CARBONO NO SOLO ESSENCIAL NO COMBATE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

CAMILA GENARO ESTEVAM[1], EDUARDO DE MORAIS PAVÃO[2]

Recentemente, o tema das mudanças climáticas tem sido muito abordado pela perspectiva das emissões de GEE. Contudo, um exame mais aprofundado do setor agropecuário deve considerar, também, o componente de remoção de carbono. Nesse contexto, o solo emerge como um dos principais reservatórios de carbono, podendo atuar como uma fonte emissora ou um sumidouro de carbono a depender das práticas de manejo aplicadas sobre ele. Este artigo retrata quatro formas que podem ser observadas na interação entre manejo e estoque de carbono. Dada a heterogeneidade ambiental e de métodos de análise do solo, é necessário avançar na harmonização de metodologias que descrevam eficientemente as particularidades regionais e os diferentes sistemas produtivos.

O TEMA das mudanças climáticas, particularmente no que diz respeito ao carbono, tem ganhado uma crescente atenção. Esse interesse reflete-se em diversas áreas, como a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) em operações produtivas, os impactos do setor agropecuário, a pegada de carbono de produtos e serviços, as oportunidades no mercado de carbono e as metas de descarbonização. A abordagem predominante foca na perspectiva das emissões, concentrando-se nos volumes de gases liberados na atmosfera e nas estratégias de redução dessas emissões.

Entretanto, ao examinar o setor agropecuário de maneira mais aprofundada, é crucial considerar, também, o componente de remoção de carbono. Isso envolve práticas e atividades capazes de capturar GEE da atmosfera e armazená-los na forma de carbono orgânico. Nesse contexto, o solo emerge como um dos principais reservatórios de carbono, mais especificamente o carbono orgânico do solo (COS), que desempenha um papel fundamental na resiliência e na produtividade dos ecossistemas.

Globalmente, o solo armazena mais carbono do que a atmosfera e a vegetação combinadas, evidenciando a sua importância como um componente crítico na dinâmica do carbono. Dependendo das práticas de manejo adotadas, o solo pode atuar tanto como uma fonte emissora, quanto como um sumidouro de carbono atmosférico. Logo, a gestão adequada do solo é essencial para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, alterando os níveis de COS.

Armazenando mais carbono do que a atmosfera e a vegetação juntas, o solo destaca-se como um componente crítico na dinâmica do carbono. A depender das práticas de manejo que se aplicam sobre ele, pode atuar como uma fonte emissora ou um sumidouro de carbono.

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A matéria orgânica do solo é um atributo fundamental da qualidade do solo, contribuindo para a retenção de água, a redução do escoamento superficial e a resistência à erosão, colaborando na estruturação do solo e preservando as condições químicas e físicas dos sistemas produtivos e florestais. Quanto à matéria orgânica, esta é composta de aproximadamente 58% de carbono.

Desta forma, os solos constituem o maior reservatório de carbono terrestre. O estoque total de carbono no solo inclui componentes inorgânicos e orgânicos, sendo estes últimos compostos de uma variedade de materiais, como fragmentos finos de resíduos, raízes, fauna do solo, biomassa microbiana, produtos de decomposição microbiana e outros processos bióticos, além de compostos simples, como açúcares e polissacarídeos.

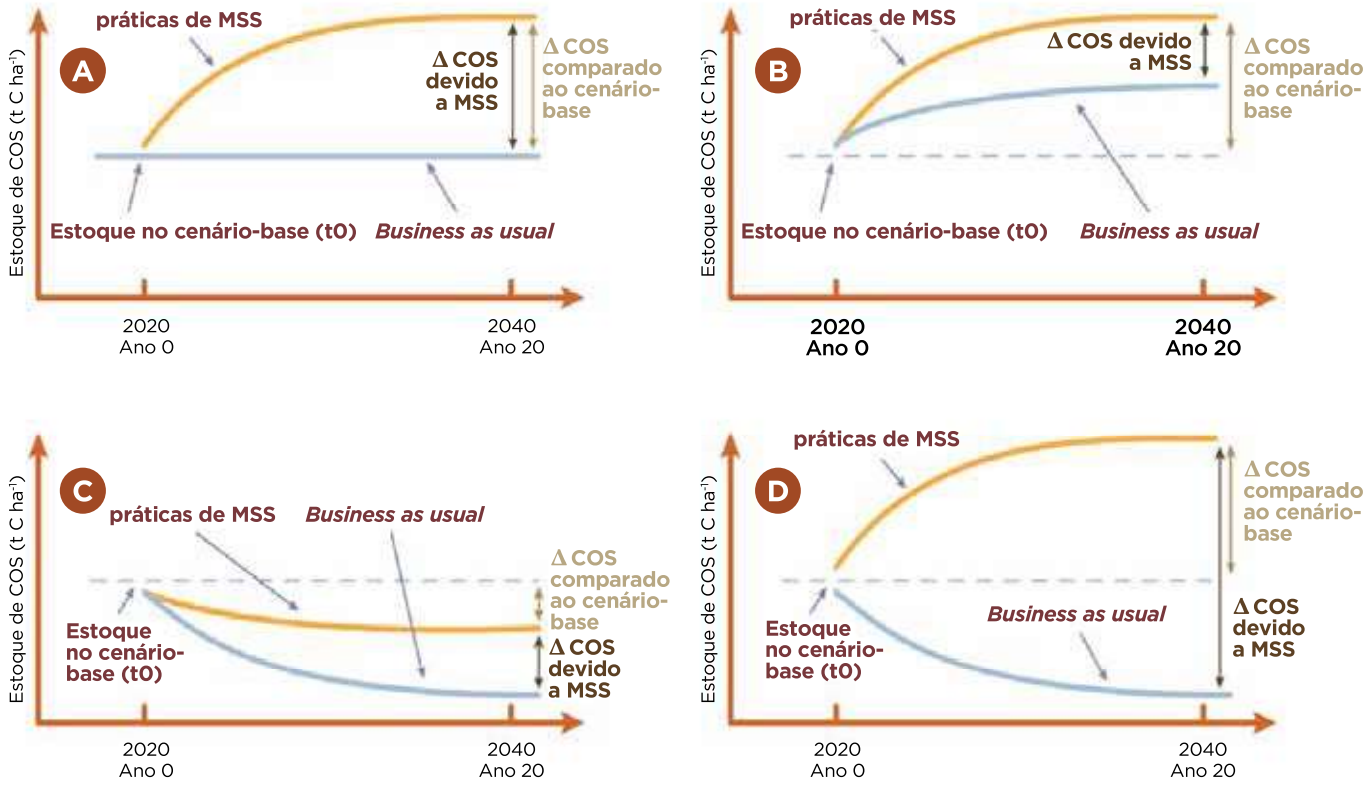
O processo básico de remoção de carbono pelo solo envolve a transferência de CO_2 atmosférico para a biomassa vegetal, que é convertida em carbono estável por meio da formação de complexos organominerais. Esse ciclo depende, inicialmente, da fotossíntese das plantas, que remove o carbono da atmosfera. No entanto, o aumento dos teores de carbono no solo depende de práticas de manejo que incrementam o armazenamento de matéria orgânica, especialmente em áreas de cultivo e pastagens.

POTENCIAL DE INCREMENTO DO CARBONO NO SOLO VIA ATIVIDADE AGRÍCOLA

A adoção de práticas de manejo sustentável é fundamental para aumentar o potencial de remoção de carbono, contudo sua dinâmica pode ser complexa e influenciada por diversas práticas de manejo, que, quando bem

CENÁRIOS DE DINÂMICA DE ESTOQUE DE COS SOB DIFERENTES PRÁTICAS DE MSS

O MSS pode interferir na situação do COS: ampliando um estoque que estava em equilíbrio; otimizando um estoque que já vinha aumentando; mitigando uma situação de declínio de um estoque; ou revertendo perdas de um estoque já em declínio acentuado.



Fonte: FAO (2020); elaboração pelos autores

implementadas, podem tanto mitigar as emissões, quanto aumentar a capacidade de remoção de carbono.

Ao tratar da dinâmica de carbono no solo, quatro situações distintas podem ser observadas, cada uma exemplificando como o manejo pode interferir no estoque de carbono: estabilizando, ampliando, otimizando ou revertendo as perdas. Compreender essas dinâmicas é essencial para desenvolver estratégias eficazes de manejo que promovam a remoção de carbono e contribuam para a mitigação das mudanças climáticas.

Os gráficos ilustram os quatro diferentes cenários de estoque de COS. Em cada gráfico, a linha azul representa o estoque de carbono no cenário-base, enquanto a linha laranja mostra o potencial de alteração do estoque a partir da adoção de práticas de manejo sustentável do solo (MSS). A diferença entre o cenário-base e o cenário com práticas sustentáveis representa o incremento alcançado em termos de estoque de COS.

Os cenários dos gráficos representam a dinâmica do estoque de carbono no solo diante de diferentes contextos e práticas de manejo, descritos a seguir:

- **Cenário A** – representa uma situação em que os estoques de carbono atingiram um equilíbrio, mas podem ser ampliados por meio de práticas de MSS. Exemplo prático – em uma área de pastagem em que o cenário-base é neutro em termos de emissões e remoções de carbono, a intensificação do MSS, como a introdução de pastagens melhoradas e o manejo rotacional, pode incrementar o COS. Segundo o GHG Protocol Agricultura, a conversão de áreas de pastagem estabilizadas em bem manejadas possui um incremento de 4,63 toneladas de dióxido de carbono por hectare ao ano (t CO_2/ha/ano).

- **Cenário B** – demonstra um estoque de carbono que está aumentando e pode ser otimizado a partir da adoção de práticas de MSS. Exemplo prático – em uma área de soja em sistema de plantio direto, a prática sustentável é responsável pelo aumento significativo da remoção de carbono pelo solo. Contudo, a adoção de um sistema integrado como a integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), que combina culturas agrícolas, pecuária e florestas, promove o aumento contínuo do carbono no solo. De acordo com o GHG Protocol Agricultura, a conversão de áreas de soja em plantio direto para iLPF promove um incremento de 1,03 t CO_2/ha/ano.

- **Cenário C** – exibe uma situação em que o carbono no solo está em declínio. O cenário-base indica uma queda contínua no estoque de carbono, enquanto a adoção de práticas de MSS mitiga essa perda. Exemplo prático – no caso do arroz irrigado, o manejo adequado da água e a rotação de culturas podem interromper ou mitigar a perda de carbono no solo. A implementação de técnicas como a alternância de períodos de inundação e secagem (AWD, na sigla em inglês) melhora a fixação de carbono e pode reduzir as emissões de metano.

- **Cenário D** – apresenta uma situação de declínio de carbono que pode ser revertida. O cenário-base mostra um declínio acentuado no estoque, mas, com a adoção de práticas de MSS, há uma reversão significativa, aumentando o COS em comparação ao cenário-base. Exemplo prático – em áreas degradadas em que a perda de carbono pode ser revertida, práticas como a adição de matéria orgânica e a redução do revolvimento do solo são essenciais. A implementação dessas técnicas pode reverter a perda de carbono, passando de remoção para um sumidouro de carbono. Segundo o GHG Protocol Agricultura, a conversão de áreas degradadas em iLP/iLPF promove um incremento de 6,23 t CO_2/ha/ano.

DESAFIOS DA MENSURAÇÃO DE CARBONO NO SOLO EM CAMPO

Para compreender a dinâmica do carbono orgânico do solo na prática, é essencial realizar mensurações em campo. No entanto, medir o carbono no solo em áreas agrícolas apresenta desafios significativos, devido à complexidade e à heterogeneidade desses ambientes. A variabilidade espacial e temporal, assim como a variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo, pode ser consideravelmente grande dentro de uma mesma área agrícola, dificultando a representação precisa do estoque de carbono.

Estabelecer diretrizes para uma amostragem estratégica que considere essa variabilidade é fundamental. Isso envolve a coleta de amostras em locais representativos e diferentes profundidades do solo. A mensuração direta em campo, embora confiável, é trabalhosa e custosa. As diretrizes para medir o estoque de carbono no solo, seguindo metodologias aceitas internacionalmente, geralmente começam com a definição do número de amostras a serem coletadas na área, buscando compreender a maior representatividade dos sistemas produtivos.



SHUTTERSTOCK

A variabilidade intrínseca dos solos, aliada à complexidade das práticas agrícolas e às influências climáticas, exige um rigoroso controle de qualidade nas etapas de amostragem e análise. Para mitigar os desafios associados, é essencial implementar protocolos claros e formar profissionais capacitados. Além disso, o uso de tecnologias emergentes, como a espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS, na sigla em inglês) aliada ao sensoriamento remoto, pode complementar as técnicas tradicionais de amostragem, oferecendo mais precisão e eficiência na estimativa do estoque de carbono no solo.

Além dos desafios técnicos, diferentes metodologias e diretrizes voltadas à coleta de carbono no solo frequentemente não são equivalentes entre si, dificultando a comparação direta dos dados entre diferentes estudos e regiões. Essa falta de padronização sublinha a necessidade de harmonização das práticas de mensuração para garantir a consistência e a comparabilidade dos resultados.

"Estabelecer diretrizes para uma amostragem estratégica que considere essa variabilidade [espaço-temporal e físico-química do solo] é fundamental. Isso envolve a coleta de amostras em locais representativos e diferentes profundidades do solo."

Portanto, é essencial que avancemos na definição e na harmonização de metodologias cientificamente robustas, que capturem as particularidades regionais e de diferentes contextos e sistemas produtivos. Isso garantirá melhores compreensão e gestão do carbono no solo, contribuindo significativamente para os esforços globais de mitigação das mudanças climáticas. ■

1 Pesquisadora do Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia da Fundação Getulio Vargas (OCBio/FGV) – camila.estevam@fgv.br

2 Pesquisador do OCBio/FGV – eduardo.pavao@fgv.br