

CICLO BIOGEOQUÍMICO DA ÁGUA: INTERAÇÕES ENTRE SOLO, VEGETAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS

BIOGEOCHEMICAL CYCLE OF WATER: INTERACTIONS BETWEEN SOIL, VEGETATION, AND WATER

Leonardo Di Paulo da Silva Chaves¹
Gláucia Santos Dias de Azevedo²
Abel Ferreira Neto³
Ádria Tainá Cruz Leal⁴

Área Temática 05: MEIO AMBIENTE, MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SUSTENTABILIDADE
Modalidade: Artigo Científico

Resumo

O ciclo biogeoquímico da água desempenha um papel fundamental na regulação dos ecossistemas terrestres, sendo controlado por interações complexas entre o solo, a vegetação e os corpos hídricos superficiais e subterrâneos. Este artigo tem como objetivo analisar, por meio de revisão de literatura científica nacional, os principais processos ecológicos e biofísicos que determinam a movimentação da água nos sistemas naturais, com ênfase nas interfaces entre os componentes bióticos e abióticos da paisagem. Destaca-se a relevância da infiltração, da transpiração vegetal e da matéria orgânica do solo como mecanismos-chave para a recarga de aquíferos, manutenção da umidade e qualidade dos recursos hídricos. A vegetação atua como mediadora no balanço hídrico, influenciando a evapotranspiração e a retenção de água no perfil do solo. Por outro lado, as alterações no uso e cobertura da terra impactam diretamente esses processos, comprometendo a integridade dos ciclos hidrológicos naturais. A metodologia adotada consistiu na seleção de artigos, teses e dissertações publicadas no Brasil, contemplando diferentes biomas e escalas de análise. A discussão dos resultados evidenciou a importância dos solos estruturados e ricos em matéria orgânica na conservação dos recursos hídricos, bem como a necessidade de políticas integradas de gestão do solo e da vegetação. Conclui-se que a compreensão sistêmica do ciclo biogeoquímico da água é essencial para estratégias sustentáveis de uso da terra, conservação ambiental e segurança hídrica em regiões de alta vulnerabilidade ecológica. Este estudo contribui para o fortalecimento da base científica necessária ao planejamento ambiental e à restauração de ecossistemas impactados pela ação antrópica.

Palavras-Chave: Biogeoquímica; infiltração; solo; recarga aquífera.

Abstract

The biogeochemical cycle of water plays a fundamental role in the regulation of terrestrial ecosystems, being governed by complex interactions among soil, vegetation, and both surface and groundwater bodies. This article aims to analyze, through a review of national scientific literature, the main ecological and biophysical processes that determine water movement in natural systems, with emphasis on the

¹ Universidade Federal do Pará; oleonardochaves@gmail.com

² Instituto Federal do Pará; glaucia.azevedo@ifpa.edu.br

³ Instituto Federal do Pará; abel.neto@ifpa.edu.br

⁴ Instituto Federal do Pará; adriatay25@gmail.com

interfaces between the biotic and abiotic components of the landscape. The importance of infiltration, plant transpiration, and soil organic matter is highlighted as key mechanisms for aquifer recharge, moisture retention, and water resource quality. Vegetation acts as a mediator in the water balance, influencing evapotranspiration and the retention of water in the soil profile. On the other hand, changes in land use and land cover directly affect these processes, compromising the integrity of natural hydrological cycles. The adopted methodology consisted of selecting articles, theses, and dissertations published in Brazil, encompassing different biomes and scales of analysis. The discussion of the results highlighted the importance of well-structured soils rich in organic matter for water resource conservation, as well as the need for integrated policies for soil and vegetation management. It is concluded that a systemic understanding of the biogeochemical water cycle is essential for sustainable land use strategies, environmental conservation, and water security in regions of high ecological vulnerability. This study contributes to strengthening the scientific basis necessary for environmental planning and the restoration of ecosystems impacted by human activity.

Key words: Biogeochemistry, Infiltration, Soil, Aquifer recharge.

1. Introdução

A água é um componente essencial à vida, e sua distribuição na biosfera é intrinsecamente mediada por processos ecológicos e físicos que envolvem o solo e a vegetação. A complexa interação entre esses elementos define o comportamento do ciclo hidrológico nos ambientes naturais e influencia diretamente a disponibilidade hídrica. Compreender essas relações é crucial para o manejo sustentável e a conservação dos recursos naturais, um desafio crescente em um cenário de mudanças climáticas e alterações no uso do solo.

O ciclo biogeoquímico da água transcende a mera movimentação física da água, englobando também os fluxos de nutrientes e a regulação pela biota. Ele é regulado por trocas contínuas entre a atmosfera, a litosfera, a biosfera e a hidrosfera, sendo esses fluxos mediados por processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo e na vegetação. Segundo Tucci (2007), a dinâmica da água no solo é fortemente influenciada por suas características físicas, como textura, estrutura e teor de matéria orgânica.

A vegetação exerce um papel relevante na regulação hídrica dos ecossistemas ao intermediar processos como a transpiração e a interceptação da chuva. Plantas com sistemas radiculares profundos demonstram a capacidade de extrair água de camadas mais profundas do solo, influenciando o ciclo hídrico em escala local. Neste contexto, Lima et al. (2014) destacam a importância fundamental das florestas tropicais na manutenção dos balanços hídricos regionais, reforçando o papel insubstituível da vegetação nativa.

O solo, atuando como um reservatório e filtro natural, é fundamental para a infiltração e o armazenamento hídrico. A infiltração representa o ponto de partida do ciclo hidrológico

terrestre e sua eficiência depende diretamente da porosidade e permeabilidade dos solos. Em solos bem estruturados, o armazenamento hídrico é otimizado, contribuindo significativamente para a recarga dos lençóis freáticos. Tomasella et al. (2018) reforçam essa perspectiva ao demonstrar que os solos tropicais, quando bem estruturados, não apenas favorecem a recarga aquífera, mas também contribuem para a manutenção de fluxos de base em microbacias hidrográficas. Esses autores comprovam, ademais, que em áreas de vegetação preservada, os índices de infiltração são significativamente superiores aos de áreas degradadas, sublinhando a sinergia entre solo e vegetação.

Além dos fluxos físicos, o ciclo da água é intrincado por processos químicos e biológicos vitais, como a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nutrientes no solo. Oliveira et al. (2020) explicam que a matéria orgânica desempenha um papel crucial, não apenas melhorando a capacidade de retenção de água, mas também promovendo a estabilidade estrutural do solo. A biogeoquímica da água está intrinsecamente conectada aos ciclos de carbono e nitrogênio, uma vez que as atividades microbianas nos solos contribuem para a regulação dos nutrientes dissolvidos. De acordo com Mendonça e Vieira (2016), solos com elevada atividade biológica tendem a apresentar melhores condições para a retenção e purificação da água.

A interação entre os componentes do ciclo da água é particularmente sensível às alterações no uso do solo, como a substituição de vegetação nativa por pastagens ou culturas agrícolas. Souza et al. (2017) alertam que essas mudanças reduzem drasticamente a capacidade de infiltração e aumentam o escoamento superficial, um problema crítico para a estabilidade hídrica em bacias. Estudos em bacias amazônicas, como os de Rodrigues et al. (2021), apontam que a degradação florestal compromete a recarga hídrica e altera o regime de vazão dos rios, com impactos significativos na disponibilidade de água. A recuperação da vegetação, por sua vez, restaura gradualmente as funções ecossistêmicas perdidas, ressaltando a importância de iniciativas de restauração ambiental.

Esses aspectos ressaltam a complexidade das interações ecológicas nos ecossistemas terrestres e evidenciam a necessidade premente de abordagens integradas para a gestão da água. O conhecimento aprofundado das relações solo-vegetação-água é, portanto, estratégico para o planejamento territorial e para a restauração ambiental. Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo investigar, por meio de uma revisão sistemática da literatura científica, as

principais interações entre solo, vegetação e água, com foco no ciclo biogeoquímico. A abordagem adotada busca uma perspectiva integradora que destaca o papel ecológico dos processos naturais no contexto dos recursos hídricos. A relevância da temática se intensifica diante das crescentes mudanças no uso da terra e da intensificação de práticas agrícolas que frequentemente comprometem a capacidade de infiltração do solo e afetam negativamente o ciclo da água. Por isso, estudos que enfoquem as interações ecológicas nos sistemas terrestres são indispensáveis para o desenvolvimento de soluções sustentáveis. A escolha de trabalhos realizados no Brasil justifica-se pela imensa diversidade de biomas do país e pela urgência em aplicar soluções sustentáveis à sua realidade socioambiental. A literatura nacional oferece um conjunto robusto de pesquisas que abordam o tema sob diferentes perspectivas, enriquecendo a análise.

Este artigo está estruturado em introdução (onde os fundamentos teóricos sobre os processos biogeoquímicos e sua importância nos ecossistemas são abordados), metodologia, resultados e discussão, e considerações finais. Os resultados e discussão tratam das principais evidências encontradas nas publicações analisadas, com destaque para os mecanismos ecológicos que influenciam o movimento da água no solo e nas plantas. Por fim, as considerações finais sintetizam os resultados e propõem caminhos para a gestão integrada da água e do uso do solo.

2. Metodologia

Este estudo foi realizado com base em revisão bibliográfica de caráter qualitativo e descritivo. As fontes utilizadas incluíram artigos científicos, dissertações, teses e livros publicados no Brasil entre 2005 e 2024. A busca foi conduzida em bases como SciELO, BDTD, CAPES, Google Scholar e periódicos específicos das áreas de ecologia, solos e recursos hídricos.

Os critérios de inclusão foram publicações com foco no ciclo hidrológico terrestre, interações solo-vegetação e processos biogeoquímicos em ecossistemas naturais ou antropizados. Trabalhos que abordassem exclusivamente aspectos físico-hidrológicos ou sem interface ecológica foram excluídos. A análise do conteúdo se deu por leitura exploratória e fichamento temático, organizando-se os estudos em categorias como infiltração, transpiração, recarga aquífera, matéria orgânica do solo e serviços ecossistêmicos hídricos.

Essa categorização permitiu sintetizar os principais resultados em cada dimensão analisada. Também foi adotada a análise comparativa entre diferentes biomas e usos do solo, destacando os contrastes observados na dinâmica da água em áreas conservadas e degradadas. Foram priorizados trabalhos com abordagens empíricas ou experimentais, que apresentassem dados quantitativos sobre os processos analisados.

A revisão seguiu os princípios da pesquisa sistemática de literatura, conforme recomendado por Gil (2008) e Souza *et al.* (2020), assegurando rigor metodológico e validade científica. Todas as fontes foram devidamente referenciadas conforme as normas da ABNT. Os resultados foram organizados em tópicos temáticos, com ênfase nas relações causais entre os fatores edáficos, vegetacionais e hidrológicos.

A discussão baseou-se na integração dos resultados com as principais referências teóricas do campo da biogeoquímica. A delimitação temporal da pesquisa visa contemplar avanços recentes na compreensão dos serviços ecossistêmicos hídricos, especialmente frente ao contexto das mudanças climáticas e degradação ambiental. O recorte espacial inclui estudos realizados em todos os biomas brasileiros.

3. Resultados/Discussões

Os estudos analisados destacam a importância dos solos com boa estrutura física para a infiltração da água, fundamental para a recarga aquífera. Tomasella *et al.* (2018) mostraram que áreas com vegetação nativa apresentaram taxas de infiltração superiores às pastagens degradadas. A presença de raízes e matéria orgânica é determinante para o aumento da porosidade e da retenção hídrica.

A vegetação contribui significativamente para o ciclo hidrológico ao regular a transpiração e a interceptação da água da chuva. Em ecossistemas florestais, há maior retorno de umidade à atmosfera, promovendo a reciclagem da água local (Lima *et al.*, 2014). Essa regulação é essencial para a manutenção do microclima e do regime hidrológico regional.

A substituição da vegetação nativa por usos antrópicos intensivos compromete o equilíbrio hidrológico. Souza *et al.* (2017) identificaram aumento do escoamento superficial e redução da infiltração em bacias com expansão agropecuária. Isso contribui para o aumento da erosão e da perda de nutrientes essenciais para o solo.

A matéria orgânica do solo atua como condicionadora da qualidade hídrica e da estrutura física do perfil edáfico. Oliveira *et al.* (2020) destacam que solos ricos em carbono orgânico têm maior capacidade de retenção de água e menor susceptibilidade à compactação. Tal fator é crucial em áreas tropicais com chuvas intensas.

Estudos em microbacias amazônicas evidenciam que a cobertura florestal está diretamente ligada à estabilidade da vazão dos cursos d'água. Rodrigues *et al.* (2021) demonstraram que a perda de cobertura vegetal leva à redução do fluxo de base, afetando a disponibilidade hídrica na estação seca. A vegetação atua como um buffer hidrológico, servindo como uma barreira natural que regula o fluxo da água em um ecossistema.

A decomposição da matéria orgânica promove a liberação de nutrientes no solo e influencia a química da água infiltrada. Mendonça e Vieira (2016) ressaltam que essa dinâmica biogeoquímica mantém a fertilidade dos solos e regula a presença de compostos dissolvidos na água subterrânea. Desse modo, a atividade microbiana é peça-chave nesse processo.

A interação entre raízes e solo promove canais preferenciais para a infiltração da água, contribuindo para uma distribuição mais homogênea da umidade. Tucci (2007) reforça que a densidade radicular influencia a taxa de percolação e a recarga hídrica. Em solos desestruturados, a água escoar rapidamente sem recarregar o lençol freático.

Em áreas de Cerrado, estudos apontam que o manejo do solo afeta diretamente a sua capacidade de armazenamento de água. Lopes *et al.* (2016) observaram que o uso de técnicas conservacionistas, como o plantio direto, promove a infiltração e reduz o escoamento. Isto é, favorece tanto a agricultura quanto a conservação hídrica.

A vegetação arbórea de raízes profundas contribui para a extração de água de camadas mais profundas do solo, mantendo o fluxo de transpiração em períodos secos. Lima *et al.* (2014) relatam que essa característica é essencial para a resiliência hídrica em florestas tropicais. A supressão dessa vegetação compromete, por conseguinte, esse mecanismo ecológico.

As práticas agrícolas convencionais intensificam a compactação do solo e reduzem a sua capacidade de retenção de água. Souza *et al.* (2017) apontam que o pisoteio do gado e o uso de maquinário pesado reduzem a infiltração e aumentam a ocorrência de enxurradas. Tais impactos refletem-se na qualidade e quantidade da água disponível.

Os serviços ecossistêmicos hídricos fornecidos por solos e vegetações bem manejados são indispensáveis para a sustentabilidade ambiental. Tomasella *et al.* (2018) sugerem que

políticas de restauração florestal e conservação do solo podem recuperar a funcionalidade hidrológica de bacias degradadas. Esses serviços incluem recarga, filtragem e manutenção da umidade.

Por fim, a integração entre práticas de uso do solo e estratégias de conservação hídrica é essencial para enfrentar os desafios da gestão da água. Estudos como os de Oliveira *et al.* (2020) e Rodrigues *et al.* (2021) reforçam que a abordagem biogeoquímica fornece bases científicas sólidas para intervenções ambientais sustentáveis. A gestão integrada é o caminho para garantir segurança hídrica em paisagens alteradas.

4. Considerações Finais

A presente revisão de literatura permitiu compreender, de forma aprofundada, as interações entre solo, vegetação e recursos hídricos no contexto do ciclo biogeoquímico da água. A análise dos estudos evidencia que esses elementos atuam de maneira interdependente, influenciando diretamente os processos de infiltração, recarga aquífera, transpiração e retenção hídrica. A manutenção da qualidade do solo e da cobertura vegetal é, portanto, essencial para a regulação natural da água nos ecossistemas terrestres.

Os solos ricos em matéria orgânica e com boa estrutura física são mais eficientes na retenção de água e no suporte à atividade vegetal, promovendo o equilíbrio hídrico em diferentes escalas. A vegetação, por sua vez, não apenas contribui com a interceptação e transpiração, mas também atua como reguladora da umidade atmosférica e estabilizadora das vazões em corpos hídricos. Esse papel é particularmente importante em regiões tropicais, como a Amazônia e o Cerrado brasileiro.

A degradação ambiental decorrente da expansão agrícola, da urbanização e do manejo inadequado do solo compromete a integridade desses processos. A substituição da vegetação nativa por pastagens e monoculturas intensifica o escoamento superficial, diminui a infiltração e aumenta a perda de nutrientes, afetando negativamente a disponibilidade e a qualidade da água. A compactação e erosão do solo agravam esses impactos.

Nesse contexto, destaca-se a importância das práticas de manejo conservacionistas, como o plantio direto, a agrofloresta e a recomposição de matas ciliares, que contribuem para a resiliência hídrica das paisagens. Essas estratégias promovem a recuperação da

funcionalidade ecológica do solo e da vegetação, garantindo o fornecimento de serviços ecossistêmicos hídricos essenciais à sociedade e ao meio ambiente.

Os estudos analisados reforçam de maneira contundente que uma compreensão aprofundada das complexas interações biogeoquímicas é o alicerce fundamental para a elaboração e implementação de políticas públicas eficazes voltadas à gestão dos recursos hídricos. Não basta apenas reconhecer a importância desses processos; é crucial que essa percepção se traduza em ações concretas e estratégicas. A adoção de modelos integradores, que considerem a interconexão entre os sistemas naturais, e o embasamento em evidências científicas robustas são pilares essenciais para orientar o desenvolvimento de iniciativas que visem à conservação, à restauração de ecossistemas degradados e ao uso sustentável da água. Nesse cenário de crescente escassez e incertezas climáticas, o conhecimento interdisciplinar emerge como uma ferramenta indispensável, capacitando a sociedade e os tomadores de decisão a enfrentar, de forma proativa e resiliente, os desafios impostos pela crise hídrica e pelas mudanças climáticas.

Conclui-se, pois, que a integração coesa e funcional entre os componentes do sistema solo-vegetação-água é absolutamente central para a garantia da sustentabilidade dos territórios a longo prazo. Essa perspectiva holística exige uma valorização profunda dos processos naturais intrínsecos a esses sistemas, reconhecendo-os como mecanismos reguladores essenciais. Paralelamente, a implementação de tecnologias sociais que sejam não apenas inovadoras, mas também adaptadas às realidades e necessidades específicas das comunidades locais, desponta como um dos caminhos mais promissores para alcançar uma gestão ambiental mais eficiente e equitativa. Para solidificar esses avanços, o fortalecimento da pesquisa aplicada, que traduza o conhecimento científico em soluções práticas e replicáveis, e a ampliação da educação ambiental, que promova a conscientização e a mudança de comportamento em todos os níveis, destacam-se como prioridades inegociáveis neste cenário de urgência e transformação ambiental.

5. Referências Bibliográficas

- FERREIRA, R. M. et al. Dinâmica do carbono e água em solos tropicais. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 269-277, 2017.
- LIMA, W. P.; RODRIGUES, B. D.; TANAKA, A. K. R. **Hidrologia florestal: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- LOPES, A. S. et al. Capacidade de retenção de água em solos do Cerrado sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, e015057, 2016.
- MENDONÇA, R. F.; VIEIRA, L. M. A dinâmica da matéria orgânica do solo e sua relação com a água no contexto da biogeoquímica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 1, p. 231-245, 2016.
- OLIVEIRA, I. A. et al. Matéria orgânica do solo e capacidade de retenção hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 15, n. 5, p. 1-14, 2020.
- PINHEIRO, M. A. et al. Serviços ecossistêmicos hídricos e o papel da vegetação na regulação da água. **Geonorte**, Boa Vista, v. 10, n. 35, p. 129-150, 2019.
- PRADO, R. M. et al. Qualidade física e hídrica do solo sob sistemas integrados de produção. **Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 14, n. 1, p. 1-10, 2020.
- RODRIGUES, C. M.; SILVA, C. R.; FARIAS, P. L. Influência da cobertura vegetal na estabilidade hídrica de microbacias amazônicas. **Árvore**, Viçosa, v. 45, e4501, 2021.
- SILVA, M. T.; PEREIRA, L. A.; ALMEIDA, M. A. Interações solo-planta-água: implicações para o manejo sustentável. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 10, n. 2, p. 45-54, 2015.
- SOUZA, J. R.; BARRETO, M. M.; COSTA, T. C. Impactos do uso do solo nos processos hidrológicos em bacias hidrográficas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 435-444, 2017.
- TOMASELLA, J. et al. A influência do solo e da vegetação nos fluxos hidrológicos da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 48, n. 2, p. 105-118, 2018.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2007.