

Estudo com técnica fotônica apresenta dados inéditos sobre carbono no solo



[Clique aqui para abrir a imagem](#)

É a primeira vez que a LIFS é aplicada para detectar o grau de formação de húmus da matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção.

A técnica permite avaliar a qualidade e estabilidade da matéria orgânica com maior precisão e rapidez que os métodos convencionais.

No estudo, foi possível detectar que na ILPF, por exemplo, a humificação da matéria orgânica do solo é 36% maior em camadas mais profundas do que sob floresta nativa.

Esse resultado auxilia no entendimento de mecanismos de acúmulo e de estabilização de carbono em solos tropicais. Tanto a quantidade de matéria orgânica quanto a biomassa das árvores aumentam sob o sistema integrado e sequestram mais o elemento químico.

O estudo confirma os sistemas integrados e boas práticas de produção como sustentáveis e aliados na descarbonização da agricultura brasileira.

São informações relevantes para o mercado global de créditos de carbono no solo e pagamentos aos produtores por serviços ambientais.

No momento em que os olhos do planeta estão voltados para as discussões sobre preservação do meio ambiente e emissão de gases de efeito estufa, pesquisadores da **Embrapa** em São Carlos (SP) trazem uma importante

contribuição para detectar o carbono no solo.

Os cientistas concluíram que a Espectroscopia de Fluorescência Induzida por Laser (LIFS, na sigla em inglês) - uma técnica da fotônica -, aplicada em sistemas de produção como a integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF), é capaz de avaliar com precisão, de forma limpa e rápida, o grau de estabilidade química do carbono retido no solo. O conceito de fotônica é bastante amplo e considera toda técnica que usa ou manipula fótons (veja quadro).

No estudo, a técnica permitiu detectar que o índice de humificação (formação de húmus) da matéria orgânica do solo (MOS) é 36% maior em camadas mais profundas do solo no sistema ILPF do que em áreas de floresta nativa, referências consideradas para a pesquisa. Tanto o estoque de MOS quanto a biomassa das árvores aumentam sob esse sistema integrado e sequestram mais carbono, o que torna o modelo de cultivo, com diferentes combinações, uma prática sustentável e uma forte aliada na descarbonização da agricultura brasileira.

O estudo poderá auxiliar no entendimento de mecanismos de acúmulos e de estabilização de carbono em solos tropicais. Seus resultados são relevantes para o iminente estabelecimento do mercado global de créditos de carbono no solo, com pagamentos diretos aos produtores rurais pelo serviço ambiental.

Uma projeção da WayCarbon, consultora com foco exclusivo em sustentabilidade e mudança do clima, junto com o ICC Brasil, braço local da Câmara Internacional de Comércio, aponta que o País pode gerar entre 493 milhões e 100 bilhões de dólares em crédito de carbono até 2030.

O tema é uma das pautas da 26ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática, a COP26, que acontece até 12 de novembro em Glasgow, na Escócia.

Aplicação inédita da técnica

Essa é a primeira vez que a técnica Espectroscopia de Fluorescência Induzida por Laser (LIFS - veja quadro) é empregada para detectar o grau de humificação da matéria orgânica do solo em sistemas integrados e com trincheiras de até um metro de profundidade. Tradicionalmente o grau de humificação da MOS é determinado por processos químicos demorados e custosos. Só em etapa posterior as substâncias húmicas extraídas do solo são analisadas por técnicas espectroscópicas.

A vantagem da LIFS é não precisar fazer extrações químicas dos solos, somente preparar uma pastilha e medir. A técnica fotônica vem, assim, se destacando como uma ferramenta ambientalmente sustentável, porque permite avaliar a qualidade e estabilidade da matéria orgânica com maior facilidade e rapidez que os métodos convencionais.

O estudo, com experimentos de campo de longo prazo, envolveu pesquisadores da **Embrapa Instrumentação** (SP) e **Embrapa Pecuária Sudeste** (SP), além da pós-doutoranda em química Amanda Maria Tadini, bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), que observou o índice de humificação da matéria orgânica do solo na ILPF 36% maior do que sob florestas nativas.

Sistemas influenciam estoques de MOS

A matéria orgânica do solo é composta por resíduos vegetais e animais contendo carbono em sua estrutura. Na superfície ou incorporada ao solo, a MOS tem vários estágios de decomposição. O último e mais estável é o húmus,

capaz de melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo, além de fornecer nutrientes e melhorar o seu potencial produtivo.

Por todos os atributos, seja na ciclagem de nutrientes, na retenção de água ou no controle térmico, a MOS é considerada um indicativo importante da fertilidade do solo e desempenha papel fundamental na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Assim, os diferentes manejos adotados na agricultura influenciam diretamente os estoques de carbono, que podem ser diminuídos, mantidos ou aumentados em relação à vegetação nativa.

Para Tadini, que foi supervisionada pelo pesquisador da **Embrapa Instrumentação** Ladislau Martin Neto (foto acima), conhecer a composição química e molecular da MOS e o carbono presente em sua estrutura podem viabilizar o aprimoramento de técnicas agrícolas mais sustentáveis e de menor impacto nas propriedades do solo.

'Estudos que avaliem as características estruturais da matéria orgânica também são fundamentais para entender a ciclagem de nutrientes e sua deposição no solo', avalia a doutora com dupla titulação em Química Analítica e Inorgânica pela Universidade de São Paulo (USP) e pela Universidade de Toulon (França).

Em 2019, Tadini também realizou pós-doutorado de um ano na Universidade Old Dominion, Norfolk, Virginia (EUA), onde obteve experiência em diversas técnicas analíticas avançadas para auxiliar na caracterização detalhada da MOS nos sistemas integrados.

Impacto na agricultura de baixo carbono

A pesquisa, realizada com o apoio financeiro da Fapesp, teve o objetivo de analisar o índice de humificação da MOS em diferentes sistemas.

No experimento em campo, Amanda Tadini (foto à esquerda) avaliou o grau de humificação de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), integração lavoura-pecuária (ILP), integração pecuária-floresta (IPF), além de comparar os resultados com as áreas de referência, pastagem intensiva, pastagem extensiva e floresta nativa (FN).

O estudo levantou a hipótese de que a matéria orgânica do solo estava preservando uma quantidade maior de formas químicas estáveis ??- tempo de vida mais longo no solo -, como cadeias aromáticas que levam à estabilização do carbono e seu acúmulo em camadas mais profundas, entre 40 e 100 cm, em sistemas de produção integrados do que em área de vegetação nativa. Uma das conclusões do estudo confirmou essa hipótese inicial.

ABC+

Sistemas como ILP, IPF, ILPF e plantio direto, além de outras tecnologias sustentáveis, estão incluídas no rol de soluções do Plano Setorial de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, o ABC+, para o período de 2020-2030.

O ABC+, lançado em outubro e apresentado durante a COP26, pretende reduzir a emissão de carbono equivalente em 1,1 bilhão de toneladas na agricultura.

'Usamos, então, a LIFS e constatamos que essa espectroscopia é uma técnica eficaz para avaliar o índice de humificação da MOS em amostras praticamente intactas sob os diferentes sistemas agrícolas. Em todos eles, a

humificação da MOS foi maior em camadas mais profundas quando comparado à floresta nativa', observou a pesquisadora.

O físico Ladislau Martin Neto diz que o sistema ILPF, com diferentes combinações, destaca-se principalmente na agricultura de baixo carbono no Brasil uma vez que o solo sob esse modelo pode sequestrar mais carbono na forma de MOS.

'Esses sistemas são um sumidouro essencial de carbono, auxiliando nas estratégias de mitigação para reduzir a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs)', afirma o pesquisador, ex-presidente da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS, na sigla em inglês).

Martin Neto diz ainda que em regiões tropicais, por exemplo, as características químicas da MOS sob manejo conservacionista do solo, como plantio direto e ILPF, ainda são raramente avaliadas de uma forma mais detalhada.

Desafios de solos tropicais

Estudo publicado

O estudo Evaluation of soil organic matter from integrated production systems using laser-induced fluorescence spectroscopy faz parte do volume 211 da revista científica americana Soil&TillageResearch, editora Elsevier, de julho de 2021.

O artigo é assinado por Amanda Tadini, pelos pesquisadores da **Embrapa Instrumentação** Ladislau Martin Neto e Débora Milori, por Alfredo Xavier e também pelos pesquisadores da **Embrapa Pecuária Sudeste** Patrícia P. A. Oliveira, José R. Pezzopane e Alberto C. C. Bernadi.

O estudo ainda possibilitou identificar, de forma inédita, uma correlação positiva entre o grau de humificação da matéria orgânica do solo, detectado por LIFS, e a capacidade de troca catiônica dos solos (importante indicador de fertilidade do solo) de todos os sistemas integrados, confirmando a melhora da estabilidade química dos compostos da matéria orgânica em maiores profundidades.

'Entender o comportamento da MOS nesses solos agrícolas, predominantemente brasileiros, pode representar uma ferramenta essencial para melhor compreensão da dinâmica do carbono do solo', diz Martin Neto. Segundo ele, em regiões tropicais, a dinâmica da matéria orgânica do solo e a importância da reatividade são ampliadas e resultam em alguns desafios de especificidade.

Por sua vez, o pesquisador da **Embrapa Pecuária Sudeste** José Pezzopane afirma que áreas agrícolas como os sistemas integrados apresentam uma produção de biomassa anual relevante, com quantidades significativamente maiores de resíduos acima e abaixo do solo do que uma floresta nativa. 'Observamos isso, especialmente, em áreas com restrições de condições químicas e de fertilidade dos solos originais, em regiões de Cerrado ou em áreas de transição Mata Atlântica/Cerrado, como no caso do experimento de campo realizado.'

Mais de 860 amostras avaliadas

As amostras de latossolo vermelho-amarelo para avaliação do teor de humificação da matéria orgânica do solo foram

coletadas entre fevereiro e abril de 2016, em área experimental da **Embrapa Pecuária Sudeste**, cinco anos após a implementação dos sistemas integrados.

'Os dados de teor de carbono do solo obtidos pela análise elementar mostram uma diminuição desses valores de acordo com a profundidade em todos os sistemas de produção integrados em áreas de referência com vegetação nativa. Destacam-se maiores teores do elemento químico no solo nas camadas de zero a 20 cm', diz Amanda Maria Tadini.

Segundo Tadini, no Laboratório Nacional de Agrofotônica (Lanaf - veja quadro no fim desta matéria), a Espectroscopia de Fluorescência Induzida por Laser foi aplicada em 864 amostras intactas de solos, sem quaisquer fracionamentos químico ou físico, utilizando 'pastilhas' de solos das diferentes profundidades.

Além de os sistemas ILPF e IPF apresentarem valores maiores de humificação em relação à floresta nativa, o teor de carbono em camadas mais profundas, segundo Tadini, variou de 1,0 a 1,5%, o que demonstra maior acúmulo desse elemento em profundidade nos sistemas integrados quando comparado à floresta nativa, variando de 0,5 a 1,0%.

Boas práticas levam a acúmulo de carbono

O pesquisador da **Embrapa Pecuária Sudeste** Alberto Bernardi (foto à esquerda), especialista em fertilidade de solos, reforça que os estudos, após cinco anos de implantação do sistema ILPF, mostraram resultados bem interessantes.

'Trabalhos desenvolvidos na **Embrapa Pecuária Sudeste** já mostravam que a quantidade de carbono era maior nos solos em sistemas integrados. No entanto, esse estudo possibilitou demonstrar melhor a dinâmica da matéria orgânica e determinar os motivos de esses sistemas acumularem mais carbono e de o elemento químico permanecer no solo por mais tempo. Por meio de métodos sofisticados, a pesquisa comprova uma matéria orgânica de maior qualidade e mais estável, garantindo vantagens ambientais dos sistemas integrados', ressalta Bernardi, que também é coordenador da Rede de Sistemas Integrados Lavoura-Pecuária da Aliança Global de Pesquisa em Gases do Efeito Estufa na Agropecuária (Global Research Alliance em inglês, GRA) e da Comissão de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS)

O pesquisador acredita que a principal razão para os resultados é a produção de biomassa muito alta. 'Quanto mais matéria orgânica no solo, mais eficiente ele é biologicamente e quimicamente e, também, fisicamente mais estruturado. A matéria orgânica é a chave para o bom funcionamento do solo, permitindo maiores produtividade, recarga dos aquíferos, carbono e biodiversidade', explica Bernardi.

Além disso, ele lembra que são importantes as boas práticas de manejo, como a aplicação de calagem e fertilizantes e a adoção do plantio direto, evitando processos de erosão e permitindo aumento no teor de MOS em comparação, por exemplo, com áreas de preparo convencional.

Martin Neto, coordenador do Grupo de Pesquisa em Terras Cultiváveis da Aliança Global de Pesquisa em Gases do Efeito Estufa na Agropecuária desde fevereiro de 2012, ainda acrescenta que a possibilidade de aumentar o conteúdo de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, sequestrar carbono é uma das importantes estratégias globais para descarbonização da economia.

‘É importante também para o estabelecimento do mercado global de créditos de carbono no solo. No fim de setembro a tonelada de CO2 equivalente sequestrado atingiu valores em torno de US\$ 70,00, um aumento de 90% desde janeiro deste ano, de acordo com dados da instituição europeia Ember’, lembra o pesquisador.

Para Alberto Bernardi, a ILPF é uma tendência e as pesquisas indicam caminhos aos produtores para, no futuro, comercializarem créditos de carbono.

Os sistemas de integração da **Embrapa Pecuária Sudeste**, onde foram realizados os estudos, são mantidos com apoio da Rede ILPF.

Ciência do século XXI

Considerada uma das principais ciências do século XXI, a fotônica, numa visão bastante simplificada, é a ciência da geração, emissão, transmissão, modulação, processamento, amplificação e detecção da luz. Atualmente o conceito é bastante amplo e considera toda técnica que usa ou manipula fótons, como ondas de rádio, por exemplo.

O uso de técnicas como a LIFS, baseadas principalmente na emissão de fluorescência de compostos aromáticos presentes no solo, tem se destacado por permitir uma avaliação mais rápida da qualidade e estabilidade da matéria orgânica do solo (MOS). Essa técnica pode ser aplicada em praticamente amostras inteiras de solo sem pré-tratamento trabalhoso.

A LIFS tem como princípio a interação entre a amostra de solo e um laser com emissão na região do azul ou violeta, o que resulta na fluorescência de alguns grupos funcionais da matéria orgânica.

O sistema LIFS para solos, desenvolvido e patenteado pela **Embrapa Instrumentação**, conta com um laser com emissão no espectro visível, que é direcionado por uma fibra óptica para uma pastilha de amostra de solo. A pastilha absorve o laser e por meio do fenômeno de fluorescência, que depende da composição e características da matéria orgânica do solo, reemite radiação luminosa, detecta e quantifica-o com o uso de um miniespectrômetro acoplado a um microcomputador.

Estudo integra Lanaf

O resultado obtido pelo estudo reflete a base estabelecida pela **Embrapa Instrumentação** em quase 20 anos de pesquisas em fotônica. O conhecimento altamente especializado levou o Laboratório Nacional de Agrofotônica (Lanaf), coordenado pelos pesquisadores Débora Milori e Ladislau Martin Neto, único nessa linha, a integrar o Sistema Nacional de Laboratórios de Fotônica (Sisfóton) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI),

Como atua em ambiente colaborativo, conecta competências de centros de pesquisa da **Embrapa** e instituições públicas para fortalecer o ecossistema de inovação em fotônica, estratégico para o aumento da competitividade do País.

Assuntos e Palavras-Chave: Matérias com Citação da Embrapa - Embrapa, Embrapa Instrumentação, Embrapa Pecuária Sudeste