



Programa de Pós-Graduação em Geografia | UNESP Rio Claro

doi.org/10.5016/geografia.v51i1.18317

ISSN 1983-8700 | E-18317

Análise em multiescala das alterações pluviométricas, usos dos solos e nível dos rios que abastecem a Bacia do Rio Paraíba do Sul – SP, Brasil

Júlio César Pimenta dos Santos¹, Maria Angélica Toniolo², Nathan David Vogt³

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE),
São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9194-6077>

² Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP),
São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7835-3285>

³ Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), São José
dos Campos, São Paulo, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4463-7700>

E-mail correspondente: julio.santos@inpe.br

Destaques:

- Nos últimos 60 anos, a precipitação não apresentou tendência significativa de alteração.
- As vazões nas sub-bacias analisadas apresentaram tanto tendências positivas quanto negativas, e nem sempre demonstram correlação direta com os diferentes usos e coberturas da terra.

Resumo: O objetivo deste trabalho é analisar as tendências hidrológicas na bacia do Paraíba do Sul, porção paulista, utilizando os dados pluviais e fluviais, e relacionar estas variações de cotas com as mudanças no uso e cobertura da terra entre 1985 e 2020. Segundo Marengo e Alves (2005), as tendências pluviais na bacia do rio Paraíba do Sul não mudaram, mas a vazão do trecho principal do rio está diminuindo, e sugerem os processos de alteração do uso e ocupação do solo e o crescimento urbano dentro da bacia hidrográfica como possíveis causas. Persistem lacunas no conhecimento acerca das alterações na vazão das sub-bacias contribuintes do trecho principal, assim como sobre a influência das mudanças no uso e cobertura da terra nessas alterações. Utilizando os dados do HIDROWEB e MAPBIOMAS, este estudo contribui para ampliar o conhecimento sobre as relações entre a precipitação, cota e uso e cobertura da terra. Nos últimos 60 anos, nas sub-bacias fora do leito principal, a precipitação não apresentou tendência significativa de alteração. No entanto, as vazões exibiram variações tanto positivas quanto negativas, o que indica que nem sempre há uma correlação direta com os usos e coberturas da terra. Foi identificado um caso em que duas sub-bacias, apesar de apresentarem aumento absoluto semelhante na cobertura florestal, mostraram tendências de vazão distintas.

Palavras-chave: Uso e cobertura da terra; Tendências hidrológicas; Bacia hidrográfica; Precipitação; Vazão.

Como citar este artigo:

SANTOS, Júlio César Pimenta dos; TONIOLO, Maria Angélica; VOGT, Nathan David. Análise em multiescala das alterações pluviométricas, usos dos solos e nível dos rios que abastecem a Bacia do Rio Paraíba do Sul – SP, Brasil. *Geografia*, Rio Claro-SP, v. 51, e-18317, 2026. Disponível em:

<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/18317>. DOI:

doi.org/10.5016/geografia.v51i1.18317.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença CC - *Creative Commons Attribution* 4.0, que permite o uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Multiscale analysis of changes in rainfall, land use and river levels that supply the Paraíba do Sul river basin – SP, Brazil

Abstract: The aim of this study is to analyze hydrological trends in the São Paulo portion of the Paraíba do Sul River Basin using rainfall and river level data, and to relate these elevation changes to land use and land cover changes between 1985 and 2020. According to Marengo and Alves (2005), rainfall trends in the Paraíba do Sul River Basin have not changed significantly; however, the flow of the main river segment is decreasing. They suggest that changes in land use and occupation, along with urban growth within the basin, are possible causes. Knowledge gaps remain regarding flow variations in the tributary sub-basins of the main segment, as well as the influence of land use and land cover changes on these variations. Using data from HIDROWEB and MAPBIOMAS, this study contributes to a better understanding of the relationships between precipitation, river level, and land use and land cover. Over the past 60 years, in sub-basins outside the main riverbed, precipitation has shown no significant trend of change. However, river flows have exhibited both positive and negative variations, indicating that there is not always a direct correlation with land use and land cover. One case was identified in which two sub-basins, despite showing a similar absolute increase in forest cover, displayed distinct flow trends.

Keywords: Land use and land cover; Trend hydrological; Hydrographic basin; Precipitation; Flow rate.

Análisis multiescala de los cambios de lluvia, uso del suelo y niveles de los ríos que aumentan la cuenca del río Paraíba do Sul – SP, Brasil

Resumen: El objetivo de este trabajo es analizar las tendencias hidrológicas en la cuenca del río Paraíba do Sul, en el tramo paulista, utilizando datos de precipitación y de nivel del río, y relacionar estas variaciones en las cotas con los cambios en el uso y cobertura del suelo entre 1985 y 2020. Según Marengo y Alves (2005), las tendencias de precipitación en la cuenca del río Paraíba do Sul no han cambiado, pero el caudal del tramo principal del río está disminuyendo. Los autores sugieren que los procesos de cambio en el uso y ocupación del suelo, así como el crecimiento urbano dentro de la cuenca, podrían ser las posibles causas. Aún existen vacíos en el conocimiento sobre las alteraciones del caudal en las subcuencas que contribuyen al tramo principal, así como sobre la influencia de los cambios en el uso y cobertura del suelo en dichas alteraciones. Utilizando los datos de HIDROWEB y MAPBIOMAS, este estudio contribuye a ampliar el conocimiento sobre las relaciones entre la precipitación, el nivel del río y el uso y cobertura del suelo. En los últimos 60 años, en las subcuencas fuera del lecho principal, la precipitación no presentó una tendencia significativa de cambio. Sin embargo, los caudales mostraron variaciones tanto positivas como negativas, lo que indica que no siempre existe una correlación directa con los usos y coberturas del suelo. Se identificó un caso en el que dos subcuencas, a pesar de mostrar un aumento absoluto similar en la cobertura forestal, presentaron tendencias de caudal distintas.

Palabras clave: Uso y cobertura del suelo; Niveles de los ríos; Tendencias hidrológicas; Cuenca hidrográfica; Precipitación; Tasa de flujo.

INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é analisar as tendências hidroclimáticas no trecho paulista da bacia do rio Paraíba do Sul, utilizando dados de cota fluvial e

precipitação pluvial, e relacionar essas variações nas cotas com as mudanças no uso e cobertura da terra entre 1985 e 2020. Estudos anteriores indicam que as tendências de precipitação na bacia hidrográfica, ao longo do leito principal do rio Paraíba do Sul, permanecem estáveis, enquanto a vazão no trecho principal do rio apresenta tendência de redução. Segundo Marengo e Alves (2005), os processos de mudança no uso e ocupação do solo, bem como o crescimento urbano dentro da bacia hidrográfica, são apontados como possíveis fatores explicativos para os resultados encontrados. Embora haja diversos estudos, como os de Marengo e Alves (2005) e Zhou et al. (2010), que investigam as tendências na escala da bacia do rio Paraíba do Sul, são escassos os estudos focados nas sub-bacias que abastecem o trecho principal do rio. Para entender as variações e inter-relações entre as tendências hidroclimáticas e as mudanças no uso e cobertura do solo, são necessários mais estudos, com ênfase especial nos impactos das alterações no uso da terra sobre a vazão hídrica nas sub-bacias do rio Paraíba do Sul. Estudos como este são importantes na elaboração de políticas públicas e intervenções para a restauração da capacidade das paisagens socioecológicas em produzir serviços ecossistêmicos à sociedade e ao mesmo tempo regular os recursos hídricos, prevenindo desastres ambientais.

Problema

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul é uma das mais importantes e estratégicas do Brasil, abrigando reservatórios que abastecem a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN). Além das duas regiões metropolitanas mais populosas do país, São Paulo e Rio de Janeiro, onde se concentram os principais centros econômicos do Brasil (IBGE, 2023). A RMVPLN passou por um processo significativo de desenvolvimento nas últimas décadas, caracterizado por grandes obras viárias, instalação de indústrias, expansão de assentamentos e construção de infraestrutura (como retificações de cursos d'água, sistemas de drenagem e aterros). No entanto, esse crescimento urbano e industrial intensificou a pressão sobre os recursos hídricos, comprometendo a capacidade da bacia hidrográfica de manter a produção de água em quantidade e qualidade adequadas para atender à crescente demanda (São Paulo, 2014).

A estiagem prolongada nos verões de 2003 e 2013 reduziu a oferta de água na Bacia Hidrográfica. Nos anos (2000-2003), a chuva foi abaixo da média histórica nas cabeceiras do rio Paraíba (Devide, 2014). Diante desta situação de escassez, observou-se uma condição hidroclimática desfavorável nos anos de 2000, 2001 e 2002, com os menores valores de vazão em todo o período histórico, desde 1931 (Marengo; Alves, 2005; Ferreira, 2015). Entre 2014 e 2015, as vazões voltaram a diminuir em diversos rios tributários da bacia do rio Paraíba do Sul nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Este fato levou o estado de São Paulo a enfrentar uma crise hídrica sem precedentes, que contribuiu fortemente para a redução da oferta de água na região, particularmente na Região Metropolitana de São Paulo (ANA, 2017). Além disso, se observou que as bacias de contribuição dos principais reservatórios de abastecimento urbano da região Sudeste, como é o caso do Sistema Cantareira e os sistemas do Paraíba do Sul, contaram em 2014 com precipitações próximas às mais baixas já registradas no histórico, o que impediu a recuperação dos níveis dos reservatórios (ANA, 2014). Assim, a cidade de São Paulo vivenciou novamente uma escassez de água em 2015 e, por causa dessa ocorrência, o governo estadual identificou os reservatórios de Jaguari e Paraibuna como fontes de água para uso em períodos de escassez, adicionando pressão sobre os recursos hídricos da bacia.

Se, por um lado, a região enfrentou anos de escassez hídrica, por outro, também foi afetada por eventos de inundações. Na virada de 2009 para 2010, o município de São Luiz do Paraitinga passou a integrar a lista de ocorrências de desastres naturais no Brasil, em decorrência de um evento ambiental extremo de cheia causado por um período prolongado de precipitação intensa na bacia do rio Paraitinga. A saturação do solo ao longo de todo o mês de dezembro de 2009 evidenciou a relação entre a precipitação e o uso e ocupação do solo (Arguello, 2017). O uso e ocupação do solo é um fator que impacta a drenagem e a infiltração da precipitação e, segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (CBH-AT, 2009), é imperativo o controle do uso e ocupação do solo nos mananciais, sem o qual os riscos de comprometimento da qualidade das águas serão muito altos. Segundo Silva et al. (2016), as plantações de eucalipto correspondiam a 375 km² da bacia do rio Paraíba do Sul, trecho paulista, em 1985 e atingiu 864 km² em 2011. Este uso, principalmente em propriedades privadas, caracterizado pela silvicultura empresarial, passou de 140 km² para 376 km², enquanto as áreas de

cobertura florestal natural passaram de 98 km² para 280 km² entre 1985 e 2011. A bacia do rio Paraíba do Sul, nas últimas décadas, está passando por uma transfiguração de paisagem e sofrendo uma grande urbanização que coloca uma pressão aos recursos hídricos devido ao seu uso e à área que prestam serviços ecossistêmicos de manutenção do recurso hídrico.

Os estudos e projeções de cenários são essenciais na prevenção de novas crises hídricas e desastres ambientais, na formulação de políticas, planos e projetos para a mitigação de impactos, assim como para a adaptação às mudanças. Silva (2020) demonstrou que a precipitação pluvial projetada para o cenário de 2021-2050, não muda significativamente e possui alta correlação com o período analisado 1971-2000. Porém, a escala espacial de análise do trabalho de Silva é maior comparada a este trabalho e encontramos resultados estatísticos mais diversos observando apenas algumas sub-bacias fora do leito principal do rio Paraíba do Sul. Este trabalho pretende contribuir para o maior entendimento das relações entre as tendências hidrológicas e as mudanças do uso e cobertura de terra. Assim, orientar o planejamento da ocupação no território da RMVPLN e do uso dos recursos naturais, almejando um desenvolvimento que garanta a manutenção de serviços ecossistêmicos e a qualidade de vida da população.

CONCEITOS E PROCESSOS HIDROLÓGICOS

Esta seção apresenta os principais conceitos e processos hidrológicos utilizados no estudo, detalhando suas inter-relações e influência nas análises. Também se discute a relação entre a variabilidade da precipitação, as alterações nas cotas fluviométricas e as mudanças no uso e cobertura do solo. Os processos de infiltração e de escoamento superficial e sua variação pelo uso e cobertura do solo são destacados. Ainda, descreve-se a importância das Unidades de Conservação (UC), o marco legal de categorias, graus de proteção e benefícios que provêm à sociedade, como os serviços ecossistêmicos de regularização e provisão hídrica nas sub-bacias do Paraíba do Sul.

Relação entre hidrologia e uso e cobertura

A disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica é relacionada a variáveis de dois tipos: climáticas e não climáticas. Sendo algumas das variáveis climáticas a precipitação, temperatura e evapotranspiração, e entre as variáveis

não climáticas, o uso e cobertura do solo e quantidade de poluentes (IPCC, 2007; IPCC, 2021). Quando a precipitação atinge o solo, sua interação depende da capacidade de armazenamento hídrico do mesmo. Se o solo ainda apresentar capacidade de retenção, a água infiltra; no entanto, quando essa capacidade é excedida, o excedente escoar superficialmente (Tucci e Clarke, 1997). Solos com ausência ou pouca cobertura vegetal sofrem processos de compactação e a capacidade de infiltração da água no solo diminui drasticamente. A compactação do solo aumenta o escoamento superficial da água. Enquanto os solos com a presença de cobertura vegetal ou florestas possuem maior capacidade de infiltração quando comparados ao solo exposto. A capacidade de infiltração reduz o escoamento superficial nas áreas com cobertura vegetal (Tucci; Clarke, 1997). Na província de Guangdong, China, um estudo com base em 50 anos de dados observou um aumento da cobertura florestal de 20% para 57% da área total da bacia hidrográfica (Zhou et al., 2010). Estimou-se que esse processo de reflorestamento contribuiu para a redistribuição da água, transferindo parte do volume do período chuvoso para o período de estiagem, por meio da intensificação dos processos de infiltração, recarga e descarga (Zhou et al., 2010). As Unidades de Conservação (UC), especialmente aquelas de proteção integral, podem demonstrar a relação entre cobertura vegetal e cota fluvial. Isso se deve à sua expressiva cobertura florestal, que contribui com serviços ecossistêmicos de regulação hidrológica, auxiliando na prevenção de eventos críticos, como as crises hídricas ocorridas no estado de São Paulo. Assim, este estudo busca identificar uma possível relação entre as tendências das cotas fluviais e a proporção de cobertura vegetal nas sub-bacias hidrográficas. Partindo da hipótese de que a área vegetal está associada às cotas dos rios, enquanto a cobertura vegetal estaria inversamente relacionada a eventos extremos.

Categorias de Unidades de Conservação

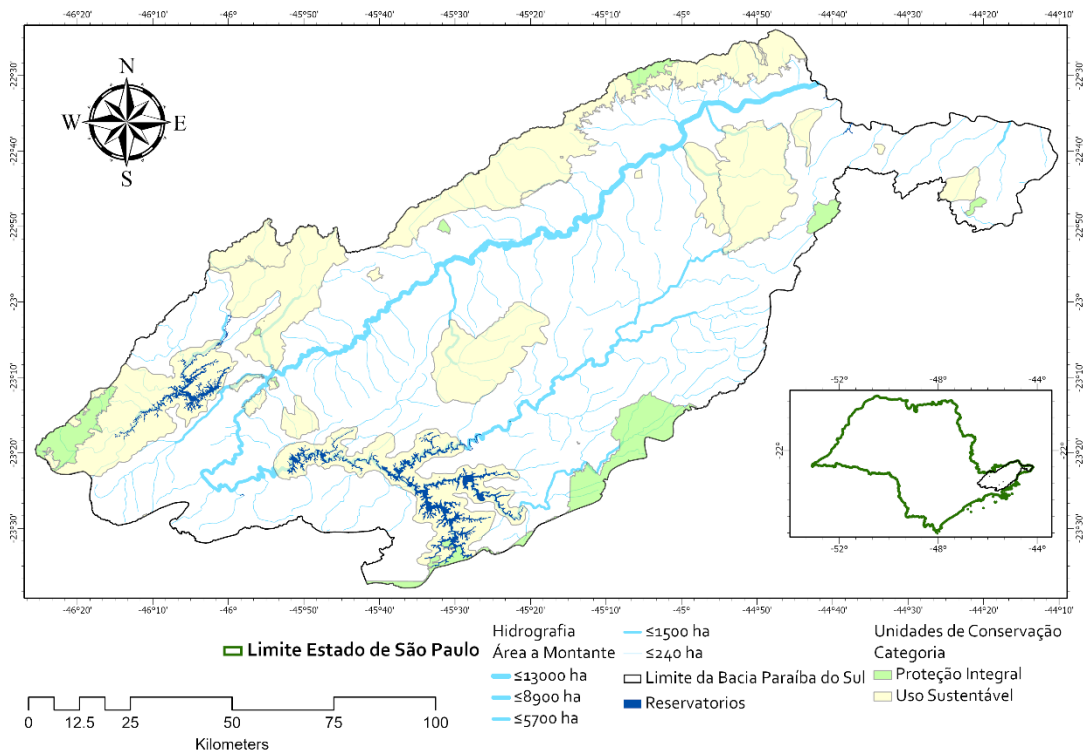
Na bacia do rio Paraíba do Sul, no estado de São Paulo, foram estabelecidas diversas Unidades de Conservação (UC), entre as quais se destacam três principais: (1) o Parque Estadual da Serra do Mar, uma UC estadual de proteção integral; (2) a Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Paraíba do Sul; e (3) a APA da Serra da Mantiqueira, ambas de âmbito federal e classificadas como UCs de uso sustentável. Enquanto o Parque Estadual da Serra do Mar visa à

preservação total dos ecossistemas naturais, as APAs permitem o uso e manejo dos recursos naturais, desde que orientados por um plano de manejo e supervisionados por um conselho gestor. Apesar de sua relevância para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, as UCs no Brasil ainda enfrentam desafios significativos, como a escassez de recursos financeiros e humanos (Souza; Richter; Costa, 2019).

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, situada no estado de São Paulo (Figura 1). A bacia é delimitada ao sul pela Serra do Mar e ao norte pela Serra da Mantiqueira, com o leito principal do rio percorrendo a região do vale entre essas formações geológicas — característica que dá nome à região do Vale do Paraíba paulista. Os rios formadores do Paraíba do Sul são o Paraitinga e o Paraibuna, cuja confluência ocorre atualmente no reservatório da Usina Hidrelétrica de Paraibuna (SP). A nascente do rio Paraitinga localiza-se na Serra da Bocaina, no município de Areias (SP), a cerca de 1800 metros de altitude. Já o rio Paraibuna tem sua nascente na Serra do Mar, no município de Cunha (SP), a aproximadamente 1200 metros de altitude (Arguello, 2017). No curso superior da bacia, próximo à cabeceira do Paraitinga, predomina o clima tropical mesotérmico brando úmido com três meses secos, segundo a classificação de Köppen. À medida que o rio se aproxima da confluência com o Paraibuna, o clima passa a ser tropical úmido, variando o número de meses secos: de um a dois meses na parte mais alta do rio e três meses secos no trecho posterior, já denominado rio Paraíba do Sul (Silva, 2019). A pluviosidade média anual da bacia varia de 1300 a 1400 mm. No entanto, devido à influência da urbanização, algumas cidades da região apresentam aumento na temperatura do ar e da superfície, o que gera variações locais na precipitação. Nas áreas de relevo mais elevado, como a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar, a precipitação pode atingir até 3000 mm, especialmente na sub-bacia do rio Paraibuna (Schröder, 1956).

Figura 1 - Área de estudo inicial

Fonte: ANA (2022). Elaborado pelos autores (2022).

Dentro da área de estudo principal, a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, foram selecionadas áreas menores, as sub-bacias, adotando-se o sistema de ottocodificação para sua delimitação. Esse sistema relaciona a hierarquia dos cursos d'água com a área de drenagem da bacia hidrográfica. Para esta pesquisa, optou-se pelo nível 6 da ottocodificação, com o objetivo de analisar processos hidrológicos em compartimentos mais detalhados e com menor influência de grandes represamentos, permitindo comparações entre as sub-bacias e, assim, definir as áreas finais de estudo. A análise das tendências hidrológicas foi baseada em séries temporais históricas de dados precipitação pluviométrica e cota fluviométrica obtidos para cada sub-bacia. Como critério mínimo, foram utilizadas séries com, no mínimo, 30 anos de dados contínuos, conforme recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1994). Adicionalmente, foram selecionadas apenas sub-bacias livres da influência de grandes reservatórios, uma vez que as operações humanas de controle do fluxo hídrico por barragens interferem diretamente nas cotas dos rios. No trecho paulista da bacia do rio Paraíba do Sul, destacam-se os reservatórios de

Paraibuna, Santa Branca e Jaguari. Dessa forma, foram excluídas da análise as estações fluviométricas localizadas a jusante dessas estruturas.

Análise das mudanças hidrológicas

Para a análise das mudanças nos regimes pluviais e fluviais, foram utilizados dados hidrológicos provenientes do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), acessíveis por meio do portal HidroWeb (2021), gerenciado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os dados foram baixados em formato de texto e posteriormente convertidos para planilhas Excel, totalizando 93 estações fluviométricas e 235 estações pluviométricas. A definição dos períodos chuvoso e de estiagem seguiu a proposta de Marengo e Alves (2005), sendo considerado período chuvoso aquele compreendido entre os meses de novembro a março, e período de estiagem, de abril a outubro. Para fins de análise sazonal, as estações do ano foram delimitadas conforme descrito por Miranda (2019) e Albuquerque et al. (2010): verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro).

Com base na definição sazonal adotada, foram elaborados gráficos comparativos das alterações nos regimes fluvial e pluvial, organizando os dados por ano e por estação do ano. Os dados de precipitação foram expressos em totais acumulados (mm), enquanto os dados de cota fluvial foram representados por médias (cm), ambos conforme os períodos previamente definidos e aplicados de forma padronizada em todos os gráficos. Para a análise dos dados, foram aplicadas técnicas estatísticas de regressão linear e cálculo do desvio padrão. A regressão linear, utilizada para avaliar tendências temporais, gera uma equação com coeficiente angular que representa a direção e intensidade da variação das variáveis independentes — neste caso, a precipitação e as cotas fluviais — ao longo do tempo. O desvio padrão, por sua vez, corresponde à raiz quadrada da variância (soma dos quadrados dos desvios em relação à média, dividida por $n-1$), e foi utilizado para identificar eventos extremos, caracterizados por valores fora de dois desvios padrões em relação à média. A geração dos gráficos e tabelas foi realizada em planilhas eletrônicas com suporte a métodos de análise estatística, especialmente regressão linear.

As tendências foram determinadas por meio do teste de Mann-Kendall, conforme descrito por Press (1989). Este método é amplamente utilizado em estudos hidrológicos, especialmente devido à natureza não linear das séries temporais hidrológicas, que torna inadequados métodos que assumem linearidade, como a regressão linear simples (Marengo e Alves, 2005). O teste de Mann-Kendall apresenta vantagens relevantes, como a baixa sensibilidade a valores extremos e a capacidade de detectar tendências monotônicas ao longo do tempo com maior robustez. Embora se assemelhe conceitualmente à regressão linear, o método não depende de pressupostos de distribuição dos dados, o que o torna mais adequado para a análise de variáveis hidrológicas históricas.

Seleção das estações fluviométricas e pluviométricas

Após a aplicação dos critérios pré-estabelecidos na Seção 3.1 para filtragem das estações fluviométricas, apenas cinco estações atenderam plenamente aos requisitos. Dentre estas, duas possuem séries temporais superiores a 80 anos, outras duas possuem mais de 60 anos de dados, e uma possui mais de 40 anos. As estações selecionadas não sofrem interferência de grandes represas, como as de Paraibuna, Santa Branca e Jaguari, o que as torna aptas para a análise proposta neste estudo (Tabela 1).

Tabela 1 - Estações fluviométricas na bacia do rio Paraíba, trecho paulista.

SUB-BACIA	ID	ÍNICIO	FINAL	TOTAL DE MESES	TOTAL DE ANOS
1	58030000	abr-34	fev-21	1042	86
2	58060000	set-33	abr-21	1051	87
3	58211000	ago-57	ago-19	744	62
4	58142200	fev-79	abr-21	506	42
5	58147000	mar-60	mai-20	722	60

Fonte: HidroWeb. Elaboração dos autores (2022).

Com as estações fluviométricas definidas, o próximo passo foi identificar as estações pluviométricas nas mesmas sub-bacias. No banco de dados do HidroWeb, existem um total de 235 estações pluviométricas na área de estudo, mas apenas 12 estão dentro do período de análise do estudo. Pela menor disponibilidade de dados das estações fluviométricas, foi reduzido o número de estações pluviométricas para 5, formando os pares. Então, para a análise hidrológica, foi necessário quantificar a entrada de água (pluviômetro) e a saída de água (fluviômetro) em conjunto dentro de uma mesma sub-bacia. Portanto, as

5 estações pluviométricas escolhidas possuem 5 estações fluviométricas na mesma sub-bacia, localizadas fora do canal principal do rio Paraíba do Sul para não sofrer com as interferências dos represamentos, possibilitando assim a relação de precipitação pluvial e cota fluvial, sendo um sistema de entrada e saída da água da sub-bacia hidrográfica. As estações relacionadas em duplas estão representadas pelos seus identificadores (IDs) na Tabela 2 e se adotou os números de 1 a 5 como códigos para as sub-bacias neste trabalho, visando melhorar o entendimento.

Tabela 2 - Estações Pluviométricas e Fluviométricas em Pares

SUB-BACIA	ID FLUV	ID PLUV	ÍNICIO	FINAL	TOTAL DE MESES	TOTAL DE ANOS
1	58030000	2245055	set/35	set/20	1020	85
2	58060000	2345067	out/36	set/20	1007	83
3	58211000	2245021	jul/57	dez/02	545	45
4	58142200	2245054	fev-79	abr/20	494	41
5	58147000	2345164	fev/60	mai-20	723	60

Fonte: HidroWeb. Elaboração dos autores (2022).

Na sub-bacia 1, a estação fluviométrica de ID 58030000, denominada Estrada do Cunha, está localizada no município de Cunha (latitude -22.9939, longitude -45.0439), no leito principal do rio Paraitinga, atuando como exutório da sub-bacia de classe N6 e ID 53. Possui uma área de drenagem de 796 km² e não apresenta interferência de grandes reservatórios. A estação pluviométrica correspondente possui o ID 2245055, com o mesmo nome e localização geográfica, conforme apresentado na Figura 2.

Na sub-bacia 2, a estação fluviométrica de ID 58060000, denominada Ponte Alta 1, localiza-se no município de São Luiz do Paraitinga (latitude -23.3300, longitude -45.1436), no leito principal do rio Paraibuna, posicionada a jusante do centro da sub-bacia de classe N6 e ID 44. Sua área de drenagem é de 277 km², também sem influência de grandes barragens. A estação pluviométrica associada possui o ID 2345067 e o mesmo nome, estando igualmente representada na Figura 2.

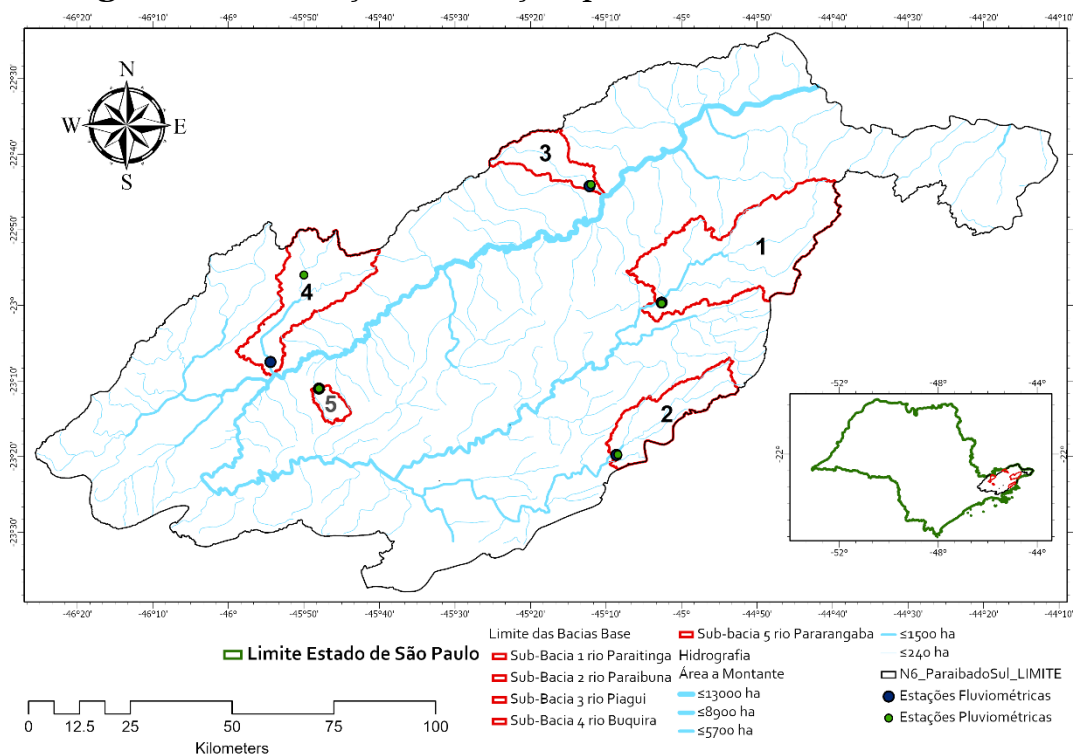
Na sub-bacia 3, a estação fluviométrica de ID 58211000, chamada Colônia Piagui, situa-se no município de Guaratinguetá (latitude -22.7400, longitude -45.2000), registrando os níveis do rio Piagui, afluente do rio Paraíba do Sul. Possui uma área de drenagem de 171 km² e está inserida na sub-bacia de ID 1457,

pertencente à bacia N6 de ID 792955. Sua estação pluviométrica auxiliar, de mesmo nome, tem o ID 2245021 (Figura 2).

Na sub-bacia 4, a estação fluviométrica de ID 58142200, denominada Buquirinha 2, encontra-se no município de São José dos Campos (latitude -23.1200, longitude -45.9100), no rio Buquirã, sendo o exutório da sub-bacia de nível 6 e ID 792958, com área de drenagem de 407 km². Não há interferência de represamentos. A estação pluviométrica correspondente é a 2245054, localizada a montante, no município de Monteiro Lobato, conforme a Figura 2.

Na sub-bacia 5, a estação fluviométrica de ID 58147000, denominada Pararangaba, também está situada no município de São José dos Campos (latitude -23.1800, longitude -45.8000), no rio Pararangaba, afluente do rio Paraíba do Sul. Possui uma área de drenagem de 50 km² e está localizada na sub-bacia de ID 1010 da bacia N6 de ID 792957. Sua estação pluviométrica auxiliar possui o ID 2345164 (Figura 2).

Figura 2 - Localização das estações pluviométricas e fluviométricas



Fonte: ANA. Elaboração dos autores (2022).

O banco de dados utilizado para a delimitação das sub-bacias e da rede hidrográfica do rio Paraíba do Sul, no trecho paulista, foi fornecido pela ANA e pela Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo

(DATAGEO). Esses limites foram utilizados tanto para a elaboração dos mapas quanto para a realização dos recortes nos dados de Áreas de Proteção Permanente (APPs) e de uso e cobertura do solo.

Os dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) foram obtidos por meio do portal <https://metadados.snirh.gov.br/>, utilizando a base denominada “Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Paraíba do Sul nas escalas 1:25.000/50.000”. Essa base adota a metodologia de codificação de bacias hidrográficas proposta por Otto Pfafstetter, cujo detalhamento metodológico está disponível no mesmo site.

Para esta pesquisa, foram realizados recortes espaciais nos limites originais das sub-bacias 2 e 5, com a utilização das microbacias para excluir as áreas situadas a jusante das estações fluviométricas. Esse procedimento teve como objetivo considerar, nas análises subsequentes, apenas as áreas efetivamente contribuintes, ou seja, aquelas responsáveis pela drenagem das águas até o ponto de medição das cotas fluviais nas respectivas estações fluviométricas.

Análise das mudanças de uso do solo e cobertura da terra

O banco de dados utilizado para a análise do uso e cobertura da terra na área de estudo é público e está disponível gratuitamente no site do Projeto MapBiomias (<https://mapbiomas.org/>) para os anos de 1985, 2005 e 2020. Os dados fornecidos pelo MapBiomias (PROJETO MAPBIOMAS, 2021) são baseados em imagens dos satélites LANDSAT-5, LANDSAT-7 e LANDSAT-8, que possuem resolução espacial de 30 metros e sensores multiespectrais (NASA, 2021). A partir do acervo de imagens desses satélites, o MapBiomias realiza o processamento e a classificação do uso e cobertura do solo pixel a pixel, por meio de algoritmos de aprendizado de máquina executados na plataforma Google Earth Engine (GOOGLE, 2021). Informações adicionais sobre a metodologia aplicada podem ser consultadas em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>.

Para esta pesquisa, foi realizado o download dos dados referentes ao Estado de São Paulo, adotando-se as classificações padrão do MapBiomias para o uso e cobertura do solo. As análises espaciais foram conduzidas no software ArcGIS Pro, com o objetivo de produzir os recortes (shapefiles) da bacia

hidrográfica do rio Paraíba do Sul – trecho paulista, das cinco sub-bacias selecionadas na análise hidrológica e das Áreas de Preservação Permanente (APPs) hídricas, que correspondem às faixas marginais adjacentes aos corpos d'água, conforme definido no Código Florestal.

As delimitações das APPs hídricas foram elaboradas pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), a partir de imagens do satélite RapidEye, com resolução espacial de 5 metros (EMBRAPA, 2022). A FBDS utilizou como base os Artigos 4º e 5º da Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal) para definir os limites das APPs de acordo com a largura dos cursos d'água. Detalhes metodológicos adicionais podem ser encontrados em: <http://geo.fbds.org.br/Metodologia.pdf>.

Com os dados de uso e ocupação do MapBiomias dos anos de 1985, 2005 e 2020, recortados para as cinco sub-bacias selecionadas e outro recorte para as APPs das cinco sub-bacias selecionadas, foi possível a quantificação das áreas preenchidas pelas classes de uso e ocupação do solo em cada um dos recortes. Utilizando os pixels do raster do MapBiomias de 30 x 30 metros, foram feitas a somatória da quantidade de cada classe e o cálculo de porcentagem para as áreas referentes às cinco sub-bacias e das APPs, e foram gerados os gráficos de porcentagem com os resultados. Também foram realizados mapas demonstrando a distribuição espacial do uso e cobertura nas sub-bacias nos anos de 1985 e 2020.

A linha temporal dos dados de uso e cobertura do solo disponibilizados pelo Projeto MapBiomias é mais recente do que a dos dados hidrológicos. Enquanto o monitoramento hidrológico teve início em 1935 na sub-bacia 1, os dados de uso e cobertura do solo utilizados nesta pesquisa estão disponíveis a partir de 1985, com base nas imagens do satélite LANDSAT 5, disponibilizadas pelo MapBiomias.

Dessa forma, o recorte temporal adotado para a análise das tendências hidrológicas na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul compreende o período de 1985 a 2020. Para avaliar a relação entre as variáveis hidrológicas, foi aplicada uma análise de regressão linear, considerando as variáveis precipitação e cota do nível d'água em função do tempo (anos de coleta), separadamente para os períodos de verão e inverno.

Os resultados dessa análise são apresentados por meio de gráficos específicos para cada sub-bacia, discriminando as estações sazonais (verão e

inverno), incluindo as linhas de tendência e os limites de desvio padrão, de modo a evidenciar padrões ou alterações ao longo do tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

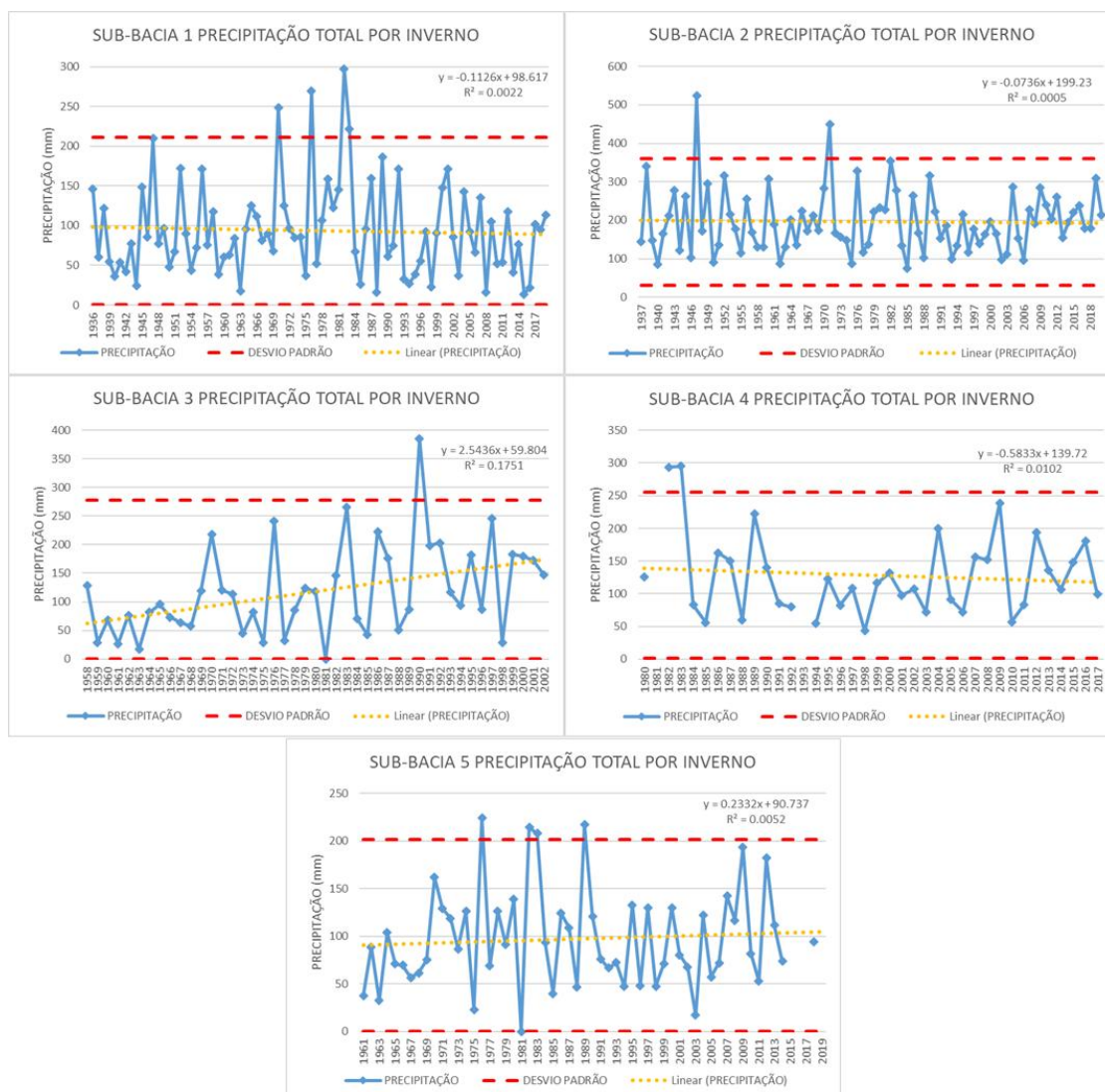
Esta seção apresenta os resultados das análises, discute e reflete sobre as implicações dos resultados para o entendimento sobre as relações entre as tendências hidroclimáticas na bacia do Paraíba do Sul e as variações de cotas com as mudanças de uso e cobertura da terra.

Alteração pluvial

Os gráficos de precipitação em função do tempo para o período de inverno são apresentados com a inclusão das linhas de regressão linear e de seus respectivos coeficientes angulares, com o objetivo de evidenciar possíveis tendências de variação da precipitação ao longo dos anos em cada sub-bacia. Os limites de desvio padrão também estão representados nos gráficos, com a finalidade de diferenciar os valores convencionais de precipitação daqueles que configuram eventos extremos.

A Figura 3 apresenta os resultados para a precipitação total durante os meses de inverno, individualmente para cada sub-bacia. Observa-se que as sub-bacias 5 e 3 apresentaram coeficientes angulares positivos, indicando uma tendência de aumento na precipitação. Na sub-bacia 5, o valor é positivo, porém próximo de zero, sugerindo uma tendência fraca. Já na sub-bacia 3, o coeficiente é mais elevado e estatisticamente significativo, indicando uma tendência de crescimento mais evidente.

Em contrapartida, as sub-bacias 1, 4 e 2 apresentaram coeficientes angulares negativos, ainda que com valores muito próximos de zero, o que sugere uma tendência de redução da precipitação, porém sem significância estatística, indicando uma possível estabilidade ou neutralidade nos valores observados ao longo do período analisado.

Figura 3 - Precipitação total no inverno

Fonte: HidroWeb. Elaboração dos autores (2022).

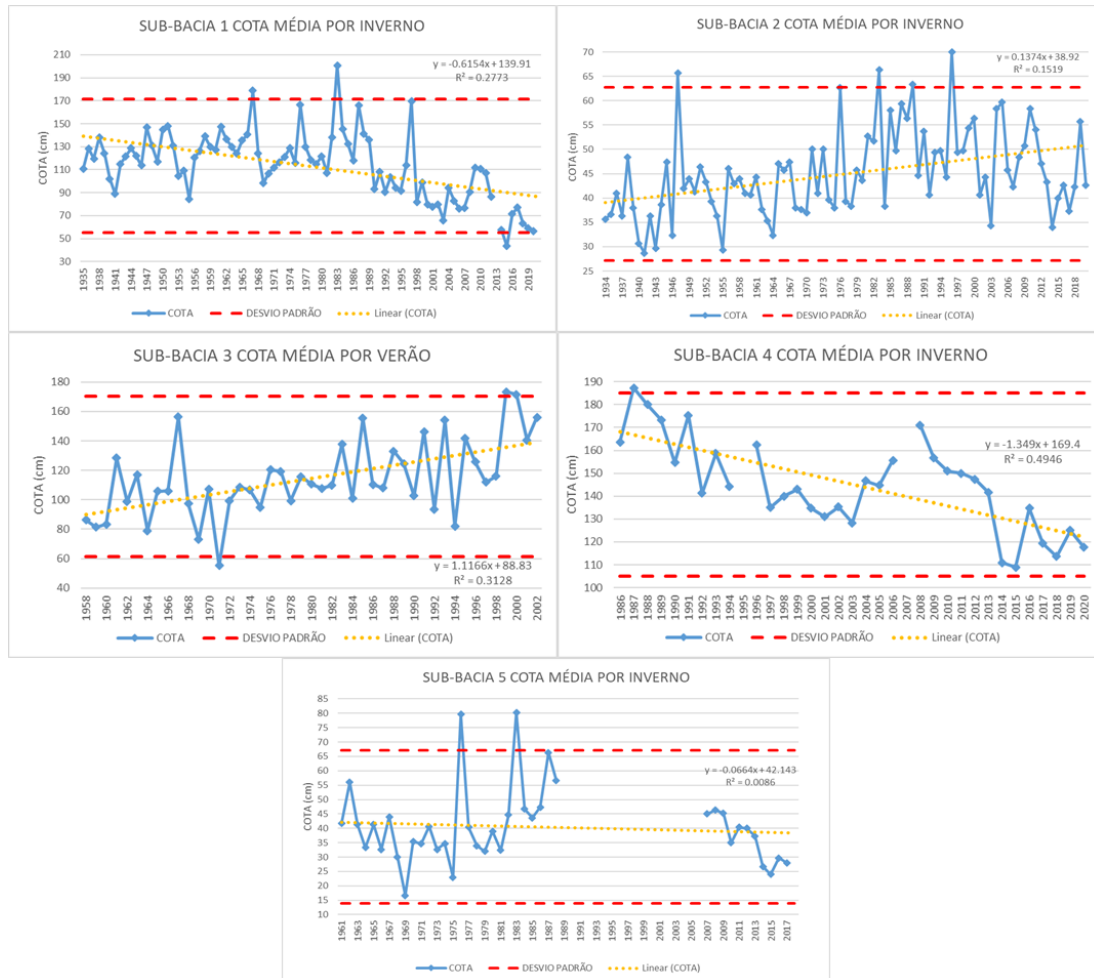
Alteração fluvial (cotas do rio)

Da mesma forma, os gráficos da cota do rio em função do tempo foram elaborados com a representação da regressão linear e de seus respectivos coeficientes angulares, com o objetivo de indicar possíveis tendências futuras das cotas fluviais em cada sub-bacia. Também foram incluídos os limites de desvio padrão, com a finalidade de diferenciar valores médios de cota daqueles considerados eventos extremos.

A Figura 4 apresenta os resultados gráficos da cota média nos meses de inverno, individualmente para cada sub-bacia. As sub-bacias 3 e 2 apresentaram coeficientes angulares positivos, indicando uma tendência de aumento das cotas

médias ao longo do tempo. Em contrapartida, as sub-bacias 5, 1 e 4 apresentaram coeficientes negativos, sugerindo uma tendência de redução das cotas fluviais.

Figura 4 - Cota do rio média mensal no inverno



Fonte: HidroWeb. Elaboração dos autores (2022).

Dentre essas, destaca-se a sub-bacia 4, que apresentou uma tendência negativa mais acentuada e estatisticamente significativa, especialmente quando comparada à tendência negativa mais discreta observada na sub-bacia 5.

Tendência hidroclimática: análise da significância estatística

A Tabela 3 apresenta um compilado das tendências hidrológicas identificadas por meio do teste estatístico de Mann-Kendall. Nesta tabela, os valores destacados em vermelho indicam tendências negativas significativas, os em verde representam tendências positivas, e os valores em cinza correspondem a resultados sem tendência estatisticamente significativa.

De forma geral, pode-se interpretar que as tendências positivas indicam um aumento na disponibilidade hídrica ao longo do tempo, enquanto as tendências negativas sugerem uma redução progressiva. Já a ausência de tendência significativa aponta para resultados inconclusivos, dificultando previsões futuras quanto ao comportamento das variáveis analisadas.

A sub-bacia 1 apresentou tendências negativas significativas nas cotas do rio Paraitinga para os períodos de inverno, verão e anual, evidenciando uma possível redução contínua dos níveis d'água. Para a precipitação, entretanto, a tendência negativa foi observada apenas no período anual, sendo que os valores para os períodos de inverno e verão não foram estatisticamente significativos (Tabela 3).

Na sub-bacia 2, os dados mostraram tendência positiva significativa nas cotas fluviais durante o verão e no acumulado anual, enquanto nenhuma tendência significativa foi observada para os dados de precipitação nem para as cotas no inverno. As sub-bacias 4 e 5 apresentaram tendências negativas apenas para os dados fluviométricos: a sub-bacia 4 no inverno e no período anual, e a sub-bacia 5 com tendência negativa nos mesmos períodos (Tabela 3).

Tabela 3 - Método Mann-Kendall para tendências hidrológicas nas sub-bacias

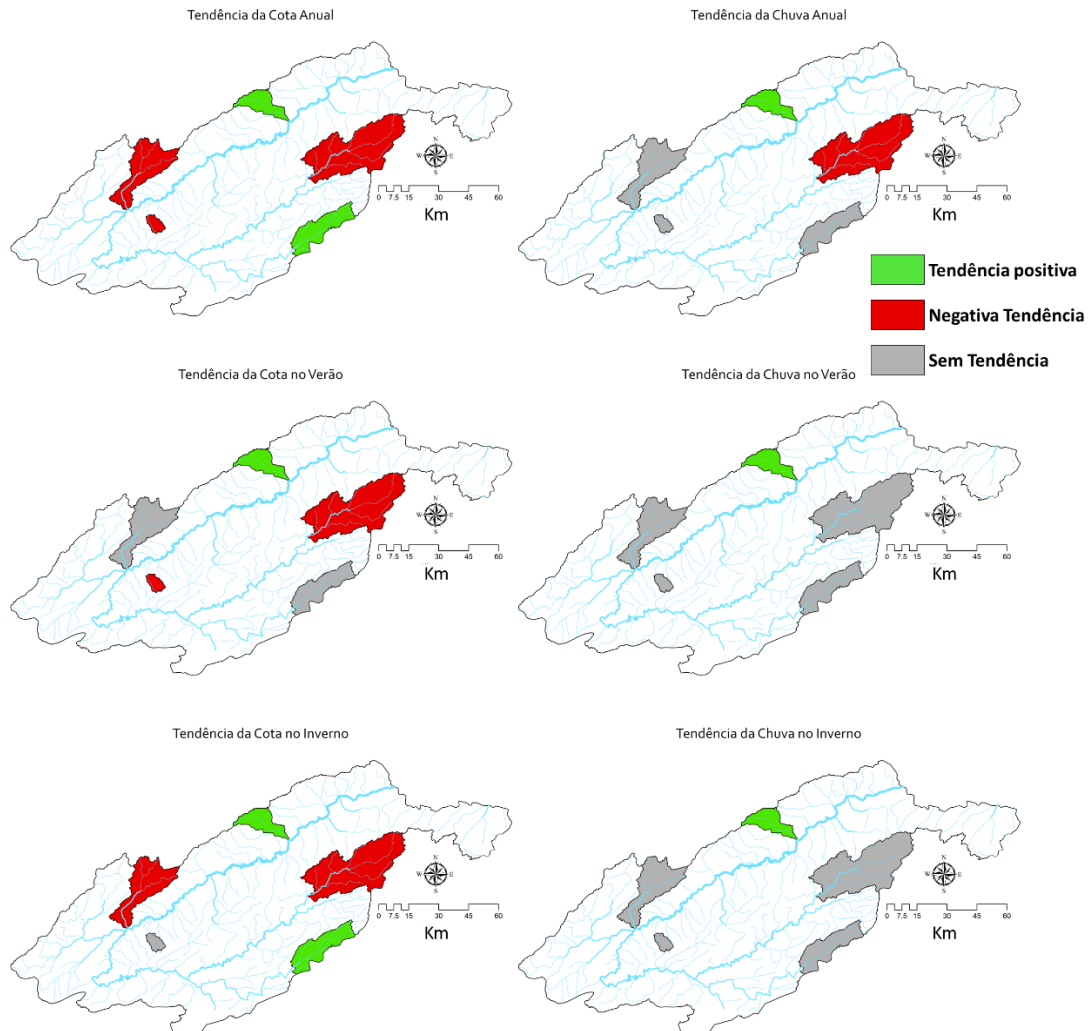
ID FLUV/PLUV	SUB-BACIA 1		ID FLUV/PLUV	SUB-BACIA 2	
58030000	MANN-KENDALL		58060000	MANN-KENDALL	
2245055	COTA	PRECIPITAÇÃO	2345067	COTA	PRECIPITAÇÃO
ANUAL	-4.7146	-1.9779	ANUAL	3.4609	-1.6495
VERÃO	-2.4635	-1.0237	VERÃO	1.9401	-1.6495
INVERNO	-5.1699	-0.2936	INVERNO	3.8431	0.67991
ID FLUV/PLUV	SUB-BACIA 3		ID FLUV/PLUV	SUB-BACIA 4	
58211000	MANN-KENDALL		58142200	MANN-KENDALL	
2245021	COTA	PRECIPITAÇÃO	2245054	COTA	PRECIPITAÇÃO
ANUAL	4.2189	4.5783	ANUAL	-3.267	-1.3424
VERÃO	4.1946	4.3327	VERÃO	-1.0369	0.45776
INVERNO	3.2584	2.7488	INVERNO	-3.998	0.068104
ID FLUV/PLUV	SUB-BACIA 5		Legenda Tendência Positiva Sem Tendência Tendência Negativa		
58147000	MANN-KENDALL				
2345164	COTA	PRECIPITAÇÃO			
ANUAL	-2.2139	-0.40923			
VERÃO	-2.7186	1.3337			
INVERNO	-0.31461	0.74047			

Fonte: HidroWeb. Elaboração dos autores (2022).

A sub-bacia 1 foi a única que apresentou tendência negativa significativa para os dados de precipitação ao longo do tempo. No que se refere às cotas

fluviais, as tendências negativas foram identificadas nas sub-bacias 1, 4 e 5, localizadas, respectivamente, na Serra do Mar, na Serra da Mantiqueira e no vale da bacia do rio Paraíba do Sul. Por outro lado, as tendências positivas para as cotas do rio foram observadas nas sub-bacias 2 e 3, ambas localizadas em regiões de serra da bacia hidrográfica (Figura 5).

Figura 5 - Espacialização das tendências de cota e chuva pelo método Mann-Kendall



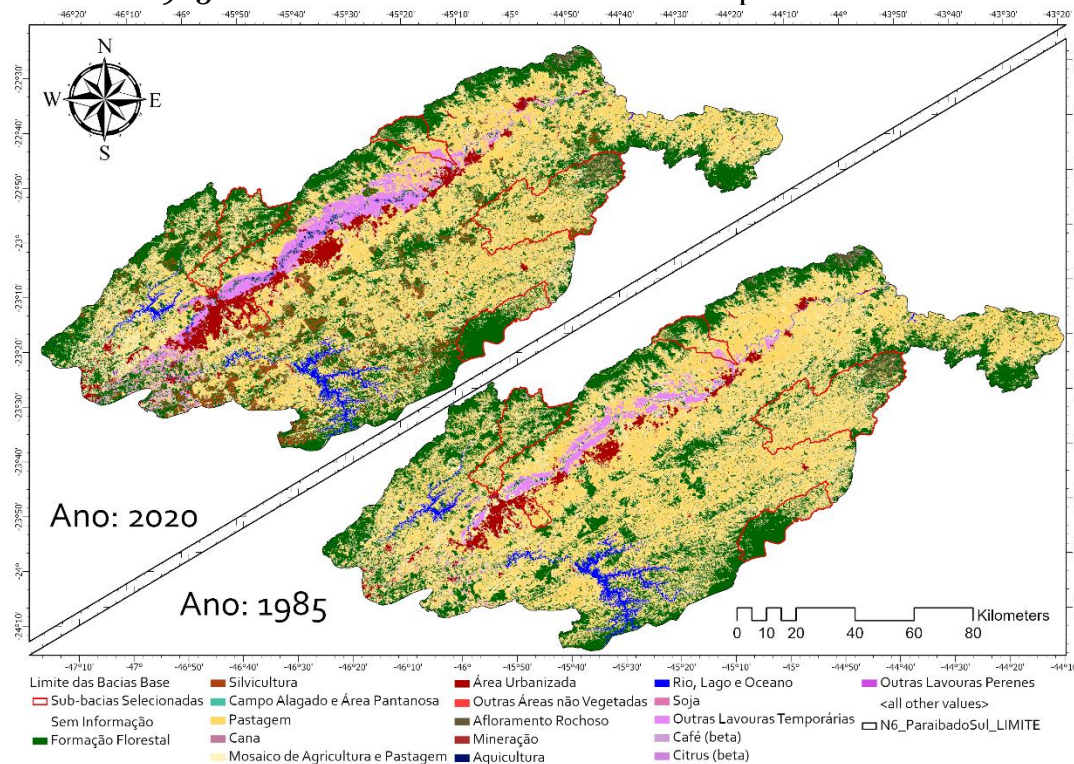
Fonte: HidroWeb. Elaboração dos autores (2022).

Mudança no uso e cobertura do solo nas sub-bacias entre 1985 e 2020

Entre os anos de 1985 e 2020, foram observadas mudanças significativas no uso e cobertura da terra na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul. Destacam-se os aumentos nas classes de uso do solo: área urbana de 1,42%, agricultura de 2,48%, formação florestal de 1,87% e silvicultura de 4,02%. Em

contrapartida, observou-se uma redução de 8,48% na classe pastagem. As áreas mais planas da bacia, especialmente ao longo do leito principal do rio Paraíba do Sul e da rodovia Presidente Dutra, apresentaram um crescimento expressivo nas classes urbano e agricultura (Figura 6).

Figura 6 - Alteração do Uso e Cobertura do Solo no Vale do Paraíba Paulista entre 1985 e 2020 com sub-bacias selecionadas para a área de estudo



Fonte: MapBiomias. Elaboração dos autores (2022).

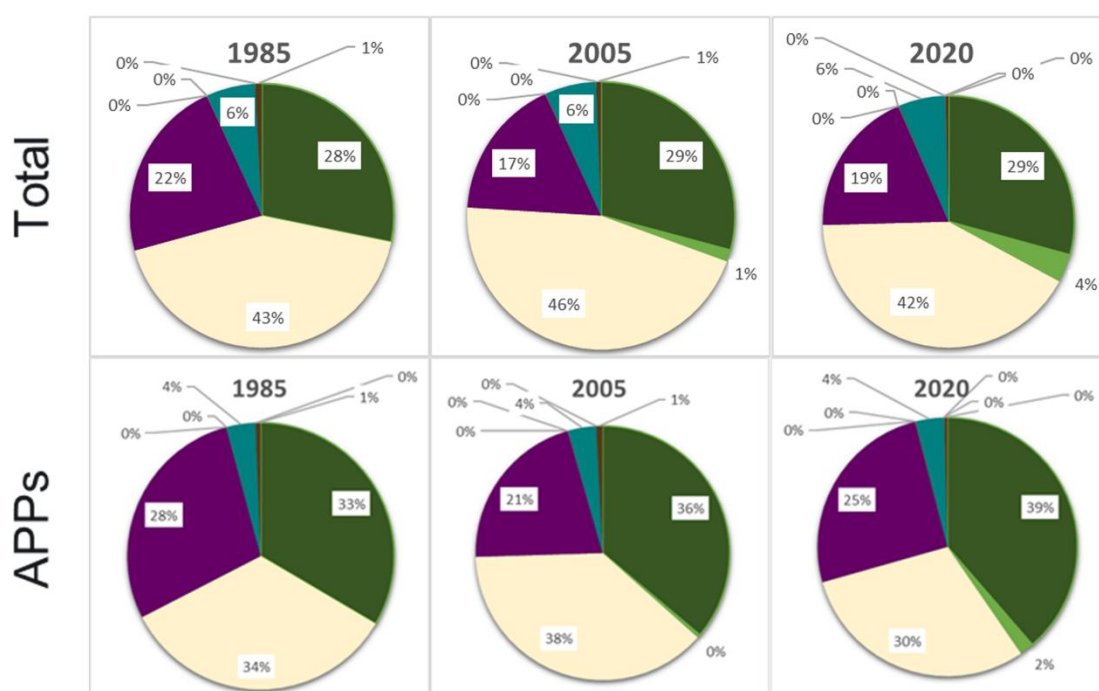
Para a elaboração dos gráficos de porcentagem, optou-se por não utilizar a paleta de cores padrão da classificação de uso e cobertura do solo do MapBiomias, uma vez que a semelhança entre algumas cores, como as atribuídas à soja e ao café, poderia dificultar a diferenciação visual entre as classes. Para facilitar a leitura e interpretação dos gráficos, foi elaborada a Tabela 5, que apresenta uma nova associação de cores para cada classe de uso e cobertura do solo, utilizada exclusivamente neste estudo, conforme ilustrado nas Figuras 9 a 14.

Tabela 5 - Legenda para as Novas Cores dos Gráficos de Porcentagem de Uso e Cobertura.

Uso e Ocupação	Nova Cor	Uso e Ocupação	Nova Cor
Não Identificado		Outras Áreas não Vegetadas	
Formação Florestal		Sem Informação	
Floresta Plantada		Afloramento Rochoso	
Formação Campestre		Mineração	
Pastagem		Aquicultura	
Agricultura		Rio, Lago e Oceano	
Lavoura Temporária		Lavoura Perene	
Cana		Soja	
Mosaico de Agricultura e Pastagem		Outras Lavouras Temporárias	
Área não Vegetada		Café	
Infraestrutura Urbana		Outras Lavouras Perenes	

Fonte: MapBiomias. Elaboração dos autores (2022).

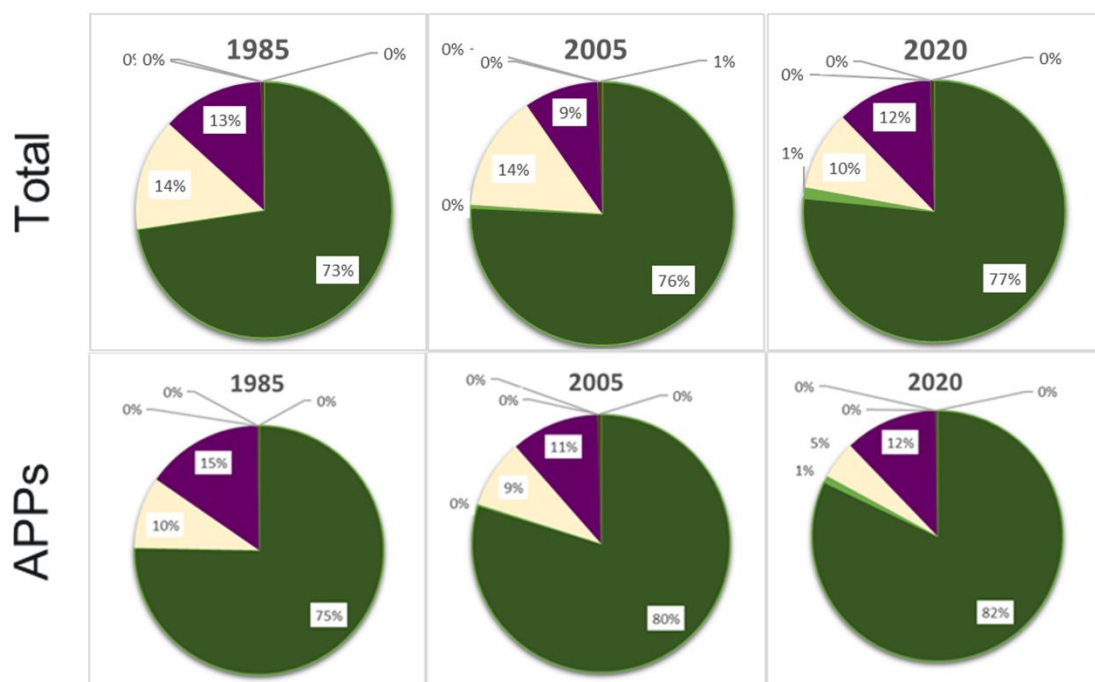
Com base nos dados do MapBiomias, a análise da sub-bacia 1 indica que não houve alterações significativas na distribuição do uso e cobertura do solo na área total da sub-bacia entre os anos de 1985, 2005 e 2020. A classe predominante continua sendo a pastagem, seguida pela formação florestal e pelo mosaico de agricultura, com variações percentuais discretas ao longo do tempo. Já nas áreas de APPs hídricas dentro da sub-bacia 1 (rio Paraitinga), observaram-se mudanças mais expressivas entre os anos de 2000 e 2020, com destaque para o aumento da formação florestal e a redução da pastagem (Figura 7).

Figura 7 - Porcentagem do uso e cobertura do solo na área total da sub-bacia 1 e em suas APPs

Fonte: MapBiomias. Elaboração dos autores (2022).

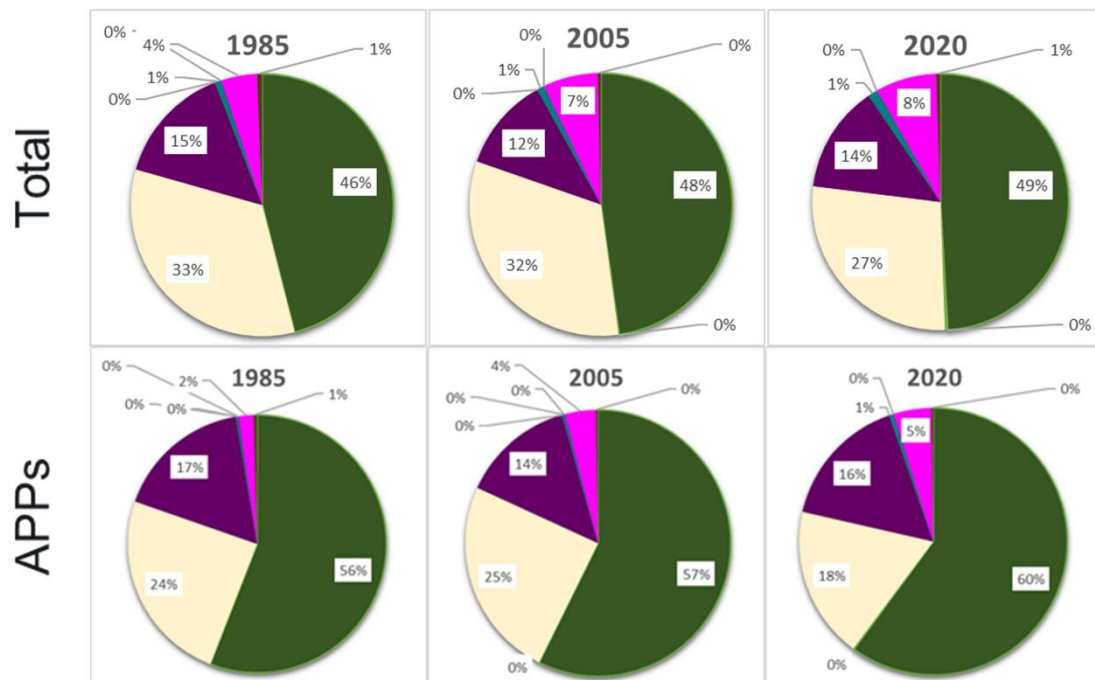
A Figura 8 apresenta os resultados para a sub-bacia 2 (rio Paraibuna), que mostrou alterações relevantes no uso e cobertura do solo entre 1985 e 2020. Observou-se um aumento de aproximadamente 4% na classe de formação florestal, acompanhado por reduções de 4% na pastagem e 1% na agricultura. Nas áreas de APPs hídricas (margens de rios e nascentes), a formação florestal teve um acréscimo ainda mais expressivo, de cerca de 7%, enquanto a pastagem sofreu uma redução de aproximadamente 5%.

Figura 8 - Porcentagem do uso e cobertura do solo na área total da sub-bacia 2 e em suas APPs



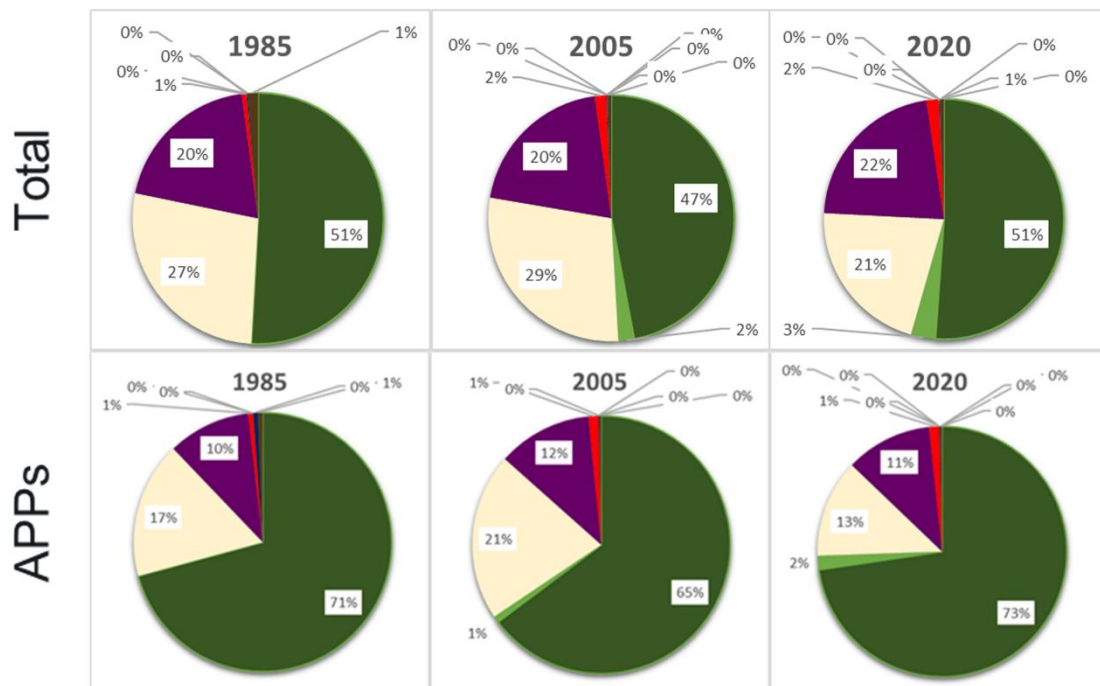
Fonte: MapBiomass. Elaboração dos autores (2022).

Na área da sub-bacia 3 (Rio Piagui), foram observadas alterações nas porcentagens de uso e cobertura do solo entre 1985 e 2020, com destaque para o aumento de aproximadamente 3% na formação florestal e a redução de cerca de 6% na classe de pastagem. Nas áreas de APPs hídricas, também ocorreram mudanças significativas: a formação florestal aumentou em torno de 4%, enquanto a pastagem apresentou uma redução de aproximadamente 6% (Figura 9).

Figura 9 - Porcentagem do uso e cobertura do solo na área total da sub-bacia 3 e em suas APPs

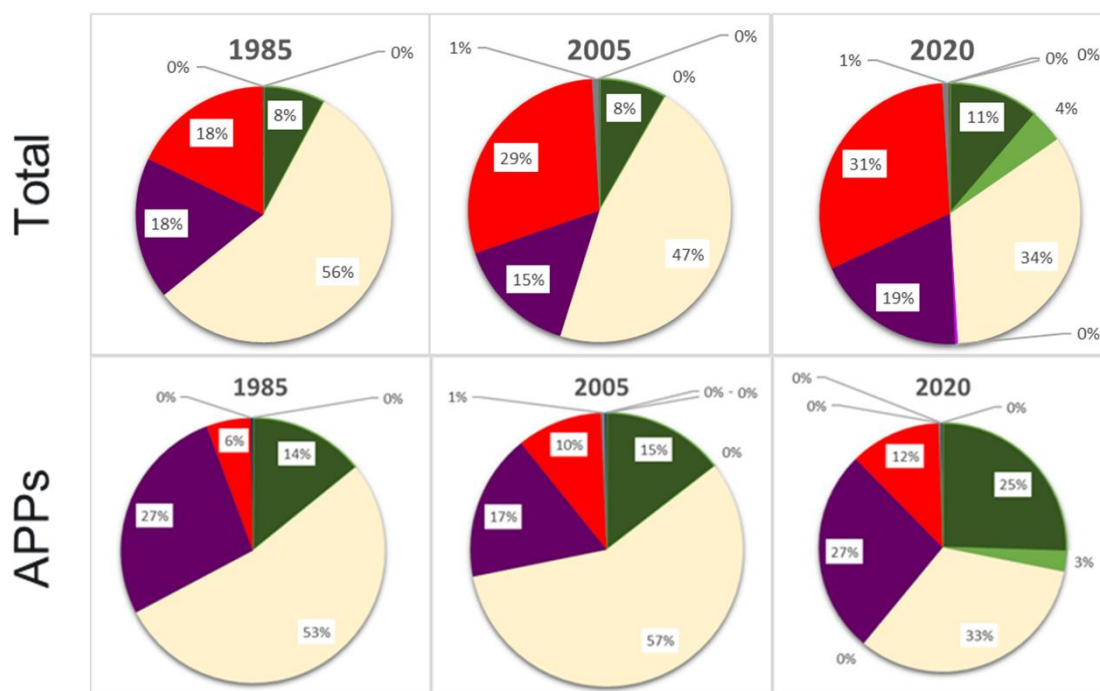
Fonte: MapBiomias. Elaboração dos autores (2022).

Para a sub-bacia 4 (rio Buquira), a Figura 10 mostra que não ocorreram grandes alterações na porcentagem de uso e cobertura do solo na área total nem nas APPs entre 1985 e 2020. Observou-se apenas uma oscilação entre as classes de formação florestal e pastagem: a formação florestal teve uma redução de cerca de 6% entre 1985 e 2005, voltando a crescer aproximadamente 8% até 2020. A floresta plantada apresentou um leve aumento em ambos os períodos (cerca de 1% em 2005 e 1% em 2020). Já a pastagem aumentou em 4% até 2005 e, posteriormente, reduziu cerca de 8% até 2020.

Figura 10 – Porcentagem do uso e cobertura do solo na área total da sub-bacia 4 e em suas APPs

Fonte: MapBiomias. Elaboração dos autores (2022).

Para a sub-bacia 5 (rio Pararangaba), os dados indicam um processo de urbanização crescente entre 1985 e 2020, com a área urbana aumentando de 18% para 31%. A classe de pastagem, que ocupava 56% do território em 1985, foi reduzida para 34% em 2020. Observou-se também um crescimento das áreas de formação florestal e de floresta plantada, com aumentos de 3% e 4%, respectivamente. Nas áreas de APPs (beira de rios e nascentes), a pastagem foi reduzida de 53% para 33% no mesmo período, enquanto a urbanização aumentou para 12% e a formação florestal passou de 14% em 1985 para 25% em 2020 (Figura 11).

Figura 11 - Porcentagem do uso e cobertura do solo na área total da sub-bacia 5 e em suas APPs

Fonte: MapBiomias. Elaboração dos autores (2022).

DISCUSSÃO

O trabalho regional de Marengo e Alves (2005) demonstrou que, na bacia do rio Paraíba do Sul, as chuvas não apresentaram mudanças significativas entre os anos de 1920 e 2000, tampouco indicaram tendência de alteração ao longo do tempo. No entanto, observaram uma redução nas cotas de vazão do rio Paraíba do Sul, com tendência negativa. O presente estudo, ao investigar mudanças intra-regionais em cinco sub-bacias que abastecem o rio, constatou que os totais pluviométricos também não sofreram alterações relevantes nos últimos anos, tampouco apresentam tendências estatisticamente significativas de mudança. Por outro lado, nem todas as sub-bacias estão reduzindo suas cotas fluviais — algumas registraram aumento e tendências positivas. As sub-bacias 2 (rio Paraibuna) e 3 (rio Piaqui) apresentaram elevação na média das cotas, acompanhada por aumento da área de formação florestal (7% e 3%, respectivamente), o que indica um processo de regeneração florestal durante o período analisado. A análise visual também sugere a consolidação e a

concentração da vegetação nativa, com recuperação de áreas anteriormente fragmentadas por pastagens.

As sub-bacias que apresentaram diminuição nas cotas fluviais foram a sub-bacia 1 (rio Paraitinga), a sub-bacia 4 (rio Buquira) e a sub-bacia 5 (rio Pararangaba). Essas sub-bacias seguiram trajetórias distintas em relação às mudanças no uso e cobertura da terra. A sub-bacia 1, com características predominantemente rurais, apresenta elevada cobertura por pastagem (42%) e horticultura (19%), enquanto a cobertura florestal é limitada (29%) e fragmentada, cercada por áreas de pasto. Essa configuração pode ter contribuído para a redução da infiltração ao longo do tempo, como já discutido por Tucci e Clarke (1997).

Por outro lado, as sub-bacias 4 (Buquira) e 5 (Pararangaba), que possuem maiores índices de urbanização (8% e 31%, respectivamente), também apresentaram redução nas cotas fluviais. Apesar de a sub-bacia 4 contar com uma cobertura florestal relativamente alta (51%), essa vegetação se encontra fragmentada, o que pode comprometer sua função hidrológica. Já a sub-bacia 5 é caracterizada pelo predomínio de áreas urbanas (31%), pastagens (34%) e agricultura (19%), enquanto a formação florestal ocupa apenas 11% da área. Essa configuração sugere baixa capacidade de infiltração e recarga dos aquíferos, o que pode explicar a tendência negativa observada nas cotas fluviais, mesmo diante da presença de cobertura vegetal em parte do território.

CONCLUSÃO

Espera-se que este estudo tenha contribuído para o avanço do conhecimento sobre as relações entre as tendências de precipitação, as variações das cotas fluviais e as mudanças no uso e ocupação do solo, na escala de sub-bacias inseridas na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, trecho paulista. Os resultados demonstraram que não há, necessariamente, uma relação direta entre a extensão da cobertura florestal e as cotas dos rios, mesmo na ausência de alterações significativas na precipitação. Supõe-se que essa relação seja fortemente influenciada pela forma de distribuição espacial da vegetação, sendo que áreas florestais contínuas tendem a exercer influência positiva sobre os níveis de cota, enquanto áreas fragmentadas não promovem o mesmo efeito. Assim, espera-se que este estudo contribua para o planejamento territorial da Região

Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN), incentivando a adoção de estratégias que priorizem formações florestais mais conectadas e menos fragmentadas. Tais medidas visam promover um desenvolvimento sustentável, garantindo a manutenção dos serviços ecossistêmicos, especialmente no que se refere à disponibilidade hídrica e à qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. F. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, 2010. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/843acd49-d627-48f4-a2e7-35ef2a89f45b/content>. Acesso em: 24/02/2026.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Catálogo de metadados da ANA**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2017. 169 p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Encarte especial sobre a crise hídrica: conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2014. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2014.
- ARGUELLO, F. V. P. **Simulação hidrológica da bacia do rio Paraitinga para análise das potenciais causas do evento extremo de cheia e desastre ocorrido na passagem de ano de 2009/2010**. 2017. 106 f. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.
- CBH-AT – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. **Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê**: sumário executivo. São Paulo, 2009.
- DEVIDE, A. C. P.; CASTRO, C. M. de.; RIBEIRO, R. de L. D.; ABBoud, A. C. de S.; PEREIRA, M. G.; RUMJANEK, N. G. História Ambiental do Vale do Paraíba do Sul, Brasil. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 20, n. 1, 2014. Disponível em: <https://periodicos.unitau.br/biociencias/article/view/1867/1352>. Acesso em: 24/02/2026
- EMBRAPA. Rapideye. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/rapideye>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- FERREIRA, M. S. A terceira “transposição” de águas da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul: um conflito federativo em meio à escassez hídrica. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 9, n. 1, p. 7–34, 30 jun. 2015.

- GOOGLE, Earth Engine. (2021). Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acessado em: 29 jun 2021.
- HIDROWEB. (2021). Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb>. Acessado em: 10 Jun 2021.
- IBGE | Painel de Indicadores. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores.html>. Acessado em: 10 Jun 2022.
- IPCC AR4 (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability** — IPCC. Cambridge, UK, e New York, NY: Cambridge University Press, 976pp. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2/>. Acessado 10 Jun 2022.
- IPCC AR6 (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, 2021, 41 pp. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6>. Acessado 17 Mai 2025.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 215–226, 2005.
- MIRANDA, B. G. **Variabilidade Climática e recursos hídricos na Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Relatório final de iniciação científica, 74p., 2019.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. Serviços ecossistêmicos. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br>. Acesso em: 9 jun. 2022.
- NASA, Landsat 5 | Landsat Science. (2021). Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-5/>. Acessado em: 29 jun 2021.
- PRESS, W.; FLANNERY, B.; TEUKOLSKY, S.; VETTERLING, W. Numerical Recipes. The arts of Scientific Computing. (Fortran version). **Cambridge University Press**. New York. 702 p., 1989.
- PROJETO MAPBIOMAS (2021) – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acessado em 29 jun 2021.
- SÃO PAULO. Meio Ambiente Paulista – Relatório de Qualidade Ambiental 2014. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente. 2014.
- SCHRÖDER, R. **Distribuição e curso das precipitações no Estado de São Paulo**. **Bragantia**, 15(18): 193 – 249. 1956. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/nJYMgQRfMYBzCfnDhZkzFQp/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 24/02/2026 <https://doi.org/10.1590/S0006-87051956000100018>.
- SILVA, N. dos S.; RIBEIRO, C. A. A. S.; BARROSO, W. R.; RIBEIRO, P. E. A.; SOARES, V. P.; SILVA, E. Sistema de otto-codificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas. **Revista Árvore**, v. 32, p. 891-897, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000500014>.

- SILVA, R. F. B.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Drivers of land change: Human-environment interactions and the Atlantic forest transition in the Paraíba Valley, Brazil. **Land Use Policy**, v. 58, p. 133-144, 2016.
- SILVA, R. C. da; MENDES, R. M.; FISCH, G. Future scenarios (2021-2050) of extreme precipitation events that trigger landslides – a case study of the Paraitinga River watershed, SP, Brazil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 15, n. 7, p. 1, 30 nov. 2020.
- SILVA, S. C. S. C. G. **Impactos das barragens sobre os parâmetros hidrológicos e a morfologia do canal do Rio Paraíba do Sul**. 2019. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2019.
- SOUZA, S. M. V. de; RICHTER, M.; COSTA, A. J. S. T. da. Unidades de conservação, serviços ambientais e o pagamento por serviços ambientais: uma análise a partir da Rebio Tinguá. **Revista Espaço e Geografia**, v. 22, n. 1, p. 189–220, 2019.
- TUCCI, C.; CLARKE, R. Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135–152, 1997. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/233443>. Acesso em: 24/02/2026.
- ZHOU, G.; WEI, X.; LUO, Y.; ZHANG, M.; LI, Y.; QIAO, Y.; LIU, H.; WANG, C. Forest recovery and river discharge at the regional scale of Guangdong Province, China. **Water Resources Research**, v. 46, n. 9, set. 2010. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2009WR008829>. Acesso em: 24/02/2026. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009WR008829>.
- WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to hydrological practices**: Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. Geneva, 1994.

Recebido em 06 de fevereiro de 2024

Aceito em 10 de novembro de 2025

Financiamento: Os autores declaram a obtenção de bolsa de iniciação científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), sob o nº de fomento 2021/00700-9.

Conflito de interesses: Os autores declaram que não há conflito de interesses na tramitação deste manuscrito no processo editorial.

Disponibilidade de dados: Os dados de pesquisa serão disponibilizados após o aceite do manuscrito, em repositório público ou institucional, disponível em:

<https://www.lespunivap.com/>.

Editores responsáveis:

Yasmin Penha Moral 

Pedro Pellegrini Coutinho Rodrigues Leal 

Murilo Henrique Rodrigues de Oliveira 

Contribuições das autorias:

Júlio César Pimenta dos Santos: Conceitualização, Curadoria de dados, Análise formal, Obtenção de financiamento, Investigação, Metodologia, Validação, Visualização, Redação – rascunho original, Escrita – revisão e edição.

Maria Angélica Toniolo: Análise formal, Visualização, Escrita – revisão e edição.

Nathan David Vogt: Conceitualização, Análise formal, Obtenção de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração de projetos, Recursos, Supervisão, Visualização, Redação – rascunho original, Escrita – revisão e edição.