadas entre Alto, Médio e Baixo curso nas bacias entre o primeiro e terceiro períodos. Tal situação permite inferir que as diferenças espaciais na Q_e entre os setores Alto, Médio e Baixo curso dos rios diminuíram no espaço do primeiro para o segundo período hidrológico, com maior volume de água no sistema. Em termos absolutos, as maiores variações na Q_e se deram no setor de Alto curso na bacia do rio Aguapeí (63100000) entre o segundo e o primeiro período e entre o terceiro e o segundo período hidrológico, indicando resposta mais intensa às variações no volume de água disponível ao escoamento fluvial. De modo geral ainda se observa maior homogeneidade entre os setores espaciais no terceiro período hidrológico, em relação aos demais e maior heterogeneidade no primeiro período hidrológico (figura 11-B).

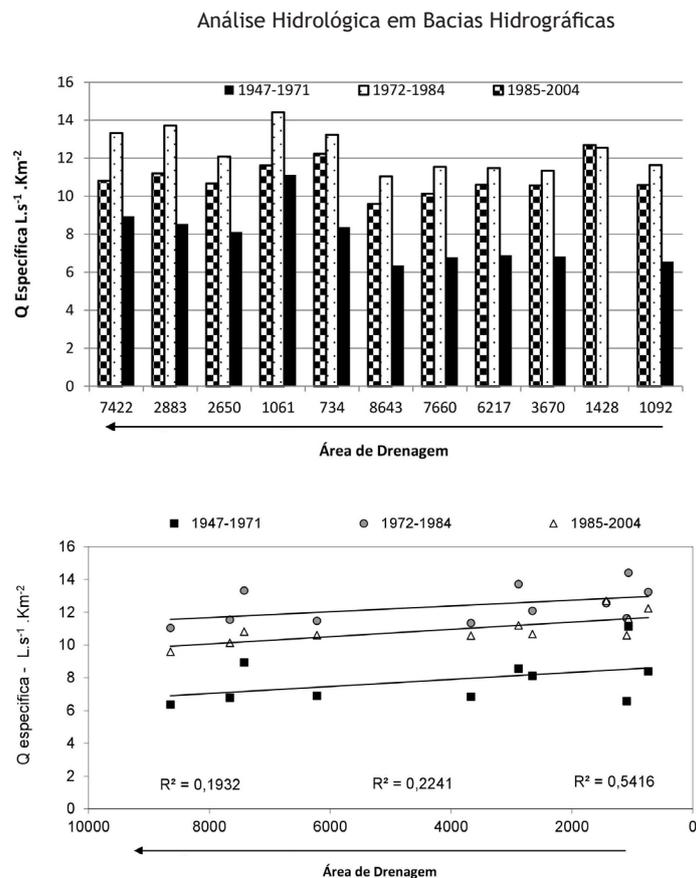


Figura 11 - Representação gráfica da variação temporal e espacial da vazão específica média nas bacias dos rios Aguaapé e Peixe. Fonte: Rocha & Andrade (2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo pode se observar a existência de diferentes períodos hidrológicos produzidos pela variabilidade climática natural, com duração de cerca de 10 a 20 anos em cada período, corroborando resultados de pesquisas anteriores na região, os quais indicam a existência de vários períodos hidrológicos ao longo do último século e início deste. Este estudo também corrobora a afirmação de estudos anteriores na bacia hidrográfica do alto rio Paraná sobre aumento dos fluxos nos rios a partir da década de 1970.

A identificação de alterações no regime de fluxo natural pode ser um instrumento eficiente na tomada de decisão quanto às estratégias para a mitigação dos impactos nos (eco) sistemas adjacentes. Também tem importância na identificação dos padrões de variabilidade climática e relacionamentos com os processos desencadeados nas vertentes (uso e ocupação) ou na própria rede hidrográfica (como a operação nas hidroelétricas e abastecimento público).

De modo geral, as duas bacias de drenagem tiveram comportamento muito parecido, o que reafirma a ideia de que estão numa região física e ambiental homogênea, repercutindo no comportamento hidrológico similar das mesmas.

Os resultados revelam alterações nos padrões espaciais da Q_e . As estações situadas no alto curso das bacias apresentaram maior variabilidade nos dados nos três períodos hidrológicos, o que era esperado. Quanto aos padrões temporais, o primeiro período apresentou maior variabilidade nos valores entre os trechos alto, médio e baixo. Houve gradativo aumento da homogeneidade dos valores entre as estações das bacias, conforme os períodos hidrológicos foram ocorrendo.

As alterações interanuais no regime hidrológico de rios são reflexos de duas componentes: 1) da variabilidade pluviométrica (climática), como processo natural na escala de tempo avaliada; 2) interferências antrópicas alterando a cobertura da terra, com os processos de desmatamento e

implementação de vários ciclos de culturas e pecuária ao longo do tempo modificam qualitativa e quantitativamente as relações hidrológicas na interface precipitação - escoamento fluvial. Os dados não são conclusivos para uma afirmação sobre mudanças climáticas.

No caso específico do oeste paulista, os ciclos do café/algodão, pastagens, cana-de-açúcar podem ter influenciado nos padrões de variação e caracterização dos períodos hidrológicos observados e merecem uma abordagem mais detalhada num próximo momento.

O aumento da produção específica hídrica em determinados períodos hidrológicos pode intensificar os processos erosivos laminares e lineares, o que pode ser um problema para áreas de manejo inadequado da terra.

Os resultados revelam ainda que, sob situação de intensa demanda, há de se levar em consideração a existência de períodos hidrológicos com maior e outros com menor disponibilidade de águas superficiais nos procedimentos legais de outorga de águas. Tal consideração pode evitar eventuais conflitos. Há necessidade de um estudo para uma metodologia eficiente de se empregar a predição de períodos hidrológicos de menores disponibilidades hídricas e estratégias de ação legalmente determinadas.

O primeiro passo a ser dado no rumo certo do planejamento dos recursos hídricos é incorporar os estudos (entendimento) dos regimes de fluxos dos rios e suas alterações nas estratégias de manejo e reconhecer que alteração pode ser imposta pelas ações humanas no fluxo do rio, e resultam em problemas de abastecimento público e saneamento além de intensas mudanças geomórficas e ecológicas nestes sistemas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa, processo: 408444/2013-4, Chamada 43/2013 - Ciências Humanas, Sociais e Sociais Aplicadas; e à FAPESP pela concessão de bolsa de estudos, proc. 2012/06637-8.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANDRADE, L. F. **Análise espaço-temporal do escoamento fluvial nas bacias hidrográficas dos rios aguapeí e peixe, oeste paulista, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2014.
- ANDRIUCCI, L. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; FERREIRA, M. E. M. C., 2002. Análise da variabilidade e tendência das chuvas e a descrição da produção agrícola na Bacia do rio Pirapó – PR. **Boletim de Geografia**, v. 20 p. 214-57, 2002.
- ARAUJO, A. P. **Dinâmica fluvial e regime hidrológico na bacia hidrográfica do rio Paranapanema.** 166f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2011.
- BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no Oeste Paulista.** 264 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDRIGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE, 1997. **Relatório Zero.** Disponível em: <http://cbhap.org/publicacoes/pbh/>. Acessado em 21 de jul. 2013.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDRIGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE. **Plano das bacias dos rios aguapeí e peixe.** Caderno Síntese das Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe, CBH-AP. Marília-SP, 2008. Disponível em: <http://cbhap.org/publicacoes/pbh/>. Acesso em 15 de agosto de 2015.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE. **Relatório de Situação dos recursos hídricos. Marília-SP.** Disponível em: <http://cbhap.org/publicacoes/pbh/>. Acessado em 21 de jul. 2013.

- COLLISCHONN, W, TUCCI, C.E.M. & CLARKE, R.T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the Paraguay River: part of a wider phenomenon of climate change?. **Journal of Hydrology** 245, 218-238, 2001.
- CLARKE, R. T.; TUCCI, C. E.; COLLISCHONN, W. Variabilidade temporal no regime hidrológico da bacia do rio Paraguai. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 8 n. 1 jan mar p. 201-211, 2003.
- DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Bertrand Brasil. 3a. ed. Rio de Janeiro, 1994.
- HANNAH, D. M.; BOWER, D.; MCGREGOR, G. R. Associations between Western European air-masses and river flow regimes. *Climate Variability and Change - Hydrological Impacts. Fifth Friend World Conference held at Havana, Cuba, IAHS Publ. 308, 2006.*
- IEMMA, A. F. **Estatística descritiva**. Piracicaba: Phi Sigma Ro Publicações. 1992, 182p.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**; escala 1:500.000. v1 (texto) e v2 (mapa), 1981. Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia.
- KINGSTON, D. G.; LAWLER, D. M.; MACGREGOR, G. R. Linkages between atmospheric circulation, climate and streamflow in the northern North Atlantic: research prospects. **Progress in Physical Geography**, v.2 n. 30, p. 143–174, 2006.
- LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; SILVA, F. A. M.; SANO, E. E. Variabilidade espaço-temporal da vazão específica média no Estado de Goiás. In: **Simpósio Internacional de Savanas Tropicais**. II, 2008, Brasília: Anais... p 1-6, 2008.
- MACDONALD, N. PHILLIPS I.D. Reconstructed annual precipitation series for Scotland (1861–1991). In: *Spatial and temporal variations and links to the atmospheric circulation. Scot Geographical Journal*, p.122: 1–18, 2006.
- MACDONALD, N., PHILLIPS I.D & THORPE, J., 2008. Reconstruction of long-term precipitation records for Edinburgh: an examination of the mechanisms responsible for temporal variability in precipitation. **Theor. Appl. Climatol.**, p. 141–154, 2008.
- MANOEL, J.L. **Interação os perfis longitudinais dos Rios Aguapeí e Peixe, parâmetros morfométricos e morfologia das vertentes nas bacias hidrográficas**. 80f. TCC (Graduação em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2015.
- MELLER, A., ALLASIA, D., COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Sensibilidade do regime hidrológico de Bacias hidrográficas à variabilidade da precipitação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 5, pp. 13-34, 2005.
- MENARDI JUNIOR, A. **Regime e ritmo das chuvas na Bacia do Rio Piracicaba**. 291f. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, São Paulo, 2000.
- MOLION, L.C.B. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. *Revista Brasileira de Climatologia. ABClima*. Vol. 2/4 , ano 4. Presidente Prudente-SP, 2008.
- MONBEIG, P. **Pioneiros e Fazendeiros de São Paulo**. Ed. Hucitec. Sao Paulo. 1984, 392p.
- MONTEIRO, C.A.F. **A dinâmica climática e as chuvas do estado de São Paulo**: estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: IGEOG, 1973.
- PETTS, G. & FOSTER, I. **Rivers and Landscape**. The Athenaeum Press, 3 ed., New Castle, Great Britain, 1990.
- POFF, H.L., ALLAN, D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., & STROMBERG, J.C. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. **Bioscience**, vol. 47, n. 11. p. 769-784, 1997.
- REYNARD, N. S.; PRUDHOMME, C.; CROOKS, S. M. The flood characteristics of large U.K. Rivers: Potential effects of changing climate and land use. **Climate change**, n 48, p 343-349, 2001.
- RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., POWELL, J & BRAUN, D.P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystem. **Conservation Biology**, 10-4, 1163-1174p, 1996.
- RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., WIGINGTON, R. & BRAUN, D.P. How Much Water Does a River Need. **Freshwater Biology**, 37. 231-249 p, 1997.

- ROCHA, P.C. Indicadores de alteração hidrológica no alto rio Paraná: intervenções. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 22 (1): 205-225, 2010.
- ROCHA, P. C. & ANDRADE, L. F. O regime interanual de rios na região oeste de São Paulo (Brasil). In: Universidade de Coimbra-PT. (Org.). **Para conhecer a terra**. 1ed. Coimbra, Portugal: ed da Unvers Coimbra, v. 1, p. 351-358, 2012.
- ROCHA, P.C.; FERNANDEZ, O.V.Q.; SOUZA FILHO, E.E. Influência de Grandes Barragens Sobre o Regime Hidrológico do Rio Paraná em Guaira-PR. In: **An. 5º Cong. Bras. de Geógrafos**, Curitiba-PR. Boletim de resumos, 1994.
- ROCHA, P.C., SOUZA FILHO, E.E & FERNANDEZ, O.V.Q., 1998. Aspectos do controle de descargas efetuado por barramentos no alto rio Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, 46. Curitiba-Pr-Brasil, p 117-122, 1998.
- ROCHA, P.C., SANTOS, M.L. & SOUZA FILHO, E.E. Alterações no regime hidrológico do alto rio Paraná como resposta ao controle de descargas efetuado por grandes barramentos a montante. In: **VIII Encuentro de Geógr. de América Latina**, Santiago-Chile, p 28-39, 2001.
- ROCHA, P.C., SOUZA FILHO, E.E & COMUNELLO, E. Considerações sobre a variabilidade hidrológica do alto rio Paraná. **Revista GeoUERJ**, Rio de Janeiro, 2003.
- ROCHA, P.C. & TOMMASELLI, J. T. G. Variabilidade hidrológica nas bacias dos rios aguapeí e peixe, região Oeste Paulista. **Rev Brasileira de Climatologia**. n 8, v. 10, p 69-84, 2012.
- ROCHA, P. C., HOOKE, J. M. & MORAIS, E.S. The interannual regime of rivers: a comparison between Peixe river (western of São Paulo state, Brazil) and Dee river (Snowdonia, UK). In: **8 IAG International Conference on Geomorphology**, Paris, France, 27-31/8, 2013.
- 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.
- SANT'ANNA NETO, J.L., 2000. As Chuvas no Estado de São Paulo: A Variabilidade Pluvial nos Últimos 100 Anos. In: SANT'ANNA NETO, J.L. & Zavatini, J.A. (orgs). **Variabilidade e Mudanças Climáticas**. Eduem, Maringá-PR, 2000.
- SANTOS, A. A. **Dinâmica Hidrossedimentológica nos Rios Aguapeí e Peixe, Oeste Paulista**. 74f. TCC (Graduação em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2013.
- SILVA JÚNIOR, O. B.; BUENO, E. O.; TUCCI, C. E. M.; CASTRO, M. N. R. Extrapolação Espacial na Regionalização da Vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 8 n.1 Jan/Mar, 21-37p, 2003.
- SILVEIRA, A., MOURA, R. M. P., ANDRADE, N. R.L. Determinação da Q7,10 para o rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil e comparação com a vazão regularizada após a Implantação do reservatório de aproveitamento múltiplo de manso. In: **XXX Congresso Interamericano De Ingeniería Sanitaria Y Ambiental**. Punta del Este – Uruguay, 2006.
- TUCCI, C.E.M & CLARKE, R.T. Environmental Issues in the la Plata Basin. **Water resources development**, 4 (2), 157-173, 1998.
- TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Rio Grande do Sul: Ed. Universidade/UFRGS, 2002. p.14.
- ZAVATINI, J.A. Anos Secos e Anos Chuvosos na Bacia do Paraná. In: **IX Encontro Sul-Mato-Grossense de Geógrafos**. Três Lagoas-MS, 1998.