

Solos e emissões de CO₂: perspectivas sobre o surgimento do AntropocenoSoils and CO₂ emissions: perspectives on the emergence of the AnthropoceneSuelos y emisiones de CO₂: perspectivas sobre el surgimiento del AntropocenoGabriel de La Rocque Rodriguez de Miranda¹Jenifer Santana Carneiro²Madalena de Mello e Silva³*Recebido em 7 de outubro de 2025.**Aprovado em 2 de julho de 2026.***RESUMO**

Este artigo analisa a formação do solo, a ciclagem do dióxido de carbono (CO₂), as mudanças climáticas, a perda de biodiversidade e a relação dessas dinâmicas com o surgimento do Antropoceno. O estudo tem como objetivo verificar, por meio de revisão de literatura, as influências antrópicas nas mudanças climáticas e compreender a relação entre a formação do solo e a ciclagem do CO₂, considerando a troca contínua desse gás entre o substrato e a atmosfera e seu papel na regulação do clima global. Discute-se, ainda, a contribuição de atividades como a agricultura e as queimadas para o aumento das emissões de CO₂ e de outros gases associados ao aquecimento global. A pesquisa foi conduzida com base na análise de artigos científicos indexados em bases acadêmicas, com ênfase em publicações entre 2000 e 2024, a partir dos descritores “Mudanças Climáticas”, “Dióxido de Carbono”, “processos de formação dos solos” e “Antropoceno”. O conceito de Antropoceno é abordado como marco interpretativo das transformações ambientais induzidas pelas atividades humanas, evidenciadas pelo aumento da temperatura média global, pela intensificação de eventos climáticos extremos e pela degradação da biodiversidade. No contexto das mudanças climáticas, destacam-se os gases de efeito estufa (GEE), conhecidos internacionalmente como greenhouse gases (GHG), definidos como gases atmosféricos capazes de absorver e reemitir radiação infravermelha, contribuindo para o aquecimento do planeta. A mitigação desses processos requer a redução das emissões de GEE, a adoção de medidas de adaptação, a conservação da cobertura vegetal e a implementação de políticas públicas orientadas à sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Atributos do solo. Emissão de gases. Uso da terra.

¹ Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Veiga de Almeida. Mestrando em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical) pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. E-mail: delarocquegabriel@gmail.com. ORCID: 0000-0001-8291-7485.

² Mestre em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical) pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Doutorando em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical) pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. E-mail: jenifer.carneiro@edu.unirio.br. ORCID: 0000-0002-1337-2474.

³ Mestre Profissional em Ensino em Biociências e Saúde pela Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Doutora em Educação em Biociências e Saúde pela Fundação Oswaldo Cruz, FIOCRUZ, Brasil. E-mail: madalenamello77@gmail.com. ORCID: 0000-0003-4326-3129.

³ Mestre Profissional em Ensino em Biociências e Saúde pela Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Doutora em Educação em Biociências e Saúde pela Fundação Oswaldo Cruz, FIOCRUZ, Brasil. E-mail: madalenamello77@gmail.com. ORCID: 0000-0003-4326-3129.

ABSTRACT

This article analyzes soil formation, carbon dioxide (CO₂) cycling, climate change, biodiversity loss, and the relationship of these dynamics to the emergence of the Anthropocene. The study aims to verify, through a literature review, the anthropogenic influences on climate change and to understand the relationship between soil formation and CO₂ cycling, considering the continuous exchange of this gas between the substrate and the atmosphere and its role in regulating the global climate. The contribution of activities such as agriculture and wildfires to the increase in CO₂ emissions and other gases associated with global warming is also discussed. The research was conducted based on the analysis of scientific articles indexed in academic databases, with an emphasis on publications between 2000 and 2024, using the descriptors “Climate Change,” “Carbon Dioxide,” “soil formation processes” and “Anthropocene.” The concept of the Anthropocene is approached as an interpretative framework for environmental transformations induced by human activities, evidenced by the increase in average global temperature, the intensification of extreme weather events, and the degradation of biodiversity. In the context of climate change, greenhouse gases (GHG) stand out, defined as atmospheric gases capable of absorbing and re-emitting infrared radiation, contributing to global warming. Mitigating these processes requires reducing GHG emissions, adopting adaptation measures, conserving vegetation cover, and implementing public policies geared towards environmental sustainability.

Keywords: Soil attributes. Gas emissions. Land use.

RESUMEN

Este artículo analiza la formación del suelo, el ciclo del dióxido de carbono (CO₂), el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la relación de estas dinámicas con el surgimiento del Antropoceno. El estudio tiene como objetivo verificar, mediante una revisión de la literatura, las influencias antrópicas sobre el cambio climático y comprender la relación entre la formación del suelo y el ciclo del CO₂, considerando el intercambio continuo de este gas entre el sustrato y la atmósfera y su papel en la regulación del clima global. Asimismo, se analiza la contribución de actividades como la agricultura y las quemas al aumento de las emisiones de CO₂ y de otros gases asociados al calentamiento global. La investigación se llevó a cabo a partir del análisis de artículos científicos indexados en bases de datos académicas, con énfasis en publicaciones entre 2000 y 2024, utilizando los descriptores “Cambio Climático”, “Dióxido de Carbono”, “procesos de formación de los suelos” y “Antropoceno”. El concepto de Antropoceno se aborda como un marco interpretativo de las transformaciones ambientales inducidas por las actividades humanas, evidenciadas por el aumento de la temperatura media global, la intensificación de los fenómenos climáticos extremos y la degradación de la biodiversidad. En el contexto del cambio climático, destacan los gases de efecto invernadero (GEI), conocidos internacionalmente como greenhouse gases (GHG), definidos como gases atmosféricos capaces de absorber y reemitir radiación infrarroja, contribuyendo al calentamiento del planeta. La mitigación de estos procesos requiere la reducción de las emisiones de GEI, la adopción de medidas de adaptación, la conservación de la cobertura vegetal y la implementación de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Atributos del suelo. Emisión de gases. Uso de la tierra.

INTRODUÇÃO

Os solos estão presentes em grande parte das paisagens terrestres e constituem um recurso natural fundamental na porção superficial da Terra (Coelho *et al.*, 2013). Sua formação resulta da interação dinâmica entre fatores como material de origem, clima, relevo, organismos e tempo, cuja atuação combinada promove processos pedogenéticos que se manifestam com diferentes intensidades ao longo da paisagem (Pereira *et al.*, 2019).

Na literatura científica, as definições de solo variam conforme suas propriedades e usos; neste trabalho, compreende-se o solo como uma coleção de dinâmicas que contém matéria viva, resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação ocorre ao longo do tempo sob influência do relevo (Silva, 2011, p. 93). Nessa perspectiva, o solo participa ativamente de processos ambientais essenciais, entre os quais se destacam os ciclos biogeoquímicos da água, do fósforo, do nitrogênio e, especialmente, do carbono (Silva *et al.*, 2021).

A formação do solo, denominada pedogênese, envolve processos de decomposição, transporte e deposição de materiais derivados da rocha matriz, conduzidos por agentes transformadores como o intemperismo (Antunes *et al.*, 2015). Contudo, as intervenções antrópicas têm modificado de forma significativa esses processos naturais, alterando a dinâmica de formação e funcionamento dos solos. Entre as principais ações humanas que incidem sobre o sistema terrestre destacam-se o desmatamento, as queimadas e a expansão agrícola, práticas que contribuem para a liberação de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera e para a intensificação das mudanças climáticas globais (Oliveira *et al.*, 2025). A remoção da cobertura vegetal, além de fragmentar habitats naturais, reduz a capacidade de sequestro de carbono e pode transformar o solo exposto em um sistema potencialmente emissor de carbono, configurando um componente ativo na dinâmica climática contemporânea (Barbosa, 2017).

Diante desse contexto, torna-se fundamental compreender as relações entre os processos pedogenéticos, a ciclagem do carbono e as transformações ambientais associadas às atividades humanas. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo analisar, por meio de revisão da literatura, a relação entre a formação do solo, a dinâmica do CO₂, a perda de biodiversidade e as mudanças climáticas, interpretando essas interações à luz do debate científico sobre o Antropoceno. Parte-se do pressuposto de que as transformações no ciclo do carbono mediadas pelo solo e intensificadas pelo uso antrópico da terra constituem evidências da reorganização do Sistema Terra, característica central das discussões contemporâneas sobre a emergência de uma nova época geológica marcada pela influência humana.

METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica sistematizada, de natureza exploratória e abordagem qualitativa, conduzida com o objetivo de assegurar

maior rigor metodológico, transparência e reprodutibilidade no processo de seleção e análise da literatura científica. Segundo Silva *et al.* (2021), a pesquisa bibliográfica com enfoque qualitativo busca problematizar, questionar e articular conhecimentos prévios com novos, promovendo o desenvolvimento de ideias específicas e reflexivas. Nesse sentido, adotou-se uma estratégia estruturada de busca, com definição prévia de descritores, critérios explícitos de inclusão e exclusão e etapas claras de triagem, elegibilidade e análise dos estudos selecionados.

As buscas foram realizadas entre março e junho de 2024 nas bases Google Scholar (Google Acadêmico) e Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A escolha dessas bases justifica-se por sua ampla cobertura multidisciplinar, relevância para as ciências ambientais e acesso à produção científica nacional e internacional revisada por pares, permitindo maior abrangência e robustez na identificação dos estudos pertinentes ao tema. Utilizaram-se descritores em português e inglês, combinados por operadores booleanos, com o objetivo de ampliar o alcance da busca, reduzir vieses linguísticos, bem como incorporar contribuições do debate científico internacional. A estratégia adotada foi: (“Mudanças Climáticas” OR “Climate Change”) AND (“Dióxido de Carbono” OR “Carbon Dioxide”) AND (“Processos de formação dos solos” OR “Soil formation processes”) AND (“Antropoceno” OR “Anthropocene”). A busca foi aplicada nos campos título, resumo e palavras-chave. No Portal de Periódicos CAPES, realizou-se adicionalmente o refinamento por áreas do conhecimento, incluindo Ciências Biológicas, Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e áreas Multidisciplinares. O recorte temporal compreendeu o período de 2000 a 2024, considerando a consolidação do debate científico contemporâneo sobre mudanças climáticas e Antropoceno ao longo do século XXI.

A aplicação inicial dos descritores resultou em 38.680 registros no Google Scholar e 1.126 registros no Portal CAPES. Após a leitura dos títulos e resumos para verificação de aderência temática ao objetivo da pesquisa, foram considerados potencialmente relevantes 17.531 registros no Google Scholar e 360 no Portal CAPES. Esses estudos foram, então, submetidos a uma etapa de triagem mais criteriosa, com base nos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Foram incluídos artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares, no período de 2000 a 2024, redigidos em português e inglês, que abordassem de forma integrada ao menos dois dos seguintes eixos temáticos: ciclo do carbono com ênfase nos fluxos de CO₂, processos pedogenéticos e dinâmica do

solo, mudanças climáticas e discussão conceitual ou científica sobre o Antropoceno. Foram excluídos artigos de opinião, textos jornalísticos, ensaios sem metodologia explícita, revisões narrativas sem critérios definidos, capítulos de livros, anais de eventos, patentes e documentos técnicos sem avaliação por pares, bem como estudos que mencionaram os descritores de forma periférica, sem articulação efetiva entre solo, carbono e mudanças climáticas.

Os estudos potencialmente relevantes foram submetidos à leitura íntegra para verificação dos critérios estabelecidos. Ao final do processo de elegibilidade, 32 artigos atenderam plenamente às exigências metodológicas e compuseram o corpus final da análise, sendo 17 provenientes do Google Scholar e 15 do Portal CAPES. Esses quantitativos correspondem a 0,044% dos registros inicialmente identificados no Google Scholar e 1,70% no Portal CAPES, evidenciando o rigor dos critérios de seleção adotados.

A análise dos estudos selecionados foi conduzida por meio de leitura analítica e comparativa, com identificação de convergências teóricas, categorias conceituais recorrentes e relações entre processos pedogenéticos, dinâmica do carbono e mudanças climáticas. Os resultados foram organizados de forma interpretativa em eixos temáticos inter-relacionados, permitindo integrar fundamentos biofísicos e discussões conceituais sobre o papel do solo nos fluxos de carbono e nas transformações contemporâneas do sistema climático. Essa abordagem possibilitou a construção de uma síntese teórica coerente com os objetivos do estudo, evidenciando o solo como componente central na compreensão das mudanças ambientais associadas ao Antropoceno.

Tabela 1. Número de registros recuperados nas bases Portal de Periódicos da CAPES e Google Acadêmico no período de 2000 a 2024, com base nas palavras-chave utilizadas na pesquisa

Palavras-chave	Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)	Google Acadêmico
“Mudanças Climáticas” OR “Climate Change”	208	20.600
“Dióxido de Carbono” OR “Carbon Dioxide”	661	2.980
“Antropoceno” OR “Anthropocene”	4	15.100
“Processo de formação dos Solos” OR “Soil formation processes”	253	37
TOTAL	1.126	38.717

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

A distribuição dos registros recuperados nas buscas realizadas entre 2000 e 2024 nas bases Portal de Periódicos CAPES e Google Acadêmico, a partir dos descritores definidos na estratégia de busca, está apresentada na Tabela 1. Observa-se que a palavra-chave “Mudanças Climáticas” concentrou o maior número de ocorrências, evidenciando a amplitude e a consolidação desse campo na produção científica contemporânea.

Apesar do elevado volume inicial de registros, a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão permitiu refinar o conjunto de estudos para 32 artigos, garantindo aderência temática e consistência metodológica do corpus analisado. A distribuição dos resultados também revela diferenças de cobertura entre as bases, como no caso do descritor “Processo de formação dos Solos”, que apresentou menor número de registros no Google Acadêmico em comparação ao Portal CAPES, e do termo “Antropoceno”, cuja presença se mostrou bastante inferior no Portal CAPES em comparação ao Google Acadêmico. Esses resultados reforçam a importância de procedimentos rigorosos de triagem para assegurar a pertinência e a qualidade científica dos estudos incluídos, contribuindo para uma análise mais robusta das relações entre carbono, mudanças climáticas e Antropoceno.

DESENVOLVIMENTO

Carbono e mudanças climáticas

O carbono constitui elemento fundamental para o funcionamento do sistema climático terrestre, participando de processos biofísicos essenciais à manutenção da vida e ao equilíbrio energético do planeta (Friedlingstein *et al.*, 2023). Na atmosfera, sua principal forma é o dióxido de carbono (CO₂), gás de efeito estufa capaz de absorver e reemitir radiação infravermelha, contribuindo para a regulação térmica da Terra (Junges *et al.*, 2018). Embora o efeito estufa seja um fenômeno natural essencial à habitabilidade do planeta, o aumento antrópico das concentrações atmosféricas de CO₂ tem intensificado o aquecimento global e gerado alterações significativas no sistema climático (Schimel *et al.*, 2016).

Conforme discutido por Junges *et al.* (2018), o efeito estufa mantém a temperatura média do planeta em níveis compatíveis com a vida ao reter parte da energia proveniente do Sol. Contudo, o aumento das concentrações de gases de efeito estufa decorrente das atividades humanas tem alterado o balanço energético da atmosfera, promovendo maior

retenção de calor e contribuindo para a elevação da temperatura média global (Ayoub *et al.*, 2024). Entre os gases associados a esse processo destacam-se o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), cuja intensificação está diretamente relacionada às transformações no uso da terra, à queima de combustíveis fósseis e às atividades produtivas contemporâneas (Hansen *et al.*, 2007).

Nesse sentido, a elevação persistente das concentrações atmosféricas de CO₂ passou a ser compreendida, no debate científico contemporâneo, como uma evidência da crescente influência humana sobre o Sistema Terra (Santos, 2018). Assim, as mudanças climáticas associadas à ação humana configuram não apenas um fenômeno ambiental, mas uma expressão sistêmica da reorganização das relações entre sociedade e natureza.

Redin *et al.* (2011) destacam que práticas como desmatamento e expansão agrícola intensificadas ao longo da história, sobretudo após a Revolução Industrial, contribuíram para a alteração dos ciclos biogeoquímicos globais. Evidências dessas transformações podem ser observadas em registros paleoclimáticos, como os testemunhos de gelo, que permitem reconstruir variações históricas da composição atmosférica e das temperaturas globais (Silva *et al.*, 2018a; Pereira, 2019). Esses registros preservam informações sobre concentrações de gases, partículas e poluentes ao longo do tempo, evidenciando o aumento recente das interferências humanas nos sistemas naturais.

O aquecimento global decorrente dessas transformações tem produzido impactos ambientais amplos, incluindo alterações nos regimes de precipitação, derretimento de geleiras, elevação do nível do mar, perda de biodiversidade e intensificação de eventos climáticos extremos (Nunes *et al.*, 2017). Nesse contexto, a compreensão das mudanças climáticas exige a análise integrada dos reservatórios globais de carbono, entre os quais o solo ocupa posição estratégica na regulação das concentrações atmosféricas de CO₂. Dessa forma, as alterações nas concentrações atmosféricas de carbono não representam apenas variações ambientais isoladas, mas constituem evidências da crescente influência antrópica sobre o sistema climático global, configurando um dos principais marcadores das transformações associadas ao Antropoceno.

Processo pedogênico e ciclo do carbono

Segundo Smith *et al.* (2020), o solo representa um componente essencial do sistema terrestre, atuando como importante reservatório de carbono e desempenhando papel central na regulação do clima. A formação dos solos resulta da ação conjunta de processos físicos,

químicos e biológicos sobre o material de origem, sob influência do clima, do relevo, do tempo e dos organismos (Pereira *et al.*, 2019).

Ao longo do tempo geológico, as rochas sofrem desgaste por intemperismo físico e químico, processos que promovem sua fragmentação e transformação mineralógica. A ação da água, do oxigênio e do dióxido de carbono contribui para a decomposição e reorganização dos materiais, dando origem ao solo como sistema dinâmico (Toledo *et al.*, 2014). Esse conjunto de transformações, denominado pedogênese, resulta na formação de horizontes edáficos que constituem ambiente propício ao desenvolvimento da cobertura vegetal (Lepsch, 2010). Nesse contexto, a vegetação desempenha papel fundamental no ciclo do carbono ao retirar CO₂ da atmosfera por meio da fotossíntese e transferi-lo ao solo na forma de matéria orgânica (Friedlingstein *et al.*, 2023). Parte desse carbono é estabilizada no sistema edáfico, enquanto outra parcela retorna à atmosfera por meio da respiração biológica, configurando um fluxo contínuo entre biosfera e atmosfera (Buckeridge; Aidar, 2002). Dessa forma, o solo atua simultaneamente como reservatório e fonte potencial de carbono, dependendo das condições ambientais e das formas de uso da terra.

A presença do carbono no solo está diretamente relacionada aos processos biológicos que sustentam a vida, incluindo a fotossíntese e a ciclagem de nutrientes (Machado, 2005; Lopes, 2017). Assim, o equilíbrio do ciclo do carbono depende da manutenção da integridade dos sistemas naturais, sendo fortemente influenciado pelas intervenções humanas sobre a cobertura vegetal e o uso do solo. Sob uma perspectiva analítica contemporânea, o solo pode ser compreendido como registro material das transformações ambientais induzidas pela ação humana, evidenciando modificações nos fluxos de carbono, na estrutura dos ecossistemas e no funcionamento dos sistemas terrestres (Alves *et al.*, 2024).

Transformações antrópicas e alterações dos sistemas naturais

A influência humana sobre o ambiente intensificou-se significativamente a partir da Revolução Industrial, período marcado pela expansão do uso de combustíveis fósseis, pelo crescimento populacional e pela ampliação das atividades produtivas (Machado, 2005). Essas transformações ocasionaram alterações profundas na paisagem terrestre, especialmente por meio do desmatamento e da expansão agrícola, processos que reduziram a capacidade dos ecossistemas de armazenar carbono (Foley *et al.*, 2005).

A conversão de áreas naturais em sistemas produtivos modifica propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, reduzindo estoques de matéria orgânica e comprometendo funções ecológicas essenciais (Capeche, 2012). Além disso, a intensificação das atividades agrícolas, associada ao uso de fertilizantes e pesticidas, pode gerar impactos ambientais adicionais, afetando sistemas terrestres e aquáticos e interferindo nos ciclos biogeoquímicos (Spadotto; Spadotto, 2006; Nunes *et al.*, 2017).

O desmatamento e as queimadas destacam-se entre os principais fatores responsáveis pela liberação de grandes quantidades de CO₂ para a atmosfera (Buckeridge *et al.*, 2007; Barbosa, 2017). Essas transformações reduzem o potencial de sequestro de carbono pelos ecossistemas e contribuem para o aumento das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (Alves *et al.*, 2024). Nesse cenário, as mudanças no uso e cobertura da terra configuram um dos principais vetores contemporâneos de alteração do sistema climático global.

O crescimento populacional e a expansão das atividades humanas têm intensificado essas pressões ambientais, promovendo transformações em escala planetária e evidenciando a interdependência entre processos sociais e naturais (Mello *et al.*, 2017). Assim, as transformações no uso e na cobertura da terra, ao alterarem os estoques de carbono do solo e os fluxos de carbono entre biosfera e atmosfera, evidenciam que o sistema edáfico atua como mediador entre atividades humanas e mudanças climáticas globais.

Para Varney *et al.* (2024), o solo não apenas responde às pressões antrópicas, mas também constitui um componente central na materialização das transformações ambientais contemporâneas. Nesse sentido, os solos representam o maior reservatório terrestre de carbono e exercem papel decisivo na regulação das trocas de carbono entre a superfície terrestre e a atmosfera sob mudanças no uso da terra, oferecendo base empírica para a interpretação das alterações no funcionamento do Sistema Terra associadas ao Antropoceno (Rockström *et al.*, 2009). Essas transformações, ao adquirirem escala planetária e deixarem registros mensuráveis nos sistemas naturais, fundamentam a interpretação científica de que a ação humana passou a constituir uma força geológica relevante.

Antropoceno e reorganização do Sistema Terra

As discussões apresentadas nas seções anteriores, especialmente aquelas relacionadas às alterações no ciclo do carbono e às transformações no uso do solo, fornecem base empírica para a compreensão do Antropoceno. As mudanças nos estoques de carbono, na dinâmica dos ecossistemas e no funcionamento dos sistemas terrestres evidenciam que a ação humana passou a atuar como uma força capaz de modificar processos naturais em escala global (Corrêa, 2025). Nesse contexto, o Antropoceno pode ser entendido como o período em que a influência humana sobre os sistemas biofísicos da Terra se tornou significativa a ponto de alterar seu funcionamento e evolução.

Embora não haja consenso quanto à sua formalização como uma nova época geológica, o conceito ganhou destaque ao extrapolar o campo das geociências e fomentar debates sobre suas causas, implicações e impactos no planeta (Ferrão, 2018). Assim, mais do que uma simples proposta cronológica, o Antropoceno constitui uma interpretação científica que busca compreender a magnitude das alterações antrópicas nos sistemas naturais como as mudanças climáticas, a perda de biodiversidade e as modificações nos ciclos biogeoquímicos, fundamentando-se em evidências materiais dessas transformações (Zalasiewicz, 2017; Zalasiewicz *et al.*, 2023).

Entre essas evidências, destacam-se a alteração nos fluxos de carbono, alteração da composição atmosférica decorrente da emissão de gases e aerossóis, a modificação dos estoques de carbono no solo e as mudanças no uso e cobertura da terra, que revelam interferências antrópicas mensuráveis nos ciclos biogeoquímicos e no funcionamento do sistema climático (Artaxo, 2014; Luz; Marçal, 2016). Assim, a proposição do Antropoceno implica reconhecer que as transformações observadas nos sistemas naturais não constituem fenômenos isolados, mas expressam mudanças estruturais no funcionamento do Sistema Terra mediadas por processos socioambientais contemporâneos (Steffen *et al.*, 2011).

O debate científico sobre o Antropoceno envolve diferentes interpretações acerca de seu início e de seus marcadores ambientais. Algumas abordagens relacionam sua origem ao desenvolvimento da agricultura e ao aumento das concentrações atmosféricas de CO₂ (Albuquerque; Souza, 2022), enquanto outras associam seu surgimento à superação de limites planetários relacionados à estabilidade ambiental (Viola; Basso, 2016; Silva; Arbilla, 2018b). Esses limites incluem alterações no clima, nos ciclos biogeoquímicos, na biodiversidade e no uso dos solos, refletindo a magnitude das transformações induzidas pelas atividades humanas (Marques, 2022).

Sob essa perspectiva, o solo assume papel central na compreensão do Antropoceno, pois registra materialmente as transformações ambientais e participa ativamente da dinâmica climática por meio do armazenamento e da liberação de carbono. Segundo Roubuste *et al.* (2022), as alterações nos estoques de carbono do solo, mudanças na cobertura vegetal e degradação dos ecossistemas evidenciam a reconfiguração do funcionamento do Sistema Terra. Além disso, o relatório do IPCC (2022) indica que a intensificação das mudanças climáticas e da perda de biodiversidade em escala global está associada a fatores como emissões de gases de efeito estufa, mudanças no uso da terra e poluição ambiental. O World Wildlife Fund (2022; 2024) aponta tendências consistentes de aumento da temperatura média global, intensificação de eventos extremos e crescimento do número de espécies ameaçadas, reforçando a compreensão de que as transformações contemporâneas refletem mudanças sistêmicas nas relações entre sociedade e natureza.

De forma complementar, os relatórios de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) documentam a ocorrência recente de alterações climáticas, bem como a contínua degradação da biodiversidade e das contribuições da natureza para a sociedade humana. Essas tendências estão associadas a fatores como as emissões de gases de efeito estufa decorrentes da queima de combustíveis fósseis, a conversão e degradação de habitats, a poluição, práticas insustentáveis e a introdução de espécies invasoras (Melo, 2023). Assim, a análise integrada das mudanças climáticas, da dinâmica do carbono e das transformações do solo evidencia que tais processos não constituem fenômenos isolados, mas expressam uma mudança estrutural no funcionamento do planeta, característica central das discussões sobre o Antropoceno (Steffen *et al.*, 2015).

Nesse contexto, estratégias de mitigação das mudanças climáticas, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e o aumento do sequestro de carbono em ecossistemas terrestres, assumem papel fundamental (Heath *et al.*, 2005). Práticas como o reflorestamento e o manejo sustentável dos solos contribuem para a fixação de carbono na biomassa e no solo, reforçando a importância dos ecossistemas como sumidouros naturais e sua relevância no enfrentamento das mudanças climáticas (Silva, 2018c). Além disso, iniciativas voltadas ao desenvolvimento sustentável, como aquelas previstas na Agenda 2030, destacam a necessidade de integrar mitigação e adaptação às mudanças climáticas, considerando seus impactos sobre a segurança alimentar, hídrica e a saúde pública.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada evidencia que as interações entre mudanças climáticas, dinâmica do carbono e processos pedogenéticos constituem elementos centrais para a compreensão das transformações ambientais contemporâneas. Os estudos revisados indicam que o solo desempenha papel estratégico tanto como reservatório quanto como fonte de carbono, influenciando diretamente o equilíbrio dos fluxos de CO₂ e, consequentemente, o funcionamento do sistema climático.

As evidências apontam que alterações no uso e cobertura da terra, associadas à intensificação das atividades humanas, têm promovido modificações significativas nos estoques de carbono do solo, contribuindo para o aumento das emissões de gases de efeito estufa. Nesse contexto, práticas de manejo sustentável e conservação dos solos emergem como estratégias fundamentais para mitigar impactos ambientais e favorecer o sequestro de carbono. Tais processos reforçam que o solo atua como elemento-chave na mediação entre atividades antrópicas e mudanças climáticas globais.

Sob essa perspectiva, o solo também se configura como registro material das transformações ambientais contemporâneas, oferecendo base empírica para a interpretação das alterações no funcionamento do Sistema Terra associadas ao Antropoceno. A integração entre abordagens ecológicas, geográficas e climáticas mostrou-se essencial para compreender a complexidade dos processos analisados, permitindo uma leitura mais ampla das relações entre solo, atmosfera e biosfera, e evidenciando a necessidade de estudos interdisciplinares que considerem múltiplas escalas espaciais e temporais.

Por fim, destaca-se que a compreensão dessas dinâmicas contribui para o avanço do debate científico sobre o Antropoceno, ao evidenciar o papel do solo como componente central na reorganização do Sistema Terra. Esses achados fornecem subsídios relevantes para a formulação de políticas públicas e estratégias de gestão voltadas à sustentabilidade dos sistemas naturais.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, U. P.; SOUZA, T. G. **Introdução ao Antropoceno**. 1. ed. Recife: NUPEEA, 2022.
- ALVES, J. R.; PELLOSO, M. F.; AMARAL, H. F. Dinâmica do carbono nos solos em sistemas agrícolas. In: AMARAL, H. F. (Org.). **Agricultura em bases agroecológica e conservacionista**, v. 2, 2024.

ANTUNES, F. S. *et al.* Solos: subsídios para estudos de geologia de engenharia. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 38, 2015.

ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? **Revista USP**, n. 103, p. 13-24, 2014.

AYOUB, J. P.; OLIVEIRA, M. R. N. de; FREITAS, F. H. de; MELLO, M. E. de. Ações antrópicas e a associação com as mudanças climáticas. **IOSR Journal of Business and Management**, v. 26, n. 12, p. 21-27, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.9790/487x-2612092127>. Acesso em: set. 2026.

BARBOSA, V. Aquecimento transforma solo florestal em “bomba climática”. **Exame**, 16 out. 2017. Disponível em: <https://exame.com/ciencia/aquecimento-transforma-solo-florestal-em-vilao-climatico/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

BUCKERIDGE, M. S.; AIDAR, M. P. M. Carbon sequestration in the rain forest: alternatives using environmentally friendly biotechnology. **Biota Neotropica**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 1-5, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1676-06032002000100002>. Acesso em: 21 abr. 2025.

BUCKERIDGE, M.; MORTARI, L. C.; MACHADO, M. R. Respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas: alterações no balanço de carbono nas plantas podem afetar o ecossistema? In: MACHADO, M. R. (Org.). **Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/59779465/2007-livrofenologia>. Acesso em: 1 set. 2024.

CAPECHE, C. L. Impactos das queimadas na qualidade do solo. In: **DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E MANEJO. Anais [...]** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012.

COELHO, M. R. *et al.* Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜMER, S. L. (Org.). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA, 2013. cap. 3, p. 45-62.

CORREIA, I. C. S. **Estoque de carbono nos ecossistemas**. Porto Alegre: CECO/DPGEO/IGEO/UFRGS, 2025.

FERRÃO, J. O Antropoceno como narrativa: uma lente útil para entender o presente e imaginar o futuro? **Biblos**, n. 3, p. 141-158, 2018.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570–574, 2005.

FRIEDLINGSTEIN, P. *et al.* Global Carbon Budget 2023. **Earth System Science Data**, v. 15, n. 12, p. 5301-5369, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>. Acesso em: set. 2026.

HANSEN, J. *et al.* Dangerous human-made interference with climate: a GISS modelE study. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 7, n. 9, p. 2287-2312, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/acp-7-2287-2007>. Acesso em: set. 2026.

HEATH, J. *et al.* Aumento do CO₂ atmosférico reduz sequestro de carbono do solo derivado das raízes. **Science**, v. 309, n. 5741, p. 1711-1713, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1110700>. Acesso em: 3 set. 2026

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for policymakers. In: PÖRTNER, H.-O. *et al.* (Org.). **Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. p. 3-33. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>. Acesso em: set. 2026.

JUNGES, A. L. *et al.* Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 5, 2018.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LOPES, A. S. **Emissões de gases de efeito estufa em cana-de-açúcar fertirrigada por gotejamento subsuperficial**. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA, 2017.

LUZ, L. M. da; MARÇAL, M. dos S. A perspectiva geográfica do Antropoceno. **Revista de Geografia**, v. 33, n. 2, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229251>. Acesso em: 21 abr. 2024.

MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422005000200026>. Acesso em: 21 abr. 2024.

MARQUES, L. O Antropoceno como aceleração do aquecimento global. **Liinc em Revista**, v. 18, n. 1, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18617/liinc.v18i1.5968>. Acesso em: 21 abr. 2026.

MELLO, L. F. de *et al.* Antropoceno, escala e território: as dimensões humanas da mudança ambiental global e suas conexões com as iniciativas do Sistema das Nações Unidas. **Textos para Discussão**, n. 4, abr. 2017. Santo André: Universidade Federal do ABC, 2017.

MELO, F. C. de. Incertezas emergentes: arte, ecologia e mudanças climáticas no tempo do Antropoceno. **MODOS: Revista de História da Arte**, v. 7, n. 1, p. 141-166, 2023.

NUNES, F. C. *et al.* **Mudanças climáticas e seus reflexos na paisagem do quaternário: primeiras reflexões.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

OLIVEIRA, O. J. de *et al.* Emissões de carbono em áreas degradadas: fatores, impactos e mitigação. **Aracê**, v. 7, n. 11, p. e9766, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/9766>. Acesso em: 22 abr. 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **World Population Prospects 2019.** 2019. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/pd/news/world-population-prospects-2019-0>. Acesso em: 21 abr. 2024.

PEREIRA, M. G. *et al.* Formação e caracterização de solos. In: TULLIO, L. (Org.). **Formação, classificação e cartografia dos solos.** Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. cap. 1, p. 1-20.

PEREIRA, V. B. **O registro paleoclimático em um testemunho de gelo do Nevado Illimani (Bolívia) e a variabilidade da precipitação no sul do Brasil.** 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

REDIN, M. *et al.* Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

ROCKSTRÖM, J. *et al.* A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472-475, 2009.

ROUBUSTE, R. R. *et al.* Climate change and the carbon market. **Iheringia - Série Botânica**, v. 77, n. 1, 2022.

SANTOS, F. D. O debate histórico e contemporâneo sobre as alterações climáticas. In: **Memórias da Academia das Ciências de Lisboa: Classe de Ciências**, t. 45. Lisboa: Academia das Ciências de Lisboa, 2018. p. 125.

SCHIMEL, D. *et al.* **Observing the carbon-climate system.** [s.l.]: [s.n.], 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1604.02106>. Acesso em: 21 abr. 2024.

SILVA, C.; ARBILLA, G. M.; SOARES, R.; MACHADO, W. A nova idade Meghalayan: o que isso significa para a nova época do Antropoceno? **Revista Virtual de Química**, 2018a.

SILVA, C. M.; ARBILLA, G. Antropoceno: os desafios de um novo mundo. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1619-1624, 2018b.

SILVA, E. R. A. Os objetivos do desenvolvimento sustentável e os desafios da nação. In: DE NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (Org.). **Desafios da Nação: artigos de apoio.** Vol. 2. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2018c.

SILVA, M. de O. *et al.* Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável / soil quality. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n1-463>. Acesso em: 21 abr. 2024.

SILVA, M. L. Paleossolo e estudos ambientais quaternários: discussão teórica e possibilidades de aplicação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 90-103, 2011.

SILVA, M. M. da; SARAMAGO DE OLIVEIRA, G.; OLIVEIRA DA SILVA, G. A pesquisa bibliográfica nos estudos científicos de natureza qualitativos. **Revista Prisma**, v. 2, n. 1, p. 91-103, 2021.

SMITH, P. *et al.* Land management options for greenhouse gas removal and their impacts on ecosystem services and the Sustainable Development Goals. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 45, 2020.

SPADOTTO, C. A.; SPADOTTO, A. J. Problemas ambientais no manejo de pastagens: uso de pesticidas e fertilizantes e mineralização do rebanho. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 23., 2006, Piracicaba, SP. **Anais [...]** Piracicaba, SP: FEALQ, 2006. p. 425-437.

STEFFEN, W.; GRINEVALD, J.; CRUTZEN, P.; MCNEILL, J. The Anthropocene: from global change to planetary stewardship. **Ambio**, v. 40, n. 7, p. 739-761, 2011.

STEFFEN, W. *et al.* The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. **The Anthropocene Review**, v. 2, n. 1, p. 81-98, 2015.

TOLEDO, M. C. M. de. Intemperismo e pedogênese. **Geologia**, tópico 7, 2014. Disponível em: https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo02/geologia_PLC0011/geologia_top07.pdf. Acesso em: 19 abr. 2024.

VARNEY, R. M. *et al.* Soil carbon-concentration and carbon-climate feedbacks in CMIP6 Earth system models. **Biogeosciences**, v. 21, 2024.

VIOLA, E.; BASSO, L. O Sistema Internacional no Antropoceno. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 31, n. 92, 2016.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF). **Relatório Planeta Vivo 2022**: Construindo uma sociedade positiva para a natureza. [s.l.]: WWF, 2022. Disponível em: <https://www.worldwildlife.org/publications/2022-living-planet-report/>. Acesso em: 21 abr. 2024.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF). **Relatório Planeta Vivo 2024**: Um sistema em perigo. Gland: WWF, 2024.

ZALASIEWICZ, J. *et al.* The Working Group on the Anthropocene: summary of evidence and interim recommendations. **Anthropocene**, v. 19, p. 55–60, 2017.

ZALASIEWICZ, J. *et al.* The Anthropocene within the geological time scale: a response to fundamental questions. **Episodes**, v. 47, n. 1, p. 65-83, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18814/epiiugs/2023/023025>. Acesso em: 21 abr. 2024.

Acesso geral: <https://ojs.uva.br/index.php/revista-aquila>

Licença: CC BY-NC-ND 4.0 – Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional

