

EVOLUÇÃO SOCIO-HIDROLÓGICA EM BACIAS URBANAS, ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO IGUAÇU

Matias Ernesto Flores Acosta¹; Camila de Carvalho Almeida²; Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes³

RESUMO - As bacias urbanas, contendo cidades e grandes populações, tendem a grandes mudanças na cobertura e uso do solo, onde a impermeabilização é um problema que afeta diferentes parâmetros da bacia, como o escoamento superficial ou a vazão dos rios. Os rios das cidades são fundamentais, pois deles dependem os habitantes para conseguirem água potável, diluir dejetos, entre outros. Por esse motivo, é necessária a realização de pesquisas com tema socio-hidrológico que investiguem mutuamente a dinâmica social e hidrológica. Neste estudo, buscou-se a criação de uma base de dados integrada de informações sociais e hidrológicas da área de drenagem de duas estações de monitoramento, localizadas na bacia do Rio Iguaçu, buscando investigar relações entre parâmetros sociais e hidrológicos (representados neste artigo como população, área urbanizada e vazão). Ao longo do desenvolvimento, foram enfrentadas diversas dificuldades, como: diferentes limites geográficos entre setores censitários e bacias hidrográficas, além da necessidade de estimar a população. Com o uso de múltiplas ferramentas e bases de dados (Excel, Qgis, HidroWeb, IBGE, MapBiomias), foi possível organizar uma base de dados histórica para o período em anos de 1985 até 2023. Os resultados indicam um aumento da população, área urbanizada, e parâmetros de vazão analisados ($Q_{10\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{90\%}$ e média).

Palavras-chave: Uso do solo; vazão; população

ABSTRACT - Urban basins, containing cities and large populations, tend to undergo significant changes in land use and land cover, where soil imperviousness is a critical issue affecting different basin parameters, such as surface runoff or river flow rate. Urban rivers are fundamental, as inhabitants depend on them for drinkable water supply, waste disposal, and other services. Therefore, an investigation on socio-hydrological themes about the mutual dynamics between social and hydrological systems is necessary. This study aims for the creation of a database integrated with social and hydrological information for the drainage areas of two monitoring stations, located in the Iguaçu River basin, aiming to investigate relations between social and hydrological parameters (represented in this article as population, urban area, and flow rate). Throughout the development process, several challenges arose, such as the spatial mismatch between census tract boundaries and watershed limits, as well as the need to calculate population estimates. By utilizing multiple tools and databases (Excel, QGIS, Hidroweb, IBGE, MapBiomias), it was possible to organize a historical database covering the period from 1985 to 2023. The results indicate an increase in population, urban area, and the analyzed flow parameters ($Q_{10\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{90\%}$ and average).

Keywords: Land use and land cover; river flow rate; population

¹Universidade Federal do Paraná (UFPR), Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba - PR. matias.ernesto.flores.acosta@gmail.com

²Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA-UFPR). Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba - PR. cami.almeidac@gmail.com

³Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA-UFPR). Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba - PR. cris.dhs@ufpr.br

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), implementada pela lei N°9.433 de 1997, tem os objetivos de garantir a quantidade de água para a atual e futuras gerações, tendo em conta a qualidade por uso preponderante; promover o uso racional e íntegro dos recursos hídricos; visando o desenvolvimento sustentável e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos. Também na lei são especificados cinco instrumentos com os quais se planeja alcançar os objetivos da PNRH.

Segundo Bitencourt (2018), ainda existem diversos desafios para a implementação destes instrumentos. Isto acontece por vários motivos, sendo um deles a dificuldade no entendimento de processos físicos e como estes interferem na gestão de recursos hídricos devido ao fator humano, exemplificado por Gallego (2014), quando diz que um mesmo modelo não pode ser utilizado em todas as bacias, pois cada uma destas contém características próprias. Nesse contexto, surge a possibilidade de aplicar os conceitos da socio-hidrologia, com o objetivo de entender e prever as dinâmicas das pessoas em relação à água.

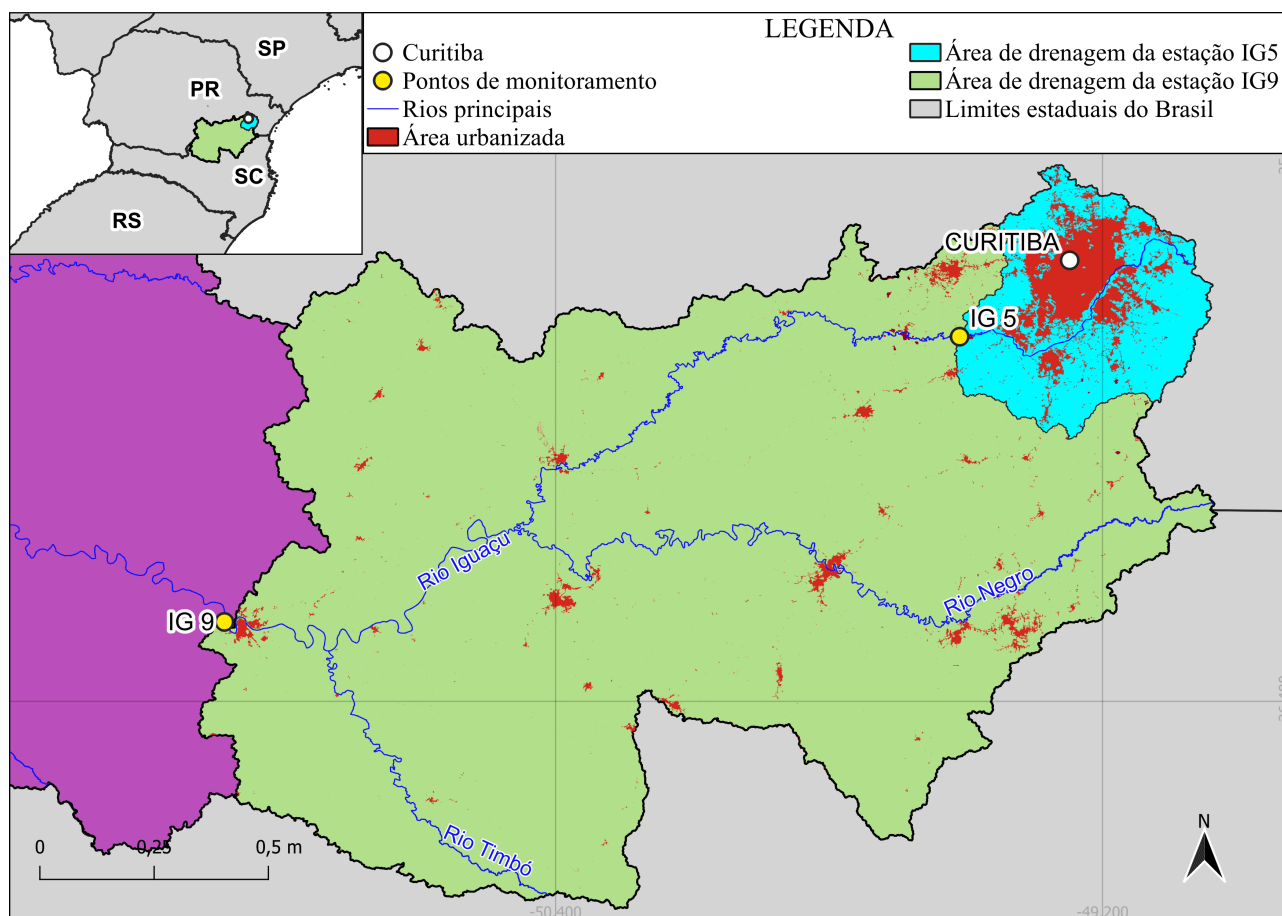
A socio-hidrologia, é definida por Sivapalan *et al.* (2012) como o estudo da coevolução e auto-organização das pessoas em relação à água, considerando as ações humanas como parte da dinâmica do ciclo da água. Segundo Almeida (2024), a dinâmica das pessoas gera impacto hidrológico ao longo do tempo, sendo esta dinâmica uma parte fundamental ativamente envolvida no processo de tomada de decisão participativa. É nesse contexto que se iniciou esta pesquisa, com o objetivo de aprofundar o entendimento sobre a socio-hidrologia, por meio da construção de uma base de dados integrada, que permita investigar relações entre variáveis chave dos sistemas social e hidrológico.

MÉTODOS E ÁREA DE ESTUDO

Como área de estudo, se considerou a área de drenagem da bacia do Rio Iguaçu desde a nascente até a estação de monitoramento IG9. Esta região tem cerca de 24.500 km², contendo uma população de aproximadamente quatro milhões de pessoas no Censo de 2022, IBGE (2026). Essa região foi dividida novamente considerando a estação IG5 como exutório, resultando então em duas áreas de estudo. Na área de drenagem do IG5, há aproximadamente 2.330 km² e cerca de três milhões de habitantes, segundo o IBGE (2026). É nesta área onde está localizada a cidade de Curitiba, capital do estado do Paraná e sua região metropolitana. Também está localizada nesta área, segundo o IAT (2020), a nascente do Rio Iguaçu, o qual é o maior rio do estado, atravessando-o desde a região leste até o oeste, onde deságua no rio Paraná, na cidade de Foz do Iguaçu.

Esta divisão foi realizada para poder incluir os dados das duas estações e poder investigar as variações observadas em cada bacia, sendo a área do IG5 uma bacia mais urbanizada, com grandes cidades e a região do IG5 até o IG9 uma área mais rural, com cidades menores e ocupada majoritariamente por agropecuária e áreas naturais como mostrado na figura 1. Nesta figura, é representada a localização geográfica das estações de monitoramento e das duas áreas de drenagem mencionadas. A área de drenagem inteira, da nascente até o IG9, é compartilhada entre os estados do Paraná e Santa Catarina, tendo cada um deles 58% e 42% da área, respectivamente.

Figura 1: Área de estudo



Fonte: Os autores (2026).

Dados de vazão

Os dados de vazão utilizados nesta pesquisa foram retirados da Agência Nacional de Águas (ANA) através do HidroWeb. As estações IG5 e IG9 foram escolhidas considerando a quantidade de dados e por já terem sido utilizadas em estudos anteriores (Porto *et al.* (2007); Paiva *et al.* (2012); França (2009); Coelho (2013); Knapik (2014); Bitencourt (2018); Ferreira (2019); Peixoto (2024); Almeida (2024); Acosta *et al.* (2025)). Esses estudos contribuíram para a compreensão da dinâmica de água na bacia no contexto dos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

As estações escolhidas, IG5 e IG9, têm 17.382 e 34.150 dados de vazão diária, respectivamente. Os dados das duas estações foram analisados mediante planilhas Excel, onde foram calculados os valores de Quartil 90 ($Q_{90\%}$ representando as vazões mínimas), Quartil 50 ($Q_{50\%}$ representando a mediana das vazões), Quartil 10 ($Q_{10\%}$ representando as vazões máximas) e a média para cada ano do período, seguindo uma pesquisa anterior realizada com os mesmos indicadores, conforme descrito em Acosta *et al.* (2025). O período escolhido foi os anos desde 1985 até 2023, pela disponibilidade de dados nas estações e pela compatibilidade com o Projeto MapBiomias.

Dados de cobertura e uso da terra

O projeto MAPBIOMAS (2026) tem como um de seus propósitos tornar acessível o conhecimento sobre a cobertura e o uso da terra, isto para buscar a conservação e o manejo sustentável dos recursos naturais, como forma de combate às mudanças climáticas. Por esse motivo, é anualmente publicado pelo projeto arquivos em formato “raster” com imagens da cobertura e uso da terra de diversas regiões, sendo uma destas o Brasil. É também disponibilizado pelo projeto a opção de filtrar a imagem através de bacias hidrográficas entre outros, facilitando o processamento.

O formato “raster” é uma imagem em gradiente de cores, na qual cada cor tem o seu próprio valor. Para poder realizar o processamento e análise destes arquivos, foi utilizado o software Quantum Geographic Information System (Qgis), o qual facilita a conversão do formato “raster” para o formato “shapefile” e inclui múltiplas ferramentas para edição, formatação, realização de cálculos, entre outras funções, de arquivos nos formatos “raster” e “shapefile”.

Arquivos em formato “shapefile” contendo limites estaduais de cidades brasileiras e de setores censitários foram baixados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Também em formato “shapefile” foi baixado do SNIRH (2026) o arquivo da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO 2017 5k), contendo os cursos d’água, áreas de drenagens, trechos de drenagem, entre outros. A ottocodificação, segundo Rubert & Figueiredo (2001), é um método de subdivisão e codificação de bacias hidrográficas, o que facilita a organização e representação das bacias em tomada de decisão Jesus & Fernandes (2023).

Com as bacias ottocodificadas, foi possível delimitar as áreas de drenagem das estações IG5 e IG9, no software Qgis, por meio do qual também se realizou a interseção das áreas de drenagem com o uso do solo a partir dos dados do MapBiomias. As classes de uso de solo foram agrupadas em quatro categorias: áreas naturais; agropecuária; área urbanizada e corpos d’água. Foi então calculada a área de cada uma das classes para cada um dos anos desde 1985 até 2023.

Dados de população

O censo é a principal fonte de referência para o conhecimento das condições de vida da população nos municípios do país, ele acontece a cada 10 anos. Para facilitar a logística do censo, cada município é dividido em diferentes setores censitários, o arquivo em formato “shapefile” com os setores censitários georreferenciados é disponibilizado pelo próprio IBGE. Com os dados dos censos, é possível realizar estimativas de população para os anos em que não aconteceram censos. Para isto, se utilizaram os dados das populações dos censos de 1980, 1991, 2000, 2010 e 2022 e estimou-se as taxas de crescimento anual para cada período entre censos.

Os 33 anos estimados foram agrupados conforme se encontravam entre censos, sendo então 1985-1990; 1992-1999; 2001-2009; 2011-2021 e 2023. Para cada um dos grupos, foi realizada a estimativa considerando a Equação (2), onde P_n é a população do censo após o grupo e P_0 é a população do censo antes do grupo, t_n e t_0 são os anos do censo onde cada população ocorreu. Assim, obteve-se

o r para cada grupo. Este r foi aplicado na Equação (1), onde se considerou P_0 como a população do censo antes do grupo e P_n como a população a ser estimada, sendo t_n o ano para o qual se quer estimar o censo e t_0 o ano em que ocorreu censo antes da data que se quer estimar.

$$P_n = P_0 + r(t_n - t_0) \quad (1)$$

$$r = (P_n - P_0) / (t_n - t_0) \quad (2)$$

A cada novo censo, é possível que no período de 10 anos que ocorreu surjam novas cidades ou municípios ou ocorra um aumento de população em uma área em específico, que ocasione a necessidade de criar novos setores censitários para facilitar a logística do censo. Por isso, para facilitar a realização das estimativas, estas foram realizadas apenas para os municípios. Sendo então necessário calcular a porcentagem que a população de cada setor representa na população do município nos anos em que ocorreram os censos, para poder estimar a população de cada setor censitário em todos os anos em que não ocorreram censos, sendo então um exemplo no grupo de 2011-2021 e 2023, se aplicaram as porcentagens calculadas do censo de 2022.

Como os “shapefiles” de setores censitários e de bacias hidrográficas não compartilham dos mesmos limites geográficos, foi estimada no Qgis a porcentagem de área dos setores que pertencem a cada área de drenagem. Logo após foi multiplicada esta porcentagem pela população do setor, dividindo assim a população por setor em sua respectiva área de drenagem. Isto se realizou para cada ano do período 1985-2023. Após, os resultados foram extraídos do Qgis em um arquivo “csv” para poder realizar as somas e outros cálculos no Excel.

Gráficos e Mapas

Para representar os dados de área de uso do solo, foram realizados no Qgis mapas dos anos em que ocorreram censos e do ano de início e fim do período escolhido, mostrando as mudanças nas diferentes classes de uso do solo. Para os dados de população e para os parâmetros de vazão, foram realizado gráficos, nos quais se incluíram as mudanças nos grupos de uso do solo, podendo assim realizar uma comparação e demonstrar os seus comportamentos coletivamente.

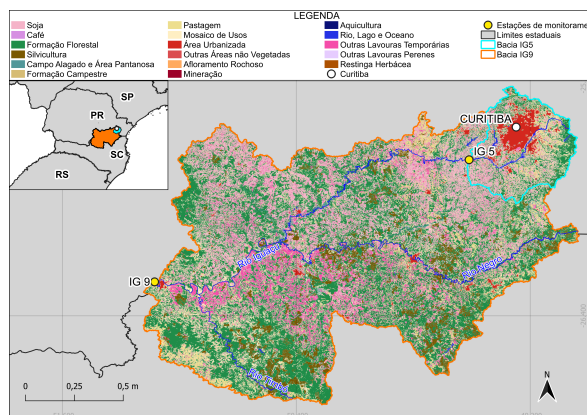
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cobertura e uso da terra

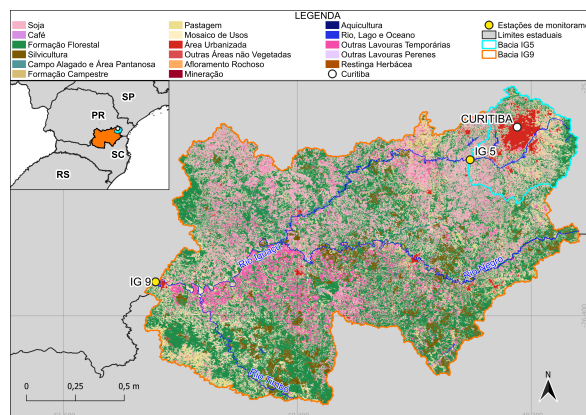
Como resultados, na figura 2, têm-se os mapas de uso do solo dos anos 1985, 1991, 2000, 2010, 2022 e 2023, que marcam os anos em que ocorreram censos ou que marcam o início e o fim do período escolhido. Nos mapas, é possível ver a progressão da área urbanizada na cidade de Curitiba e região metropolitana. É possível também notar um comportamento singular no ano 2000, com um aumento repentino de “outras lavouras temporárias” no mapa. Isto significa áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, ciclo vegetativo inferior a um ano. Ao comparar os mapas de 1985 e 2023, é possível notar uma redução nas áreas naturais (cor verde) e aumento das cores rosa e marrom (agropecuária). Esses mapas demonstram a evolução do uso do solo e mostram

a tendência das cidades de aumentar a própria área urbanizada, e a tendência das áreas naturais não protegidas de se tornarem área agropecuária.

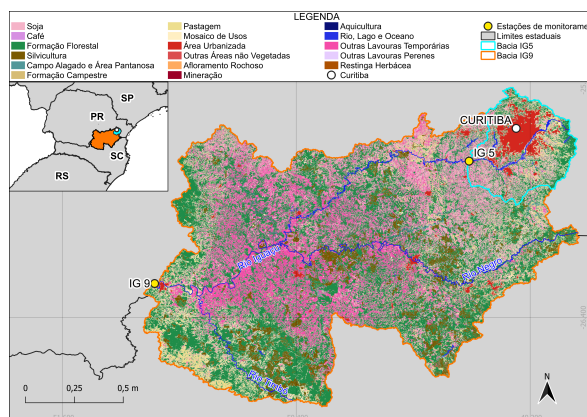
Figura 2: Uso do solo por ano para a área de drenagem da estação IG9



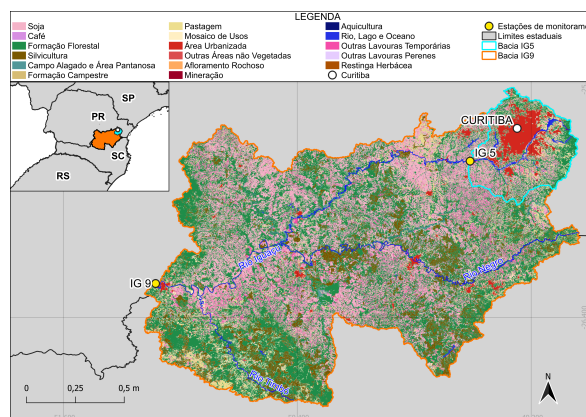
(a) 1985



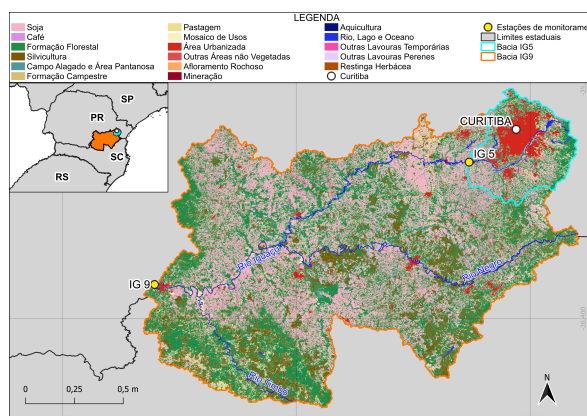
(b) 1991



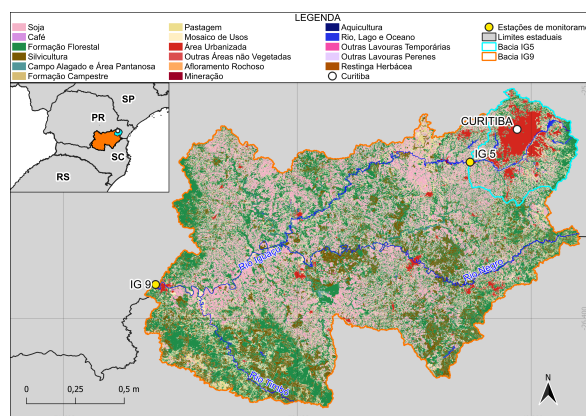
(c) 2000



(d) 2010



(e) 2022



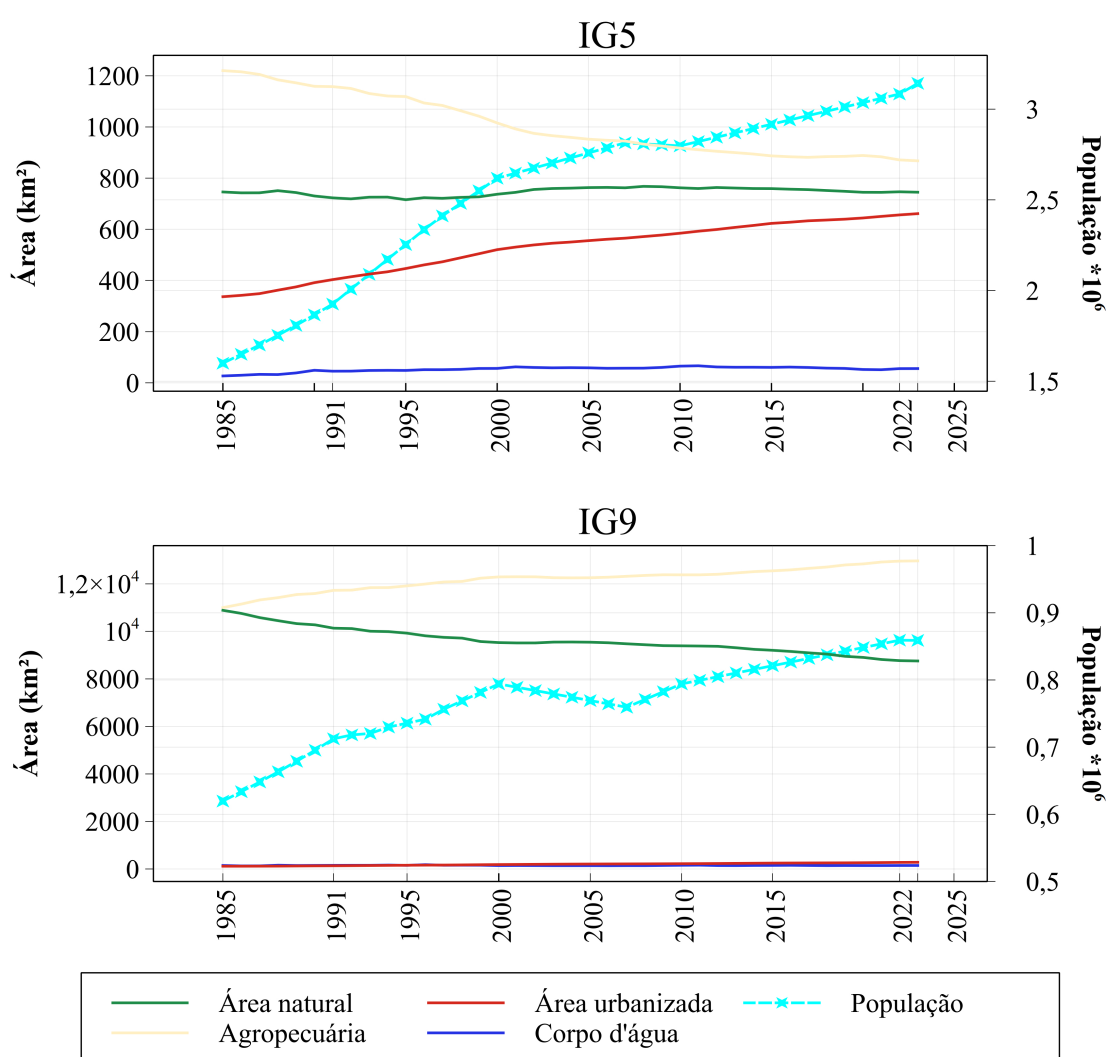
(f) 2023

Fonte: Os autores (2026).

População e Áreas de uso do solo

Para analisar de forma integrada os dados, foram realizados os gráficos de população e áreas do uso do solo por ano, mostrando o comportamento das duas variáveis em conjunto. Na figura 3, é possível notar o aumento da população na área das duas estações, este aumento foi de 96% para o IG5 e de 39% para o IG9, passando de aproximadamente 1.600.000 para 3.140.000 hab. no IG5 e de 620.000 para 860.000 hab. no IG9, podendo-se perceber que o aumento da população está concentrado na cidade e região metropolitana de Curitiba.

Figura 3: Gráfico de população e áreas de uso do solo por ano para o período de 1985 até 2023.

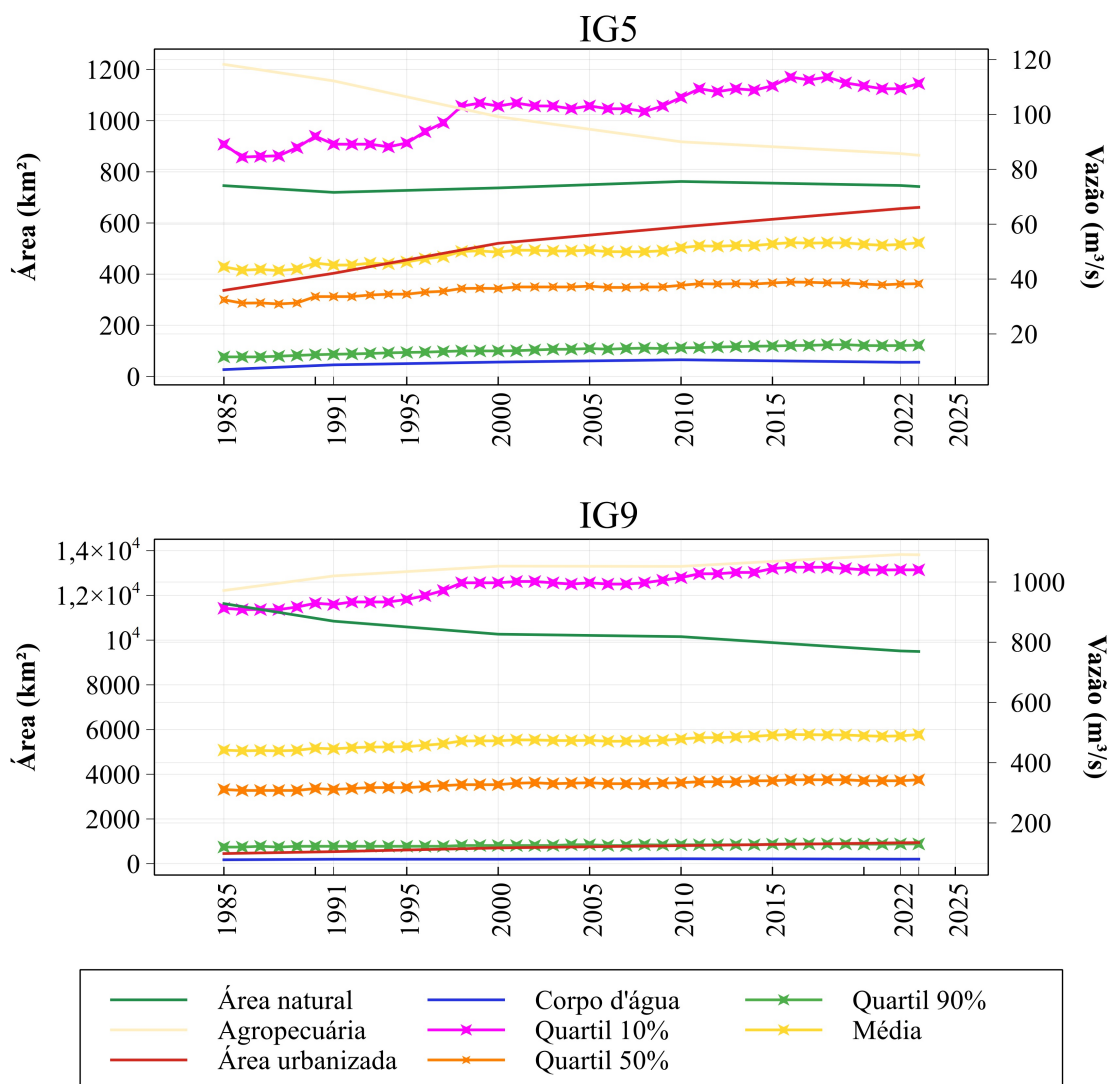


Fonte: Os autores (2026).

É também notável a diferença em relação às áreas de uso do solo na área de drenagem de cada estação. Enquanto na área de drenagem do IG5, a área de agropecuária reduziu em 15% da área total, a área urbanizada aumentou em 14%; já na região do IG9, a agropecuária aumentou em 8%, a área

urbanizada em 1% e a área natural se reduziu em 9%. Indicando que na região do IG5, para poder aumentar a área urbanizada, só restava diminuir a área de agropecuária, enquanto no IG9 existia ainda área natural não preservada que podia se tornar área para agropecuária.

Figura 4: Gráfico de vazão e áreas de uso do solo por ano para o período de 1985 até 2023.



Fonte: Os autores (2026).

Vazão e Áreas de uso do solo

Na figura 4, se mostra o gráfico realizado com os dados de áreas do uso do solo e os dados de vazão ($Q_{10\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{90\%}$ e média) para o período de anos escolhido. É possível notar o aumento em todos os dados de vazão nas duas áreas de drenagem, em conjunto com o aumento da área urbanizada e dos corpos d'água. Apesar de todos aumentarem, nem todos aumentaram significativamente. Comportamento similar havia sido observado por Acosta *et al.* (2025), pesquisa em que foi realizado um teste estatístico para os mesmos parâmetros na mesma bacia, onde se descobriu um aumento significativo no $Q_{10\%}$ e na média do IG5 e um aumento significativo em todos os parâmetros para a estação

IG9, ao comparar os valores dos anos 1985 e 2023.

A base de dados integrada, construída como uma série histórica, permite interpretar os dados de áreas de uso do solo, população e vazão ao longo do tempo, possibilitando a percepção de relações entre as diferentes variáveis sociais e hidrológicas. Como exemplo, na área de drenagem do IG5, observam-se as mudanças nos regimes de vazão, possivelmente, impulsionadas pelo aumento de população e impermeabilização do solo.

CONCLUSÃO

A realização da base de dados integrada, com informações de população, vazão e áreas de uso do solo é um grande avanço nos estudos da bacia do Rio Iguaçu, facilitando no futuro a utilização destes dados para investigar relações entre os dados da base, buscando aprofundar o entendimento da socio-hidrologia. Já foi possível identificar algumas relações nas variáveis selecionadas para a base de dados, por exemplo, vemos nos resultados como houve um aumento de população e da área urbanizada no IG5 e como esta pode estar relacionada com as variáveis de vazão da mesma bacia.

Para continuar esta investigação socio-hidrológica, um trabalho futuro buscará complementar a base de dados, colocando informações sobre o PIB anual e a precipitação das áreas de drenagem para o mesmo período, assim será possível realizar os cálculos de quanto do aumento na vazão pode ser relacionado ao aumento da área urbanizada e não simplesmente um aumento na precipitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica do 1º autor.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, M. E. F.; ALMEIDA, C. C.; PORRAS, E. A. A.; FERNANDES, C. V. S. (2025). Influência da urbanização na vazão de rios sob a perspectiva da socio-hidrologia: estudo de caso da bacia do Alto Iguaçu. in Anais do XXVI Simpósio brasileiro de recursos hídricos, Espiritu Santo, Nov. 2025.
- ALMEIDA, C. C. (2024). Water quality management, governance, and socio-hydrology: strategies for an urban basin. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- BITENCOURT, C. C. A. (2018). Integração de análise estatística multivariada e geoprocessamento: aplicação para estudos de enquadramento de corpos d'água. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- COELHO, M. (2013). Uncertainty analysis in the statistical and stochastic context of water quality time series. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- FERREIRA, D. M. (2019). Integrated analysis for modeling of flow and transport of contaminants in rivers. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- FRANÇA, M. S. (2009). Análise multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da Bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- GALLEGO, C. E. C. (2014). Nova visão sobre o uso integrado de instrumentos para o aumento

da efetividade da gestão de recursos hídricos. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

IAT (2020). – Instituto Água e Terra. Bacia do Rio Iguaçu. Disponível em https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/iguacu.pdf. Último acesso em abr. 2026.

IBGE (2026). – Instituto brasileiro de geografia e estatística. População. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>. Último acesso em abr. 2026.

JESUS, J. A. O.; FERNANDES, C. V. S. (2023). Subsídios para delimitação de bacias hidrográficas. Revista de Gestão de Água da América Latina, v20 e16.

KNAPIK, H. G. (2014). Organic matter characterization and modeling in polluted rivers for water quality planning and management. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

MAPBIOMAS (2026). Projeto MapBiomias. Coleção 10,1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2026. Disponível em <https://brasil.mapbiomas.org/produtos/>. Último acesso em abr. 2026.

PAIVA, J.B.D.; FERNANDES, C.V.S.; PORTO, M. F.A.; KNAPIK, H.G.; RIBEIRO, D.A.; BASSANESSI, K.; GONÇAVES, V.D.; MUHLENHOFF, A.P.; ALMEIDA, C.C. (2012) - Projeto Integra. Disponibilidade hídrica para aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos. Quantidade e qualidade de água. Projeto concluído.

PEIXOTO, L. O. M. (2024). Modelling the water quality parameters of the Alto Iguassu river using artificial intelligence tools. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

PORTO, M. F. A.; FERNANDES, C. V. S.; KNAPIK, H. G.; FRANÇA, M. S.; BRITES, A. P. Z.; MARIN; M. C. F. C.; MACHADO, F. W.; CHELLA, M. R.; SÁ, J. F.; MASINI, L. (2007). Projeto Bacias Críticas. Bases técnicas para a definição de metas progressivas para seu enquadramento e a integração com os demais instrumentos de gestão. Projeto concluído.

RUBERT, O. A. V.; FIGUEIREDO, L. C. C. (2001). Divisão geográfica nacional - Aplicação da metodologia de Otto Pfafstetter. Disponível em <https://files.abrhydro.org.br/Eventos/Trabalhos/155/129.pdf>. Último acesso em 16 mai. 2025.

SIVAPALAN, M.; SAVENIJE. H. H. G.; BLÖSCHL, G. (2012). Socio-hydrology: A new science of people and water. Hydrological processes 26, pp. 1270-1276.

SNIRH (2026). – Sistema nacional de informação de recursos hídricos. Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 5k (BHO 2017 5k). Disponível em <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/f7b1fc91-f5bc-4d0d-9f4f-f4e5061e5d8f>. Último acesso em abr. 2026.