Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

DINÂMICA DE CARBONO E SEDIMENTOS SOB VARIAÇÕES CLIMÁTICAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: REVISÃO INTEGRATIVA

CARBON AND SEDIMENT DYNAMICS UNDER CLIMATE VARIABILITY IN THE BRAZILIAN AMAZON: AN INTEGRATIVE REVIEW

Renata Chagas de Souza, Marcelo Nascimento Crispim, Liliane da Silva Castro, Felipe Hauan Martins Vieira, Rudson Gomes Assunção e Álisson Rangel Albuquerque

RESUMO
A dinâmica de carbono e sedimentos articula processos hidrológicos, biogeoquímicos e geomorfológicos sensíveis ao clima e ao uso da terra. Esta revisão integrativa examinou evidências sobre armazenamento, transporte, deposição e emissão de carbono em conexão com processos sedimentares na Amazônia brasileira. Foram consultadas SciELO, Portal de Periódicos CAPES, DOAJ, PubMed, JSTOR e Scopus para publicações de 2009 a 2025; a triagem foi conduzida no Rayyan e o processo de seleção foi relatado segundo o PRISMA 2020. Dos 173 registros identificados, 14 estudos atenderam aos critérios de elegibilidade. Os resultados indicam forte controle de precipitação e vazão sobre mobilização e deposição de sedimentos, enquanto desmatamento, fragmentação, fogo, mineração, urbanização e conversão agropecuária modificam estoques e fluxos de carbono e alteram respostas hidrossedimentológicas e geoquímicas. As evidências apontam para um sistema acoplado, cuja resposta depende do compartimento analisado e da trajetória de uso da terra. A principal lacuna é a escassez de séries temporais que integrem, na mesma bacia, vazão, sedimentos, carbono orgânico e cobertura vegetal, condição necessária para separar controles hidroclimáticos de pressões antrópicas e sustentar decisões de conservação e restauração.
Palavras-chave: Ciclos Biogeoquímicos. Hidrologia Fluvial. Erosão Tropical. Carbono Orgânico. Bacias Hidrográficas.

ABSTRACT
Carbon and sediment dynamics link hydrological, biogeochemical, and geomorphological processes that are sensitive to climate and land use. This integrative review examined evidence on carbon storage, transport, deposition, and emissions in connection with sedimentary processes in the Brazilian Amazon. SciELO, the CAPES Journals Portal, DOAJ, PubMed, JSTOR, and Scopus were searched for publications from 2009 to 2025; records were screened in Rayyan, and the selection process was reported according to PRISMA 2020. Of 173 records identified, 14 studies met the eligibility criteria. The evidence indicates strong control of precipitation and streamflow over sediment mobilization and deposition, whereas deforestation, fragmentation, fire, mining, urbanization, and agricultural conversion modify carbon stocks and fluxes and alter hydrosedimentary and geochemical responses. The findings describe a coupled system whose response depends on the environmental compartment and land-use trajectory. The main gap is the scarcity of time series that jointly monitor streamflow, sediments, organic carbon, and vegetation cover within the same watershed, which is necessary to distinguish hydroclimatic controls from anthropogenic pressures and support conservation and restoration decisions.
Keywords: Biogeochemical Cycles. River Hydrology. Tropical Erosion. Organic Carbon. Watersheds.

Data de recebimento: 09/06/2026.
Aceito para publicação: 08/09/2026.

1 INTRODUÇÃO

Na Amazônia brasileira, carbono e sedimentos não percorrem trajetórias independentes. Água, partículas minerais e matéria orgânica atravessam florestas, solos, canais e planícies de inundação, conectando processos biogeoquímicos e geomorfológicos em escalas que vão da parcela à bacia. Uma síntese recente das estimativas de fluxo terrestre mostrou que, embora o balanço amazônico permaneça cercado por incerteza metodológica, a Amazônia brasileira atuou como fonte líquida de carbono durante extremos climáticos recentes e o setor sudeste apresentou sinal persistente de fonte entre 2010 e 2020 (Rosan *et al.*, 2024). Ao mesmo tempo, a possibilidade de transições críticas depende da sobreposição entre aquecimento, seca, incêndios, degradação e perda de cobertura, e não de um único forçante isolado (Flores *et al.*, 2024).

RESCX Revista de Educação, Saúde e Ciências do Xingu
Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

Essa interação repercute diretamente sobre o regime hidrológico. Evidências observacionais e de modelagem indicam que o efeito do desmatamento sobre a precipitação varia entre as estações, com redução das chuvas na estação seca justamente quando a floresta opera sob maior limitação hídrica (Qin *et al.*, 2025). No sul da bacia, a perda histórica de cobertura florestal também foi associada a um declínio acumulado da precipitação ao longo de quatro décadas, mostrando que a resposta hidroclimática incorpora a própria trajetória de transformação da paisagem (Cui *et al.*, 2026). Em escala de sistema, mudanças simultâneas no uso da terra, na vegetação e no clima já alteram as interações biosfera-atmosfera e repercutem sobre os ciclos de água, energia e carbono (Franco *et al.*, 2025).

A sensibilidade do carbono ao clima torna-se especialmente evidente após eventos extremos. No El Niño de 2015-2016, a combinação entre aridez atmosférica e déficit de armazenamento hídrico prolongou a recuperação do balanço de carbono em setores da Amazônia e da América do Sul tropical (Liu *et al.*, 2024). Esse comportamento importa para a dinâmica sedimentar porque secas prolongadas, chuvas intensas e reorganização da cobertura vegetal modificam geração de escoamento, conectividade entre vertentes e canais e disponibilidade de material para erosão. Em várzeas do Solimões/Amazonas, a deposição não responde apenas à cota de inundação: concentração de sedimentos suspensos e hidrodinâmica local participam decisivamente da retenção, enquanto o avanço do desmatamento pode reduzir a eficiência desse armazenamento ao longo do tempo (Feng *et al.*, 2025).

Nas interfaces costeiras, a mesma conexão assume outra configuração. Manguezais da Amazônia Legal concentram estoques elevados de carbono no ecossistema, com forte participação do solo, de modo que alterações no balanço sedimentar, na salinidade e na estabilidade geomorfológica podem repercutir sobre uma reserva de carbono de relevância climática nacional (Bernardino et al., 2024). O quadro que emerge da literatura recente é menos linear do que uma relação direta entre clima e estoque: a variabilidade hidroclimática reorganiza fluxos de água e matéria, enquanto mudanças no uso da terra e outras intervenções antrópicas alteram as superfícies e conexões por onde esses fluxos se estabelecem.

Esta revisão delimita-se à Amazônia brasileira e ao período de 2009 a 2025. O objetivo foi integrar evidências sobre os efeitos da variabilidade climática e hidrológica na dinâmica de carbono e sedimentos, considerando sua interação com mudanças de uso da terra e as diferenças entre compartimentos terrestres, fluviais, alagáveis e costeiros.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 DELINEAMENTO DA REVISÃO, PERGUNTA NORTEADORA E ESTRUTURA PECO

Este estudo consistiu em uma revisão integrativa da literatura. O fluxo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão foi relatado com base nas recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA, 2020), empregado como referência de transparência para o processo de seleção e não como classificação metodológica da revisão (Page *et al.*, 2021). A triagem foi organizada no Rayyan (Ouzzani *et al.*, 2016).

A pergunta norteadora foi: em ecossistemas e compartimentos ambientais da Amazônia brasileira, como a variabilidade climática e hidrológica, isoladamente ou em interação com mudanças no uso da terra, afeta a dinâmica de carbono e sedimentos? Para operacionalizá-la, adotou-se a estrutura PECO, apropriada a questões organizadas em torno de exposições ambientais (Livoreil *et al.*, 2017): P, ecossistemas e compartimentos da Amazônia brasileira; E, variabilidade de precipitação, seca, temperatura, vazão,

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

inundação e hidroperíodo, considerando pressões de uso da terra como modificadores contextuais; C, quando aplicável, condições ambientais contrastantes, como períodos secos e chuvosos, gradientes de perturbação ou situações de referência e modificadas; e O, estoques, fluxos, mobilização, deposição ou emissão de carbono, além de indicadores de erosão, transporte e deposição sedimentar e de respostas hidrogeoquímicas.

2.2 RECORTE TERRITORIAL, FONTES DE INFORMAÇÃO, BUSCA E ELEGIBILIDADE

O recorte territorial foi restrito à Amazônia brasileira, abrangendo estudos em bacias hidrográficas, rios, florestas, solos, zonas úmidas, várzeas, manguezais e ambientes flúvio-costeiros. Para inclusão, o estudo deveria apresentar recorte explícito ou resultados discrimináveis para esse território. Trabalhos externos ao Brasil foram utilizados somente como apoio à interpretação e não integraram a síntese qualitativa. As buscas abrangeram publicações de 2009 a 2025 nas fontes de informação SciELO, Portal de Periódicos CAPES, Directory of Open Access Journals (DOAJ), PubMed, JSTOR e Scopus. A estratégia combinou descritores em português e inglês relacionados a carbono, sedimentos, hidrologia, clima e Amazônia.

A string consolidada foi: ("carbon dynamics" OR "soil carbon" OR "organic carbon" OR "carbon storage" OR "sediment transport" OR "sediment dynamics" OR "sediment yield" OR erosion OR deposition) AND ("hydrological regime" OR "hydrological variability" OR streamflow OR drought OR "water deficit" OR "dry season" OR "climate change" OR "climate variability" OR "temperature increase" OR "precipitation change") AND ("Brazilian Amazon" OR "Amazônia brasileira" OR "Amazonia brasileira" OR "Amazônia Oriental" OR "eastern Amazon"). A sintaxe foi adaptada conforme os recursos de busca de cada fonte de informação, preservando os mesmos blocos conceituais.

Em coerência com a estrutura PECO, foram incluídos artigos revisados por pares, com texto integral recuperado, publicados entre 2009 e 2025 e com resultados pertinentes à Amazônia brasileira. A elegibilidade exigiu relação com pelo menos um componente da dinâmica do carbono ou dos sedimentos, ou com controles hidrológicos e biogeoquímicos diretamente capazes de condicionar sua mobilização, retenção ou transformação. Foram aceitos estudos empíricos, modelagens hidrológicas ou climáticas, análises biogeoquímicas, sensoriamento remoto e sínteses científicas com aderência à questão norteadora. Foram excluídos registros duplicados, documentos não submetidos à revisão por pares, trabalhos sem recorte territorial pertinente, textos sem relação explícita com os processos avaliados e estudos exclusivamente laboratoriais ou marinhos sem conexão demonstrável com o contínuo amazônico considerado.

2.3 SELEÇÃO, EXTRAÇÃO E SÍNTESE DOS DADOS

A seleção ocorreu em quatro etapas: identificação, remoção de duplicatas, leitura de títulos e resumos e avaliação integral dos textos potencialmente elegíveis. A extração considerou ano, título, autores, área ou ambiente, variáveis analisadas, método, principais achados e interpretação técnica integrativa.

Como os estudos não mensuraram necessariamente carbono e sedimentos de forma simultânea, a síntese foi conduzida por convergência de mecanismos e interfaces entre compartimentos. Evidências indiretas foram mantidas como suporte mecanístico, sem serem tratadas como demonstração de causalidade conjunta. O fluxo completo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão está apresentado na Figura 1.

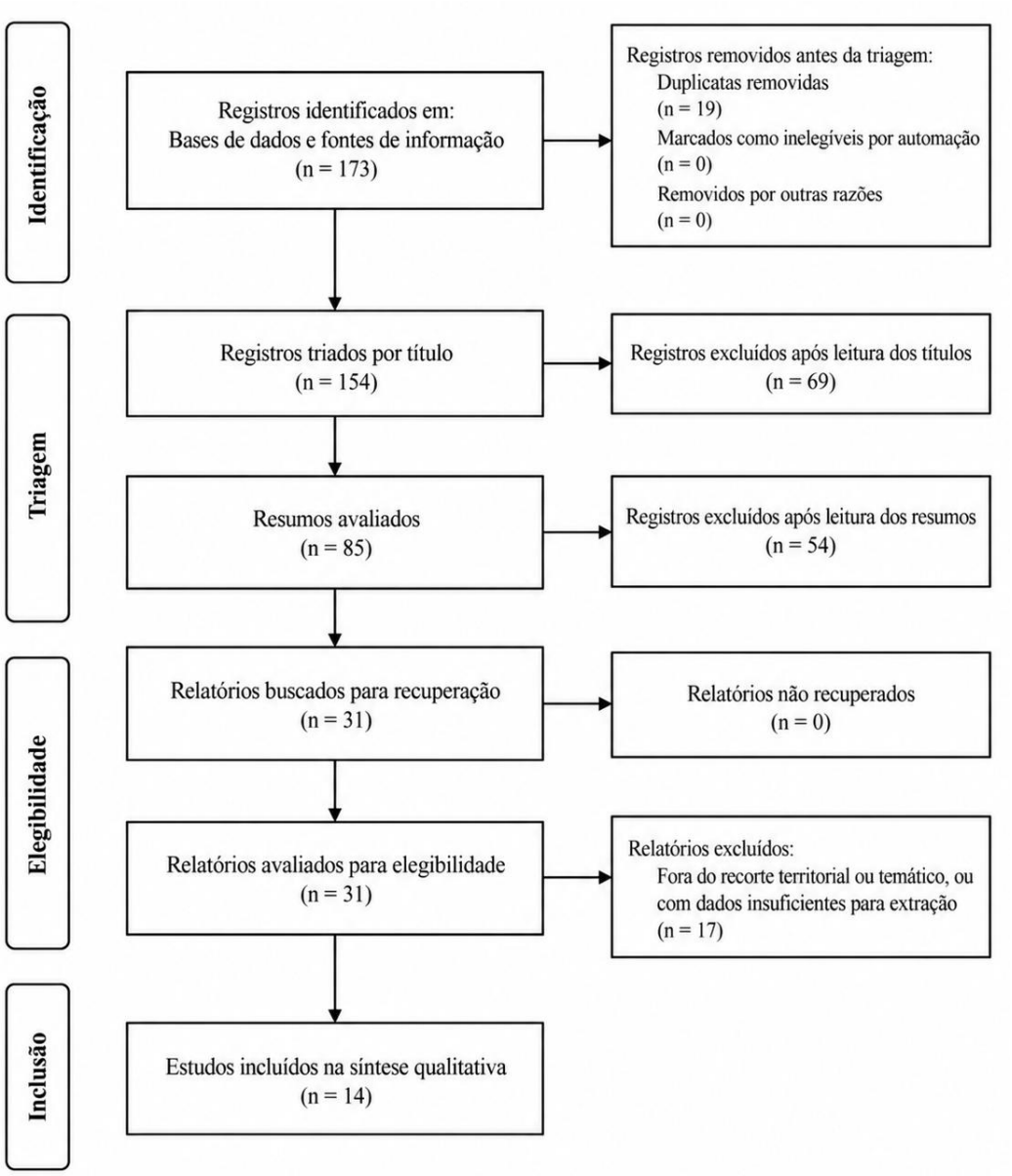
3 RESULTADOS

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

A busca inicial identificou 173 registros nas fontes de informação consultadas. Após a remoção de 19 duplicatas, 154 registros foram triados. A leitura dos títulos resultou na exclusão de 69 documentos, permanecendo 85 resumos para avaliação. Nessa etapa, 54 registros foram excluídos e 31 textos completos seguiram para análise de elegibilidade.

A leitura integral resultou na exclusão de 17 artigos, principalmente por ausência de aderência ao recorte territorial, baixa conexão com a relação entre carbono, sedimentos e controles hidroclimáticos ou insuficiência de dados extraíveis. A síntese qualitativa reuniu 14 trabalhos (Figura 1). O corpus abrange rios urbanos, sub-bacias hidrográficas, florestas primárias e secundárias, pastagens, fragmentos florestais, áreas úmidas, manguezais e registros sedimentares.

Figura 1 - Fluxograma PRISMA 2020 utilizado na seleção dos estudos.



Fonte: autoria própria, adaptado de Page *et al.* (2021), com dados da revisão.

RESCX Revista de Educação, Saúde e Ciências do Xingu

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

Quadro 1 - Síntese integrativa dos estudos incluídos na revisão.

ID	Ano	Título do estudo	Autores principais	Área / ambiente	Variáveis analisadas	Métodos utilizados	Principais achados científicos	Interpretação técnica integrativa
1	2011	Carbono dissolvido em uma área urbana de um rio na Amazônia brasileira	Sousa; Salimon; Figueiredo; Krusche	Rio Acre, trecho urbano de Rio Branco, AC	DOC, DIC, pCO2, vazão	Monitoramento hidroquímico sazonal	DOC foi maior no período úmido e DIC no período seco; a sazonalidade hidrológica explicou grande parte da variação observada.	A hidrologia sazonal exerce controle forte sobre o carbono dissolvido mesmo em trecho urbano; a influência antrópica deve ser interpretada junto ao regime de vazão.
2	2011	Indicadores biogeoquímicos de mudanças ambientais de 50 ka a 10 ka em uma região úmida da Amazônia brasileira	Cordeiro *et al.*	Lago amazônico com registro sedimentar	Carbono orgânico total, metais, mineralogia, clorofila	Testemunho sedimentar e indicadores biogeoquímicos	Fases climáticas secas e úmidas alteraram produtividade, erosão e composição geoquímica dos sedimentos.	O registro sedimentar demonstra sensibilidade de longo prazo entre clima, aporte terrígeno, produtividade e carbono orgânico.
3	2014	Possíveis impactos das mudanças climáticas sobre áreas úmidas e sua biota na Amazônia brasileira	Barros; Albernaz	Áreas úmidas, várzeas e manguezais da Amazônia brasileira	Temperatura, precipitação, nível do mar, biota	Síntese científica	Aquecimento, alteração das chuvas e elevação do nível do mar podem modificar extensão, conectividade e biota de áreas úmidas.	Mudanças no hidroperíodo constituem mecanismo capaz de repercutir sobre retenção sedimentar e processos biogeoquímicos associados ao carbono.
4	2015	Análise química da água de chuva incidente e interceptada na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará, Brasil	Oliveira Junior *et al.*	Floresta Nacional do Tapajós, PA	Íons, nutrientes, precipitação e *throughfall*	Coletas periódicas e análise química multivariada	A química da chuva e do *throughfall* variou sazonalmente; os autores relacionaram parte da variação à deposição seca, às queimadas, às atividades agrícolas e à poeira.	Evidência mecanística indireta: não mede carbono ou sedimentos fluviais, mas documenta transferência atmosférica de matéria para o dossel e o solo.
5	2015	Desenvolvimento de avaliações de campo custo-efetivas dos estoques de carbono em florestas tropicais modificadas pelo ser humano	Berenguer *et al.*	Florestas tropicais modificadas na Amazônia	Carbono em múltiplos compartimentos	Inventário de campo e modelagem	Em 224 parcelas, árvores vivas de maior diâmetro foram o componente dominante do estoque total em florestas primárias e mostraram alta sensibilidade à perturbação; esse componente teve capacidade limitada para predizer os demais compartimentos.	Inventários simplificados podem reduzir custos, mas um único componente não representa adequadamente todos os compartimentos nem suas respostas à perturbação.

RESCX Revista de Educação, Saúde e Ciências do Xingu

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

ID	Ano	Título do estudo	Autores principais	Área / ambiente	Variáveis analisadas	Métodos utilizados	Principais achados científicos	Interpretação técnica integrativa
6	2016	Mudanças nos estoques de carbono do solo decorrentes dos efeitos de borda em fragmentos florestais da Amazônia central	Barros; Fearnside	Fragmentos florestais da Amazônia central	Carbono do solo em gradiente de borda	Amostragem temporal e análise espacial	O carbono do solo aumentou próximo às bordas ao longo do período analisado, associado à mortalidade arbórea e à entrada de necromassa; esse ganho compensou apenas 8,3% da perda de carbono acima do solo estimada para o efeito de borda.	Efeitos de borda redistribuem carbono entre biomassa, necromassa e solo; portanto, aumento local no solo não representa ganho líquido do ecossistema.
7	2017	Respostas da matéria orgânica do solo à perturbação florestal antrópica e à mudança de uso da terra na Amazônia brasileira oriental	Durigan *et al.*	Floresta, pastagem e agricultura na Amazônia oriental	Carbono, nitrogênio e frações da matéria orgânica	Isótopos e fracionamento físico	Exploração seletiva e fogo reduziram estoques de C e N do solo; pastagens de longo prazo não mostraram redução detectável desses estoques, ao contrário das lavouras. O uso da terra também alterou a qualidade da matéria orgânica.	Respostas do carbono edáfico dependem do tipo e da intensidade da perturbação; estabilidade do estoque não implica manutenção da origem ou da qualidade da matéria orgânica.
8	2019	Modelagem do estoque de carbono e dos serviços ecossistêmicos de sequestro de carbono para o desenho de políticas: uma abordagem abrangente utilizando um modelo dinâmico de vegetação	Quijas *et al.*	Amazônia brasileira, México e Bolívia	Biomassa, solo, liteira e respiração	Modelo dinâmico de vegetação	A modelagem comparou abordagens parciais e abrangentes de contabilização do carbono, incluindo solo, liteira e respiração heterotrófica, em cenários que contemplaram explicitamente a Amazônia brasileira.	Contribuição metodológica multirregional; nesta revisão, foi considerada por incluir explicitamente a Amazônia brasileira e por demonstrar como a escolha dos compartimentos altera estimativas de estoque e sequestro de carbono.
9	2021	Comparação da curva-chave de sedimentos e da produção de sedimentos em sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Amazônia Oriental	Silva; Cavalcante; Souza Filho; Silva Júnior; Pontes; Dallagnol; Rocha	Sub-bacias do rio Itacaiúnas, PA	Vazão, concentração e descarga de sedimentos suspensos	Curvas-chave de sedimento e regressões	O período chuvoso respondeu por 93% da descarga líquida e 98% da descarga de sedimentos em suspensão na foz da bacia.	A sazonalidade da chuva concentra o transporte sedimentar, enquanto desmatamento e novas fontes de sedimento ajudam a explicar diferenças entre sub-bacias.
10	2022	Avaliação do estoque de carbono de pastagens cultivadas em Rondônia, sudoeste da Amazônia brasileira	Sanquetta; Bastos; Sanquetta; Barberena; Dalla Corte; Queiroz; Almeida	Pastagens cultivadas em Rondônia	Biomassa e carbono em componentes da pastagem	Parcelas de campo e análises laboratoriais	O estoque total médio foi 5,17 Mg C ha^{-1}; a conversão de floresta primária para pastagem foi associada a perda estimada de 192,54 Mg C ha^{-1}.	Pastagens retêm pequena parcela do carbono originalmente armazenado pela floresta, evidenciando o custo de carbono da conversão de uso da terra.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

ID	Ano	Título do estudo	Autores principais	Área / ambiente	Variáveis analisadas	Métodos utilizados	Principais achados científicos	Interpretação técnica integrativa
11	2022	Atribuição das fontes de elementos químicos e seus valores de linha de base geoquímica em águas superficiais da bacia do rio Parauapebas, sudeste da Amazônia, Brasil	Quaresma; Silva; Sahoo; Salomão; Dall'Agnol	Bacia do rio Parauapebas, PA	Elementos químicos, turbidez e referência geoquímica	PCA e estabelecimento de baseline geoquímico	A sazonalidade influenciou turbidez, sólidos e concentrações de elementos nas águas superficiais.	O regime de chuvas altera turbidez e transporte geoquímico em uma bacia mineralizada e submetida a múltiplas pressões de uso e ocupação do solo.
12	2022	Migração acelerada de manguezais indica intrusão salina em larga escala em áreas úmidas costeiras amazônicas	Visschers; Santos; Franco	Zonas úmidas costeiras do Amapá	Salinidade inferida, migração de manguezais e cobertura vegetal	Série temporal Landsat e sensoriamento remoto	Em 38 anos, os manguezais apresentaram ganho líquido de área e expansão sistemática para o interior, padrão compatível com intrusão salina em larga escala na costa do Amapá.	A migração costeira altera a posição dos ambientes deposicionais e pode repercutir sobre estoques de carbono associados a manguezais.
13	2023	Distribuição espacial de florestas secundárias por classe etária e acúmulo de biomassa na Amazônia brasileira	Silva; Adami; Galbraith; Nascimento; Wang; Shimabukuro; Emmert	Pará, Amazônia brasileira	Idade de florestas secundárias e biomassa aérea	TerraClass, sensoriamento remoto e estimativas de biomassa	A distribuição espacial e a idade das florestas secundárias condicionam o potencial de acumulação de biomassa em áreas anteriormente desmatadas.	A regeneração contribui para recuperação de carbono, mas seu efeito depende da permanência e do estágio sucessional.
14	2025	Dinâmica de vazão de rios amazônicos segundo sua heterogeneidade hidrogeoquímica	Zanin; Cavalcante; Marinho; Pontes	Bacias Amazônica e Tocantins-Araguaia	Vazão, baseflow, indicadores Q5-Q95 e classes hidrogeoquímicas	Séries fluviométricas e classificação hidrogeoquímica	Tipos hidrogeoquímicos apresentaram respostas hidrológicas distintas; precipitação e características fisiográficas controlaram padrões de vazão e baseflow.	O estudo não quantifica exportação de carbono ou sedimentos; sua contribuição é demonstrar controles hidrológicos que condicionam esses transportes.

Fonte: autoria própria, com base nos 14 estudos incluídos na síntese qualitativa. Títulos traduzidos para o português pelos autores. Os estudos 4 e 14 foram mantidos como evidências mecanísticas indiretas, conforme os critérios de elegibilidade; o estudo 8 incluiu explicitamente a Amazônia brasileira em análise multirregional.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

4 DISCUSSÃO

4.1 HIDROLOGIA, TRANSPORTE SEDIMENTAR E CONECTIVIDADE FLUVIAL

Entre os 14 estudos, o sinal mais consistente aparece na hidrologia. No rio Acre (ID 1, Quadro 1), as formas dissolvidas de carbono acompanharam a sazonalidade; no Itacaiúnas (ID 9, Quadro 1), a estação chuvosa concentrou 93% da descarga líquida e 98% da descarga de sedimentos em suspensão; no Parauapebas (ID 11, Quadro 1), turbidez, sólidos e elementos em águas superficiais variaram com o regime de chuvas. Embora mensurem respostas distintas, esses estudos convergem ao mostrar que chuva e vazão reorganizam diluição, mobilização de partículas e conectividade entre vertentes, canais e áreas de deposição.

Essa leitura é consistente com Zanin *et al.* (2025), que demonstraram respostas hidrológicas distintas entre classes hidrogeoquímicas de rios amazônicos sob diferentes controles climáticos e fisiográficos. A comparação reforça que precipitação acumulada ou vazão média, tomadas isoladamente, podem ocultar diferenças de baseflow, pico de cheia e disponibilidade de material, variáveis que condicionam quanto é transportado e onde ocorre deposição.

4.2 COBERTURA VEGETAL, USO DA TERRA E ESTOQUES DE CARBONO

Vegetação e solo respondem de modo menos uniforme. Os estudos do corpus sobre florestas modificadas, efeitos de borda, matéria orgânica do solo, pastagens e florestas secundárias (IDs 5, 6, 7, 10 e 13; Quadro 1) mostram que a perturbação redistribui carbono entre biomassa, necromassa e solo; efeitos de borda podem elevar localmente o carbono edáfico sem representar ganho líquido do ecossistema; exploração seletiva, fogo e conversão do uso da terra modificam frações da matéria orgânica; pastagens armazenam muito menos carbono total do que a floresta de referência; e florestas secundárias recuperam biomassa segundo idade, localização e permanência. O conjunto impede uma leitura simplista de perda uniforme em todos os compartimentos e mostra que a direção da resposta depende do estoque considerado e da história de perturbação.

Avaliações recentes em escala amazônica reforçam essa heterogeneidade. A reconstrução de mudanças anuais de carbono acima do solo entre 2010 e 2020 indicou que ganhos em florestas intactas e secundárias foram superados por perdas associadas a desmatamento, degradação e áreas agrícolas, com participação crescente de paisagens sob influência humana (Fendrich *et al.*, 2025). Ao mesmo tempo, a síntese sobre florestas secundárias mostra que o benefício climático dessas formações depende de permanência, idade e exposição a novos distúrbios, o que impede equiparar regeneração e conservação de floresta madura em horizontes temporais curtos (Baker *et al.*, 2025). Para a leitura carbono-sedimentos, isso significa que restauração da cobertura pode reduzir exposição do solo e recuperar biomassa, mas o ritmo de recomposição não é necessariamente sincronizado entre carbono aéreo, carbono edáfico e estabilidade física da superfície.

4.3 ÁREAS ÚMIDAS, RESERVATÓRIOS E ZONAS COSTEIRAS

Nas áreas úmidas e costeiras, o regime de inundação define duração da saturação, condições redox, conectividade com os canais e oportunidades de deposição. No corpus, a síntese sobre wetlands amazônicas apontou sensibilidade a

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

mudanças de precipitação e nível do mar, enquanto o estudo costeiro do Amapá registrou expansão de manguezais para o interior associada à intrusão salina. Projeções recentes indicam que mudanças climáticas podem alterar extensão e sazonalidade das áreas alagadas na bacia, afetando tempo de residência da água e ambientes de processamento biogeoquímico (Gedney; Rudorff; Betts, 2024). Em manguezais amazônicos, interações organominerais mediadas por ferro estabilizam parte do carbono do solo, mas essa proteção é sensível à mudança de uso e às condições redox, conectando hidrologia, mineralogia e persistência do carbono sedimentar (Ruiz *et al.*, 2024).

Reservatórios não foram representados entre os 14 estudos incluídos, mas evidência recente da Amazônia oriental ajuda a delimitar esse componente do problema. No sistema de Belo Monte, flutuações operacionais do nível d'água estiveram associadas a mudanças nos fluxos de metano, enquanto o dióxido de carbono respondeu principalmente à sazonalidade hidrológica (Araújo *et al.*, 2024). O resultado não deve ser extrapolado para outros barramentos, mas mostra que a regulação artificial do nível da água pode introduzir controles adicionais sobre emissões gasosas em sistemas amazônicos.

4.4 INTEGRAÇÃO MULTICOMPARTIMENTAL, ESCALA TEMPORAL E LACUNAS

Outros componentes do corpus ampliam a leitura para trajetórias menos diretamente representadas pelo transporte fluvial. Os estudos de deposição atmosférica, modelagem de estoque e sequestro e registros sedimentares de longa duração (IDs 2, 4 e 8; Quadro 1) mostram, respectivamente, que a química da chuva e da água que atravessa o dossel constitui uma via atmosférica de transferência de matéria; que biomassa, solo, liteira e respiração não podem ser reduzidos a um único compartimento; e que oscilações hidroclimáticas deixam sinais simultâneos em produtividade, erosão e composição dos depósitos. Esses trabalhos não medem o mesmo processo e não devem ser tratados como replicações, mas ajudam a explicar por que sinais observados no rio podem ter origem em transferências atmosféricas, mudanças no armazenamento terrestre ou respostas acumuladas em escalas temporais muito distintas.

A integração desses resultados exige cautela causal. Nem todo aumento de carbono no solo representa ganho do ecossistema; nem toda retenção de sedimentos implica estabilização duradoura de carbono; e nem toda resposta à chuva decorre exclusivamente do clima, pois pressões de uso da terra e intervenções sobre canais e planícies alagáveis alteram simultaneamente as fontes, os caminhos e os tempos de residência da matéria. A síntese permite separar evidência direta de inferência mecanística e reconhecer onde os mecanismos convergem: a hidrologia regula conectividade e transporte; a cobertura vegetal controla a proteção do solo e parte do armazenamento de carbono; e os ambientes deposicionais definem quanto material permanece, é remobilizado ou retorna à atmosfera.

A heterogeneidade do corpus é, portanto, simultaneamente uma força e uma limitação. Os 14 estudos diferem em escala espacial, duração, desenho amostral e variável resposta; alguns mensuram carbono diretamente, outros quantificam sedimentos ou hidroquímica, e parte deles descreve controles hidrológicos ou biogeoquímicos que condicionam esses fluxos. Não é defensável extrair desse conjunto um efeito quantitativo único nem atribuir causalidade conjunta a carbono e sedimentos em todos os ambientes. A lacuna mais consistente permanece a ausência de séries temporais que acompanhem, dentro da mesma bacia, vazão, descarga

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

sedimentar, carbono orgânico, cobertura da terra e variáveis climáticas com protocolos comparáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Precipitação e vazão condicionam a mobilização de sedimentos e parte dos fluxos de carbono, mas a magnitude e o sentido da resposta variam com a cobertura vegetal, o uso da terra e o ambiente deposicional. Pressões antrópicas alteram estoques de carbono e a disponibilidade de material erodível; áreas úmidas e manguezais controlam retenção, transformação e remobilização. O corpus não sustenta uma resposta única para toda a Amazônia nem equivalência entre compartimentos.

A prioridade de pesquisa é construir séries temporais integradas, na mesma bacia, de vazão, descarga sedimentar, carbono orgânico, cobertura vegetal e clima. Esse desenho permitiria separar com maior segurança os efeitos hidroclimáticos daqueles associados ao uso da terra e produzir evidência mais robusta para conservação e restauração de bacias.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Kleiton R. de *et al.* Operational effects on aquatic carbon dioxide and methane emissions from the Belo Monte hydropower plant in the Xingu River, eastern Amazonia. **Science of the Total Environment**, v. 946, 174100, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174100. Acesso em: 16 set. 2026.

BAKER, Jessica C. A. *et al.* Climate benefits of Amazon secondary forests—recent advances and research needs. **Environmental Research Letters**, v. 20, n. 4, 043001, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1748-9326/adb984. Acesso em: 16 set. 2026.

BARROS, Daniela de França; ALBERNAZ, Ana Luiza Kerti Mangabeira. Possible impacts of climate change on wetlands and its biota in the Brazilian Amazon. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 4, p. 810-820, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1519-6984.04013. Acesso em: 16 set. 2026.

BARROS, Henrique S.; FEARNSIDE, Philip M. Soil carbon stock changes due to edge effects in central Amazon forest fragments. **Forest Ecology and Management**, v. 379, p. 30-36, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.002. Acesso em: 16 set. 2026.

BERENGUER, Erika *et al.* Developing cost-effective field assessments of carbon stocks in human-modified tropical forests. **PLOS ONE**, v. 10, n. 8, e0133139, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133139. Acesso em: 16 set. 2026.

BERNARDINO, Angelo F. *et al.* The inclusion of Amazon mangroves in Brazil's REDD+ program. **Nature Communications**, v. 15, 1549, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41467-024-45459-w. Acesso em: 16 set. 2026.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

CORDEIRO, Renato Campello *et al.* Biogeochemical indicators of environmental changes from 50 ka to 10 ka in a humid region of the Brazilian Amazon. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 299, n. 3-4, p. 426-436, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.11.021. Acesso em: 16 set. 2026.

CUI, Jiangpeng *et al.* Historical deforestation drives strong rainfall decline across the southern Amazon basin. **Nature Communications**, v. 17, 1642, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41467-026-68361-z. Acesso em: 16 set. 2026.

DURIGAN, Mariana Regina *et al.* Soil organic matter responses to anthropogenic forest disturbance and land use change in the Eastern Brazilian Amazon. **Sustainability**, v. 9, n. 3, 379, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su9030379. Acesso em: 16 set. 2026.

FENDRICH, Arthur *et al.* Human influence on Amazon's aboveground carbon dynamics intensified over the last decade. **Nature Communications**, v. 16, 6681, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41467-025-61856-1. Acesso em: 16 set. 2026.

FENG, Dongyu *et al.* Drivers and impacts of sediment deposition in Amazonian floodplains. **Nature Communications**, v. 16, 3148, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41467-025-57495-1. Acesso em: 16 set. 2026.

FLORES, Bernardo M. *et al.* Critical transitions in the Amazon forest system. **Nature**, v. 626, p. 555-564, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41586-023-06970-0. Acesso em: 16 set. 2026.

FRANCO, Marco A. *et al.* How climate change and deforestation interact in the transformation of the Amazon rainforest. **Nature Communications**, v. 16, 7944, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41467-025-63156-0. Acesso em: 16 set. 2026.

GEDNEY, Nic; RUDORFF, Conrado; BETTS, Richard A. Future Amazon Basin wetland hydrology under projected climate change. **PLOS Water**, v. 3, n. 9, e0000225, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000225. Acesso em: 16 set. 2026.

LIU, Junjie *et al.* Enhanced carbon flux response to atmospheric aridity and water storage deficit during the 2015-2016 El Niño compromised carbon balance recovery in tropical South America. **AGU Advances**, v. 5, n. 4, e2024AV001187, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1029/2024AV001187. Acesso em: 16 set. 2026.

LIVOREIL, Barbara *et al.* Systematic searching for environmental evidence using multiple tools and sources. **Environmental Evidence**, v. 6, 23, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s13750-017-0099-6. Acesso em: 16 set. 2026.

OLIVEIRA JUNIOR, Raimundo Cosme de *et al.* Chemical analysis of rainfall and throughfall in the Tapajós National Forest, Belterra, Pará, Brazil. **Revista Ambiente**

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

& Água, v. 10, n. 2, p. 263-285, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1552. Acesso em: 16 set. 2026.

OUZZANI, Mourad *et al.* Rayyan: a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 5, 210, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4. Acesso em: 16 set. 2026.

PAGE, Matthew J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, art. n71, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1136/bmj.n71. Acesso em: 16 set. 2026.

QIN, Yingzuo *et al.* Impact of Amazonian deforestation on precipitation reverses between seasons. **Nature**, v. 639, p. 102-108, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41586-024-08570-y. Acesso em: 16 set. 2026.

QUARESMA, Leandro Silva *et al.* Source apportionment of chemical elements and their geochemical baseline values in surface water of the Parauapebas River Basin, Southeast Amazon, Brazil. **Minerals**, v. 12, n. 12, 1579, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/min12121579. Acesso em: 16 set. 2026.

QUIJAS, Sandra *et al.* Modelling carbon stock and carbon sequestration ecosystem services for policy design: a comprehensive approach using a dynamic vegetation model. **Ecosystems and People**, v. 15, n. 1, p. 42-60, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1080/26395908.2018.1542413. Acesso em: 16 set. 2026.

ROSAN, Thais M. *et al.* Synthesis of the land carbon fluxes of the Amazon region between 2010 and 2020. **Communications Earth & Environment**, v. 5, 46, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s43247-024-01205-0. Acesso em: 16 set. 2026.

RUIZ, Francisco *et al.* Iron's role in soil organic carbon (de)stabilization in mangroves under land use change. **Nature Communications**, v. 15, 10433, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41467-024-54447-z. Acesso em: 16 set. 2026.

SANQUETTA, Carlos Roberto *et al.* Assessing the carbon stock of cultivated pastures in Rondônia, southwestern Brazilian Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, n. 4, e20210262, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0001-3765202220210262. Acesso em: 16 set. 2026.

SILVA, Gabriel M. da *et al.* Spatial distribution of secondary forests by age group and biomass accumulation in the Brazilian Amazon. **Forests**, v. 14, n. 5, 924, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/f14050924. Acesso em: 16 set. 2026.

SILVA, Marcio Sousa da *et al.* Comparison of sediment rating curves and sediment yield in subbasins of the Itacaiúnas River Watershed, Eastern Amazon. **RBRH**, v. 26, e18, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1590/2318-0331.2621202100009. Acesso em: 16 set. 2026.

Jan-Dez/2026, v1., n.9
e-ISSN: **2675-2956**
DOI: https://doi.org/10.65573/rescx.v1n9.0041

SOUSA, Eliete dos Santos *et al.* Dissolved carbon in an urban area of a river in the Brazilian Amazon. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1-3, p. 159-170, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10533-011-9613-z. Acesso em: 16 set. 2026.

VISSCHERS, Lola L. B.; SANTOS, Carlos D.; FRANCO, Aldina M. A. Accelerated migration of mangroves indicate large-scale saltwater intrusion in Amazon coastal wetlands. **Science of the Total Environment**, v. 836, 155679, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155679. Acesso em: 16 set. 2026.

ZANIN, Paulo Rodrigo *et al.* Streamflow dynamics of Amazonian rivers according to their hydrogeochemical heterogeneity. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 59, 102316, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102316. Acesso em: 16 set. 2026.