

Área de concentração: 7 – Relação Solo/Água/Floresta

## **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA ALTERAÇÃO DO USO DA TERRA, COM ÊNFASE NA COBERTURA FLORESTAL, SOBRE A DISPONIBILIDADE HÍDRICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

*Bruno Campbell de Azevedo<sup>1</sup>; Jader Lugon Junior<sup>2</sup>; Leonardo Bernardo Campaneli da Silva<sup>3</sup> & Vicente de Paulo Santos de Oliveira<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, MSc, Doutorando no Programa de Pós-Graduação Modelagem e tecnologia para meio ambiente aplicadas em recursos hídricos no Instituto Federal Fluminense (campbell.azevedo@gmail.com);  
<sup>2</sup>Engenheiro Mecânico, Dr., Docente do Instituto Federal Fluminense (jlugonjr@gmail.com); <sup>3</sup>Biólogo Dr., Docente do Instituto Federal Fluminense (leonardobcampaneli@gmail.com), <sup>4</sup>Engenheiro Agrimensor, Dr., Docente do Instituto Federal Fluminense (vicentepsoliveira@gmail.com)

APRESENTADO NO VI CONGRESSO BRASILEIRO DE REFLORESTAMENTO AMBIENTAL – 03 A 05 DE AGOSTO DE 2022, SALVADOR/BA.

**Resumo** O regime hidrológico de uma bacia hidrográfica é definido por múltiplos fatores, dentre os quais, citamos as alterações temporais de uso e ocupação da terra. Esta revisão sistemática objetivou verificar o efeito da variação do uso e cobertura da terra, notadamente o impacto da restauração florestal, sobre a disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas. Foram realizadas buscas nas bases SCOPUS e Web of Science utilizando termos de busca pré-definidos e posteriormente aplicou-se a metodologia do PRISMA adaptado para a organização das publicações e realização da revisão. Os resultados desta revisão sistemática apontam que o aumento da cobertura florestal sobre uma bacia hidrográfica tende a diminuir o escoamento superficial, aumentar a infiltração e a evapotranspiração. Com isso as vazões de pico, em maior magnitude, e as vazões médias e de base, em menor magnitude, tendem a diminuir. Existem alguns resultados contrastantes a essa tendência que foram observados em regiões tropicais, onde notadamente se identifica escassez em estudos desta natureza. Por fim, estes estudos orientam políticas públicas e oferecem ferramentas para a gestão de bacias hidrográficas.

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica, uso da terra, restauração florestal.

### **Introdução**

O regime hidrológico de uma bacia hidrográfica é definido por múltiplos fatores. A disponibilidade hídrica, representada pela vazão medida em dado ponto de controle reflete o balanço hídrico imposto pelas entradas e saídas de água do sistema. O uso e a ocupação da terra interferem no regime hidrológico na medida em que a cobertura vegetal existente sobre a superfície influi sobre os parâmetros de infiltração, interceptação, evapotranspiração e escoamento superficial das precipitações que ocorrem sobre as bacias hidrográficas.

O homem ao utilizar a superfície terrestre para desenvolver suas atividades econômicas tem um grande potencial de alterar o uso e ocupação da terra. O aumento populacional, a expansão das áreas agricultáveis e o processo de urbanização tendem a promover uma redução na cobertura vegetal nativa em consequência do aumento de áreas de pastagens, agricultura e áreas urbanizadas (Silveira e Oliveira, 2016).

As florestas nativas fornecem inúmeros serviços ecossistêmicos, como proteção e manutenção da biodiversidade, habitat natural da fauna, sequestro de carbono da atmosfera e também promovem benefícios quanto a disponibilidade dos recursos hídricos. Muitos programas de restauração florestal, têm apontado como um dos seus benefícios o aumento da disponibilidade hídrica nos mananciais, apesar de trabalhos científicos desta natureza não evidenciarem tal fato (Filoso, 2017).

Estudos apontam que o aumento da cobertura florestal implicam na elevação das taxas de evapotranspiração, infiltração e interceptação (Yang *et al.*, 2013; Wei *et al.*, 2014; Owuor *et al.*, 2016; Zema *et al.*, 2018). Em contrapartida, as taxas de escoamento superficial tendem a diminuir sob estas condições.

A disponibilidade hídrica pode ainda variar dependendo da escala espacial e temporal adotada nas análises. Tipo de cobertura florestal, classificação do solo, relevo, padrões de precipitação locais e mudanças climáticas também conferem variabilidade nas respostas das bacias hidrográficas quando se analisa o impacto das modificações do uso e ocupação da terra sobre o regime hidrológico.

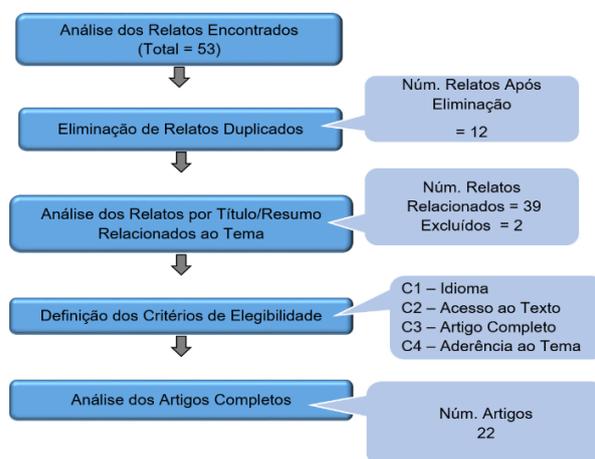
O objetivo desta revisão sistemática foi verificar a produção científica existente sobre o impacto da variação do uso e cobertura da terra na disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas.

## Material e Métodos

A questão de pesquisa proposta para esta revisão sistemática foi “Como a mudança do uso e ocupação da terra, com ênfase na cobertura florestal, interfere no aspecto quantitativo (vazões de cheia, vazões médias e vazões de base) dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas?”. Foram realizadas buscas de publicações nas bases SCOPUS e *Web of Science*. Neste método, não foram adotados filtros referentes a ano de publicação, idioma, periódico ou qualquer outro disponível. A chave utilizada nas duas bases, foi um termo idêntico: “*modeling or modelling and water resources and vegetation and surface runoff*”.

Desta busca resultaram 53 artigos que foram submetidos a metodologia do PRISMA (Moher *et al*, 2015) que foi adaptado para este trabalho conforme descrito a seguir (Figura 1). Desta população, 12 foram eliminados por serem duplicados, pois constavam nas duas bases pesquisadas. A próxima etapa foi eliminar artigos que não possuíam aderência a questão de pesquisa com base na leitura do título e dos resumos, nesta etapa foram eliminados mais dois artigos.

A próxima fase consistiu em verificar a elegibilidade dos artigos restantes em relação ao idioma de publicação (inglês, espanhol ou português), acesso ao texto, formato do artigo (completo) e aderência a questão de pesquisa após leitura completa. Nesta etapa, foram eliminados 16 artigos.



**Figura 1:** Prisma adaptado.

Ao final desta metodologia, restaram 22 artigos que compuseram a população final analisada para a elaboração desta revisão sistemática. Destes artigos, foram elencados os principais resultados observados no que se refere ao impacto da mudança do uso e cobertura da terra, especialmente a cobertura florestal, sobre o regime hidrológico das áreas estudadas.

## Resultados e Discussão

O uso e ocupação da terra, classificação e características físicas do solo e o relevo são os principais fatores que interferem no regime hidrológico das bacias hidrográficas (Nolin et al., 2012; Chen et al., 2013; Bouraqui et al., 2003.). Analisando as possíveis alterações no uso e ocupação da terra, observa-se que a infiltração, a recarga subterrânea e o escoamento superficial são os principais processos influenciados por estas mudanças (Batelaan et al., 2003, Beck, et.al, 2013; Shawul et al. 2019).

A cobertura florestal, desempenha um papel fundamental ao potencializar a infiltração e a evapotranspiração de água no solo (Yang et al., 2013). Zema et al., (2018) concluíram que as florestas conferem maior estabilidade hidrológica a bacia hidrográfica e os seus efeitos são mais limitados quando se analisa um evento único de precipitação em comparação a períodos mais longos de análise. Avaliando eventos únicos de precipitação, os efeitos da cobertura arbórea são mais evidentes em precipitações de curta duração e alta intensidade (Wei et al., 2014). Em climas áridos e semiáridos a influência da mudança do uso e ocupação da terra é mais notada em comparação a climas mais úmidos (Mohaideen, 2018).

O aumento da cobertura florestal implica em redução das vazões de pico, média e baixas. Em contrapartida, a expansão da urbanização e da agricultura em áreas anteriormente cobertas por florestas nativas implicam em aumentos destas vazões. Destaca-se que a magnitude destes resultados é muito variável a depender das características fisiográficas da bacia, tipo de solo e características climáticas locais (Dennedy-Frank et al., 2019). Resultados de Yang et al., (2013) apontam que o escoamento superficial reduziu em 21,4% em áreas cobertas por florestas quando comparado ao escoamento observado em terras agrícolas em uma bacia hidrográfica na China.

O aumento da cobertura florestal, expressa alterações mais significativas nas vazões de pico do que em vazões de base. Assim é de se esperar, que os projetos de restauração florestal em bacias hidrográficas a montante de áreas urbanas contribuam mais significativamente para mitigar enchentes nas cidades. Dennedy-Frank et al.,(2019) afirmam, que em geral, estudos que avaliam a interferência da restauração florestal sobre o regime hidrológico, promovem o incremento florestal de forma aleatória na bacia e que os resultados poderiam ser mais expressivos se a restauração florestal fosse simulada ou implementada em áreas estratégicas.

Gashaw et al., (2018) estudando uma bacia de 58.760 hectares na Etiópia, simularam uma pequena redução em sua área florestal da ordem de 3,5%; 2,6%; 1,9%; 1,5%; 1,3% considerando os anos de 1985, 2000, 2015, 2030, 2045, respectivamente. Em relação ao regime hidrológico, foi observado que houve aumentos da vazão anual (2,2%), da vazão na época úmida do ano (4,6%), escoamento superficial (9,3%) e produção de água (2,4%). Por outro lado, as mudanças de uso da terra reduziram a vazão da seca (2,8%), a recarga subterrânea (7,8%) e a evapotranspiração (0,3%).

Por sua vez, a urbanização além de impermeabilizar superfícies, também altera características morfológicas das bacias com ações de retificação e canalização de cursos d'água e operações de terraplenagem. Estas ações potencializam o escoamento superficial e a ocorrência de cheias (Jat et al., 2009, Lafontaine, 2015). A ação antrópica ainda tem como possibilidade a mitigação de cheias em áreas urbanas por meio da construção de barragens a montante de áreas urbanizadas (Lugon Junior et al., 2019).

Wei et al., (2014) analisando quatro classes de uso da terra: solo descoberto, solo coberto com matéria orgânica, cobertura de gramíneas e cobertura arbustiva concluíram que a vazão total, velocidade do fluxo de escoamento e o coeficiente de escoamento decresceu nesta ordem de classes de uso da terra.

Shawul et al., 2019 trabalhando em uma bacia de 11.720 km<sup>2</sup> na Etiópia, observaram uma redução de florestas da ordem de 22,3% para 15,9% e aumento de áreas agricultáveis de 49% para 72,1%. As áreas urbanas também aumentaram de 0,4 para 2,9%, durante o período analisado de 1974 a 2014. Diante deste quadro, foram observados um aumento do escoamento superficial da ordem de 15,6%. As respostas hidrológicas, representada pelas variações de escoamento superficial e recarga subterrânea, foram mais significativas no período chuvoso em detrimento ao período seco do ano. Os autores concluíram que a quantidade de água aumenta com o incremento de áreas agrícolas e urbanas, devido ao elevado escoamento superficial observado nestas condições. Com o incremento de florestas esta correlação se torna negativa. De forma semelhante Tankpa et al. (2020) em uma bacia na China, concluiu que devido a redução da cobertura florestal em detrimento do aumento das áreas agricultáveis e urbanas, houve um aumento das vazões anuais observadas nos cursos hídricos, enquanto que a recarga subterrânea e a evapotranspiração observadas reduziram.

Dennedy-Frank et al., (2019) observaram que um aumento na cobertura florestal reduz a produção anual

de água. Deste modo, na China restaurações de encostas têm sido conduzidas para mitigar cheias, enquanto no continente Africano, tem ocorrido a supressão de vegetação arbórea exótica objetivando diminuir perdas de águas por evapotranspiração e potencializar a recarga de aquíferos. Mohaideen et al., (2018) avaliando o regime hidrológico e o uso da terra numa bacia hidrográfica na China encontrou resultados semelhantes. O autor aponta que a área total delimitada por terras agrícolas, corpos d'água e edificações aumentou de 37% para 73%, 1,13% para 3,3% e 0,66% para 2,79%, respectivamente. As áreas de floresta, plantas arbustivas e macega diminuiu de 1,99% para 1,09%; 17,76% para 4,10% e 41,4% para 15,68%, respectivamente. Já o escoamento superficial e o escoamento de subsuperfície diminuíram em 18,86% e 5,83%, respectivamente. A evapotranspiração aumentou 7,8% principalmente por conta das lavouras agrícolas irrigadas.

Em contraponto, Beck et al., (2013) estudando o comportamento hidrológico de 12 bacias em Porto Rico não observou correlação significativa entre aumento da cobertura florestal ou da área urbana e alterações nas vazões observadas nos rios. No entanto, a maioria das bacias exibiram diminuições em vazões, o que sugere um aumento do uso de água pela vegetação associado à regeneração da floresta. Em síntese, a resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica não é trivial pois os resultados podem variar a depender de diferenças climáticas, topográficas ou geológicas (Lafontaine, 2015). No estudo de Beck et al., (2013), o tamanho reduzido das bacias analisadas que variam de 13 a 346 km<sup>2</sup>, os altos índices pluviométricos observados em média de 1700 mm.ano<sup>-1</sup> e as características de solo desenvolvido sob material vulcânico e com altos teores de argila e um gradiente de condutividade hidráulica decrescente ao longo do perfil contribuem para explicar os resultados encontrados em Porto Rico.

Resultados indicam que as taxas de infiltração aumentam em solos sob cobertura florestal. Isto ocorre, devido a diminuição da velocidade e da quantidade da água oriunda das precipitações que atingem a superfície do solo. A vegetação, confere uma maior rugosidade a superfície e por isso altera os fluxos de água destinados a infiltração ou escoamento superficial (Chen et al., 2013). O aporte de matéria orgânica e o enraizamento profundo de espécies arbóreas alteram propriedades físicas do solo e criam canais preferenciais que facilitam a infiltração.

Entretanto, a maior parte da água infiltrada é consumida pelo processo de evapotranspiração, e portanto, não resulta em recarga de águas subterrâneas e por consequência em melhoria nas vazões de base dos cursos hídricos. Autores sugerem que a manutenção ou a restauração florestal em grande escala, que não se aplica aos artigos analisados nesta revisão sistemática, pode interferir no regime hidrológico pois os elevados índices de evapotranspiração contribuem para aumentar o volume de precipitações ainda que esta não ocorra necessariamente sobre a área restaurada.

Os resultados observados nesta revisão sistemática são corroborados pelas revisões acerca deste mesmo tema feitas por Filoso *et al.*, (2017) e Owuor (2016).

Existem poucos resultados contrastantes com a tendência geral encontrada nesta revisão sistemática. As exceções são relatos de aumento de escoamento superficial e de vazões observadas em decorrência da restauração florestal que foram observados em trabalhos conduzidos em região tropical na América Central. Filoso *et al.*, (2017) então afirmam que na América do Sul existe uma escassez de estudos desta natureza e que possivelmente o desenvolvimento destes poderiam encontrar resultados semelhantes aos observados na América Central.

Algumas considerações e ressalvas a estes resultados estão relacionados a escala temporal e espacial nas quais os artigos analisam as alterações no regime hidrológico. Períodos curtos de análise podem ocultar respostas hidrológicas que somente seriam observadas em escalas temporais maiores. O percentual de mudança de uso e cobertura da terra deve ocorrer em uma escala mínima para que as alterações no regime hidrológico sejam observadas. Dennedy-Frank *et al.*, (2019) simularam a resposta hidrológica de bacias hidrográficas aplicando uma taxa de restauração florestal de 10% e observaram alterações modestas no regime hidrológico das bacias. Estes autores apontam que modificações significativas no regime hidrológico são observadas a partir da restauração florestal em percentual mínimo de 20% da área da bacia.

Ainda deve-se considerar que a restauração florestal potencialmente oferece inúmeros serviços ecossistêmicos além daqueles relacionados ao regime hidrológico, como por exemplo: sequestro de carbono da atmosfera, regulação do clima, habitat natural para espécies da fauna silvestre, mitigação de processos erosivos, manutenção da fertilidade do solo, dentre outros.

## Conclusão

Revisões sistemáticas ainda que não esgotem um tema de pesquisa, oferecem grande quantidade de informações que se prestam a fundamentar o trabalho científico. Da revisão sistemática é possível extrair materiais e metodologias passíveis de replicação além de resultados que norteiam as novas pesquisas e possibilitam as buscas de eventuais lacunas existentes nos artigos analisados que são passíveis de investigação. Os resultados desta revisão sistemática apontam que o aumento da cobertura florestal sobre uma bacia hidrográfica tende a diminuir o escoamento superficial, aumentar a infiltração e a evapotranspiração. Com isso as vazões de pico, em maior magnitude, e as vazões médias e de base, em menor magnitude, tendem a diminuir. Além disso, o regime de vazão ao longo do ano tende a ser mais estável e, portanto, menor é a ocorrência e intensidade de eventos críticos de cheias e secas.

## Referências Bibliográficas

- BATELAAN, O., DE SMEDT, F., AND TRIEST, L. (2003). "Regional groundwater discharge: phreatophyte mapping, groundwater modelling and impact analysis of land-use change." *J. Hydrol.*, 275(1-2), pp. 86-108.
- BECK, H. E.; BRUIJNZEEL, L. A.; VAN DIJK, A. I. J. M.; MCVICAR, T. R.; SCATENA, F. N.; SCHELLEKENS, J (2013). The impact of forest regeneration on streamflow in 12 mesoscale humid tropical catchments. **Hydrology And Earth System Sciences**, 17 (7), pp. 2613-2635.
- BOURAOU, F.; WOLFE, M. L (2005). Évaluation d'un modèle des zones de pâturages et de prairies naturelles. **Revue Des Sciences de L'Eau**, 16 (4), pp. 459-474.
- DENNEDY-FRANK, P. J.; GORELICK, S. M (2019). Insights from watershed simulations around the world: watershed service-based restoration does not significantly enhance streamflow. *Global Environmental Change*, 58 (1), pp. 1-15.
- Fang X *et al.* (2013) Hydrologic response to land use and land cover changes within the context of catchment-scale spatial information. *J Hydrol Eng* 18(1), pp. 1539-1548.
- FILOSO S, BEZERRA MO, WEISS KCB, PALMER MA. (2017). Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. *PLoS ONE* 12(8), pp. 1-26.
- GASHAW, TEMESGEN; TULU, TAFFA; ARGAW, MEKURIA; WORQLUL, ABEYOU W. (2018). Modeling the hydrological impacts of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. **Science Of The Total Environment**, 619-620 (1), pp. 1394-1408.
- JAT, M. K.; KHARE, D.; GARG, P. K.; SHANKAR, V (2009). Remote sensing and GIS-based assessment of urbanisation and degradation of watershed health. **Urban W. Journal**, 6, pp. 251-263.
- LAFONTAINE, J.H.; HAY, LAUREN E.; VIGER, ROLAND J.; REGAN, R. STEVE; MARKSTROM, S. L. (2015). Effects of Climate and Land Cover on Hydrology in the Southeastern U.S.: potential impacts on watershed planning. **Jawra Journal Of The American Water Resources Association**. 51 (5), pp. 1235-1261.
- LUGON JUNIOR, J.; TAVARES, L.P.S; KALAS, F.A.; RODRIGUES, P.P.G.W; WASSERMAN, J.C.A (2019). Reservoir implantation for flood dampening in the Macaé River basin using the Mohid Land model. **Ciência e Natura**, v. 41 (29) ,pp. 1 – 10.
- MOHAIDEEN, M. M. D.; VARIJA, K (2018). Improved vegetation parameterization for hydrological model and assessment of land cover change impacts on flow regime of the Upper Bhima basin, India. **Acta Geophysica**, 66 (4), pp. 697-715.
- NOLIN, ANNE W (2012). Perspectives on Climate Change, Mountain Hydrology, and Water Resources in the Oregon Cascades, USA. **Mountain Research And Development**, 32 (1), pp. 35-46.

OWUOR, S. O.; BUTTERBACH-BAHL, K.; GUZHA, A. C.; RUFINO, M. C.; PELSTER, D. E.; DÍAZ-PINÉS, E.; BREUER, L (2016). Groundwater recharge rates and surface runoff response to land use and land cover changes in semi-arid environments. *Ecological Processes*. v. 5 (1), pp. 1-21.

SHAWUL, ALEMAYEHU A.; CHAKMA, SUMEDHA; MELESSE, ASSEFA M (2019). The response of water balance components to land cover change based on hydrologic modeling and partial least squares regression analysis in the Upper Awash Basin. **Journal Of Hydrology: Reg. Studies**, 26 (1), pp. 1-19.

SILVEIRA, R.P.; OLIVEIRA, V.P.S de (2016). Identificação dos impactos ambientais da ocupação irregular nas áreas de preservação permanente (APP) da bacia hidrográfica do Rio Itabapoana. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, 10 (1), pp. 179-200.

TANKPA, VITUS; WANG, LI; AWOTWI, ALFRED; SINGH, LEELAMBER; THAPA, SAMIT; ATANGA, RAPHAEL ANE; GUO, XIAOMENG (2020). Modeling the effects of historical and future land use/land cover change dynamics on the hydrological response of Ashi watershed, northeastern China. **Environment, Development And Sustainability**. 1 (1) pp. 1-30.

WEI, WEI; JIA, FUYAN; YANG, LEI; CHEN, LIDING; ZHANG, HANDAN; YU, YANG (2014). Effects of surficial condition and rainfall intensity on runoff in a loess hilly area, China. **Journal Of Hydrology**, 513 (1), pp. 115-126.

YANG, CHUANGUO; YU, ZHONGBO; HAO, ZHENCHUN; LIN, ZHAOHUI; WANG, HUIMIN (2013). Effects of Vegetation Cover on Hydrological Processes in a Large Region: huaihe river basin, china. **Journal Of Hydrologic Engineering**, 18 (11), pp. 1477-1483.

ZEMA, D.M; LUCAS, B., MANUEL. E.; CARRÀ, B.G; DENISI, P.; R., V.M; RANZINI, M.; ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. DE; ZIMBONE, S.M (2018). Simulating the hydrological response of a small tropical forest watershed (Mata Atlantica, Brazil) by the AnnAGNPS model. **Science Of The Total Environment**, 636 (1), p. 737-750.