

# ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: CONTRIBUIÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DOS SOLOS

Joyce Maria Guimarães Monteiro  
Francislene Angelotti  
Mauro Meirelles de Oliveira Santos

**A**tualmente, a conservação dos ecossistemas é vista como um caminho para a sustentabilidade econômica, ambiental e social. Isto porque, frente ao cenário climático futuro, a adoção de ações que diminuam a vulnerabilidade dos sistemas é tema estraté-

gico e de importância internacional. Assim, a redução dos impactos das mudanças climáticas globais no meio ambiente precisa de soluções inovadoras, como a adoção de ações da economia verde. Nesse contexto, destaca-se o uso de tecnologias, como o plantio direto e sistemas agroflorestais, como es-

tratégia para recuperação de áreas degradadas e o manejo conservacionista do solo. Essas tecnologias estão vinculadas à “economia de baixo carbono”, que promove a mitigação da emissão dos gases do efeito estufa na agricultura e possibilita a adaptação do setor agropecuário às mudanças do clima, au-



Integração lavoura-pecuária-floresta.



Foto: Alvadi Barbosa Oliveira. Banco de dados multimídia da Embrapa.

Novos sistemas de semeadura e arranjos de plantas para aumento da produtividade e sustentabilidade da cultura da soja.

mentando a remoção atmosférica de CO<sub>2</sub> pela vegetação e pelo solo.

Essas ações podem ser vistas como oportunidades para o desenvolvimento econômico e inclusão social, por meio de Pagamentos por Serviço Ecosistêmico (PSE). Destacam-se como iniciativas de PSE a conservação do solo, o saneamento ambiental, a implantação e conservação de florestas, de áreas de proteção permanente e de reserva legal, a conservação de recursos hídricos, a preservação e proteção da biodiversidade, a redução das emissões de gases de efeito estufa e sequestro de carbono, a preservação de matas nativas e a proteção de áreas de mananciais.

O solo tem um papel importante nesse processo, pois possibilita

o fluxo de energia e matéria nos ecossistemas, sendo considerado a base para a biodiversidade. Nesse papel, permite o crescimento das plantas, estoca, regula e libera nutrientes e elementos essenciais, constituindo parte dos ciclos biogeoquímicos e influenciando os outros recursos naturais, atua no ciclo da água, pois pode regular a drenagem, o fluxo e o estoque, entre outros.

Assim, o solo e seus múltiplos serviços ecossistêmicos associados estão no centro da agenda global climática, tanto como uma estratégia de mitigação quanto de adaptação às mudanças climáticas. Pelo lado da mitigação, o solo é o principal reservatório de carbono do ecossistema terrestre e seu uso e manejo podem ser analisados tanto como

emissor como pela contribuição na redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), não só para o setor Agropecuária, como também para o setor Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Florestas. Pelo lado da adaptação, o manejo adequado do solo pode diminuir a vulnerabilidade dos sistemas rurais às mudanças climáticas.

#### **Emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa dos solos**

O governo do Brasil vem mantendo uma estrutura nacional adequada à execução e supervisão dos compromissos assumidos internacionalmente relacionados às mudanças climáticas. Isso ocorre desde quando assinou a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, conhecida

internacionalmente pela sigla UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, em 1992.

Como parte dos compromissos assumidos na UNFCCC, o Brasil já elaborou três Inventários Nacionais de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal, registrando e relatando as emissões líquidas de Gases de Efeito Estufa de todos os setores da economia. Nesses inventários, as emissões de GEE dos solos são contabilizadas nos setores Agropecuária e Uso do Solo, Mudança do Uso do Solo e Floresta – LULUCF (das iniciais em inglês).

No setor Agropecuária, as fontes de GEE dos solos agrícolas referem-se às emissões de  $N_2O$  de fontes diretas provenientes dos dejetos de animais (fezes e urina) em pastagem, do uso de fertilizantes sintéticos, do esterco (adubo animal), da vinhaça aspergida nos campos, da incorporação de resíduos de colheita e da mineralização de nitrogênio associada ao cultivo de solos orgânicos (organossolos e gleissolos melânicos). Também as fontes indiretas de emissão de  $N_2O$  são contabilizadas e incluem o nitrogênio dos fertilizantes sintéticos, esterco e dejetos de animais das pastagens, que é volatilizado como  $NO_x$  e  $NH_3$  e depositado no solo, e o nitrogênio perdido por lixiviação e escoamento de fertilizantes, incluída a vinhaça.

As emissões diretas de  $N_2O$  dos solos agrícolas são mais representativas em relação às indiretas, representando 62 % do total da emissão de  $N_2O$  dos solos em 2010. Entre as emissões diretas, a principal fonte de  $N_2O$  do solo é devido aos dejetos de animais em pastagem - 60 % delas pela deposição dos dejetos de bovinos. As emissões dos solos

agrícolas representaram 25 % das emissões de GEE do setor Agropecuária, em 2010 (ano final do último inventário - Terceira Comunicação Nacional do Brasil).

Cabe frisar que o fato das emissões de  $N_2O$  dos solos agrícolas serem principalmente representadas pelas que são oriundas dos dejetos de animais em pastagem está relacionado diretamente com as emissões dos solos agrícolas ao crescimento do rebanho nacional. Assim, ao contrário da tendência mundial - em que a utilização de fertilizantes sintéticos nitrogenados é apontada como o principal vetor do aumento global das emissões de  $N_2O$  por solos agrícolas -, no Brasil o rebanho nacional é o responsável pela maior fonte de  $N_2O$  dessa categoria. Assim, os aumentos da área agrícola e da venda de fertilizantes sintéticos representam um impacto menor nas emissões de  $N_2O$  dos solos brasileiros do que o aumento do rebanho nacional.

De certa forma, não obstante os aspectos metodológicos inerentes à contabilização das emissões dos GEE dos solos que utilizam majoritariamente os fatores de emissão padrões propostos pelo IPCC e que não representam as condições de clima e solos diversificados do Brasil, o balanço das emissões de GEE dos solos agrícolas não reflete os manejos empregados na agricultura nacional. Fato é que a emissão e remoção de  $CO_2$  de solos cultivados, devido ao manejo agrícola empregado, ainda não são contabilizadas no inventário nacional, por falta de dados detalhados.

Por outro lado, no setor LULUCF estão contabilizadas não só emissões, mas também remoções de  $CO_2$ , oriundas das mudanças do uso do solo. Em linhas gerais, as emissões e remoções de  $CO_2$  desse setor são contabilizadas pelas mu-

danças líquidas nos estoques de carbono (C), estimadas para cada categoria de uso da terra (florestas naturais de cada bioma e plantadas, agricultura, pastagens naturais e plantadas, áreas alagadas, assentamentos e outros), em determinado período de tempo (20 anos). Sendo assim, pode-se tomar como exemplo de transição “Pastagens convertidas em Reflorestamento”. Dessa forma, as mudanças de uso da terra, como a transição de área de cultivo agrícola para a de pasto ou vice-versa, ou de áreas florestais para as de cultivo agrícola, têm as alterações de carbono contabilizadas no inventário nacional no setor LULUCF e não no de Agropecuária. Nesse setor, o reservatório de carbono do solo é tratado à parte dos demais inventariados (biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, serapilheira e matéria morta), considerando como referência o estoque de carbono médio do solo sob vegetação primária.

Além disso, são aplicados fatores médios para representar as diversas alterações de carbono do solo. Tais fatores refletem o uso da terra (fLU), o regime de manejo (fMG) e as adições de matéria orgânica (fI). Quando há alteração no uso da terra, portanto, a variação do estoque de carbono do solo pode ser calculada. No entanto, quando não há alteração nesse uso, a emissão de carbono é considerada nula, independentemente do manejo aplicado (por exemplo, “Pasto permanecendo Pasto”).

Apesar dos avanços na contabilização nacional das emissões e remoções de GEE do setor LULUCF, cujos estoques de carbono por reservatório, incluindo o do solo, são estimados e organizados por biomas, não há no inventário nacional uma clara separação das emissões dos solos. Os resultados são apresentados por emissões líquidas (emis-

sões menos remoções) por bioma e/ou por estado de forma agregada. Sabe-se que o setor LULUCF foi responsável por 42 % das emissões líquidas totais de CO<sub>2</sub> em 2010 e que a conversão de florestas para outros usos, em particular o agrícola, consistiu na quase totalidade das emissões de CO<sub>2</sub> do setor.

O setor LULUCF é também responsável pelas remoções de CO<sub>2</sub>, por causa do manejo de áreas protegidas, da regeneração de áreas abandonadas e do aumento no estoque de carbono nos solos, em certas mudanças de uso da terra. Essas remoções estão sempre sujeitas às incertezas associadas à metodologia da contabilização, além da falta do mapeamento de solos em escala apropriadas à dimensão territorial do país. Nota-se também que ainda não há contabilização, nos inventários nacionais, de diferentes práticas de manejo de conservação do solo hoje existentes.

### **Opção de mitigação de GEE dos setores Agropecuária e Uso do Solo, Mudança do Uso do Solo e Florestas**

As opções de mitigação de GEE do Setor Agropecuária e LULUCF têm estreita relação com a provisão de serviços ecossistêmicos providos pelos solos. Várias são as políticas brasileiras que preveem, direta ou indiretamente, a provisão dos serviços ecossistêmicos dos solos como forma de cumprir metas de redução de emissões de GEE, e algumas com possibilidade de fornecer compensações.

Em 2009, o Brasil anunciou internacionalmente, no âmbito da UNFCCC, que iria assumir metas voluntárias para reduzir as emissões de GEE, entre 36,1 % e 38,9 % das suas emissões projetadas até 2020, principalmente por meio da redução em 80 % da taxa de desmatamento na Amazônia e de 40 % no

Cerrado, mas também pela ampliação do uso de práticas de manejo sustentável na agricultura.

O marco legal para a retificação desses compromissos foi a Lei nº 12.187/2009, que estabeleceu a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC). Ela previa o estabelecimento de Planos Setoriais de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono em vários setores da economia, como o da agricultura.

O Decreto nº 7.390/2010, que regulamentou a PNMC e que criou o Plano para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, conhecido como ABC. O Plano ABC foi estruturado em sete Programas: 1) Recuperação de Pastagens Degradadas (RAD); 2) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs); 3) Sistema Plantio Direto (SPD); 4) Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN); 5) Florestas Plantadas; 6) Tratamento de Dejetos Animais; e 7) Adaptação às Mudanças Climáticas. Pelo menos quatro dos sete programas do plano ABC foram previstos a partir do conhecimento da contribuição direta da adoção dessas tecnologias para a redução das emissões de GEE dos solos: Recuperação de Pastagens Degradadas; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs); Sistema Plantio Direto (SPD); e Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN).

A Recuperação de Pastagens Degradadas (RAD) possibilita o aumento no teor de matéria orgânica do solo e o consequente aumento do estoque de carbono do solo, reduzindo diretamente a emissão de CO<sub>2</sub> do sistema. Há, inclusive, indícios de o aumento do carbono estocado nos solos em pasta-

gens recuperadas vir a neutralizar o aumento da emissão de metano associada ao aumento da capacidade de suporte de animais desses pastos recuperados. Estima-se que há cerca de 60 milhões de hectares de pastagens degradadas no Brasil, sendo que a meta do Plano ABC é induzir à recuperação de 25 % desta área em todo o país até 2020, com potencial de redução de, no mínimo, 83 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

A adoção de sistemas de iLP melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo, devido ao aumento do aporte de resíduos da integração na mesma área de atividades agrícolas, pecuárias e florestais, levando ao aumento do estoque de carbono dos solos. Os SAFs apresentam a característica básica de consorciar árvores e outros cultivos, o que permite explorar melhor o potencial produtivo do solo, por fazê-lo em diferentes camadas, reduzindo a competição entre as espécies e aumentando a matéria orgânica dos solos. A meta do Plano ABC é promover a adoção da iLP em 4 milhões de hectares. Isso corresponde a uma redução de 18 milhões a 28 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq em 2020.

Também o sistema de plantio direto (SPD) altera as condições físicas, químicas e biológicas dos solos, uma vez que é realizado na palha ou nos restos vegetais do cultivo anterior, reduzindo o revolvimento do solo apenas à linha ou cova de semeadura. Esses sistemas tendem a reduzir a compactação e o tempo de exposição do solo sem cobertura vegetal, reduzindo, assim, a erosão, a perda de nutrientes do solo, aumentando a matéria orgânica e beneficiando a estrutura do solo, reduzindo diretamente a emissão de CO<sub>2</sub> dos solos. O Plano ABC propõe expandir o SPD em mais 8 milhões de hectares, em especial

nos estados do Centro-Oeste e do Nordeste, reduzindo em cerca de 14 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq nas emissões em 2020.

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) permite que o N<sub>2</sub> atmosférico seja capturado por bactérias do gênero *Rhizobium* ou *Azorhizobium*, que vivem nos nódulos das raízes de algumas plantas, suprindo as necessidades de nitrogênio da planta, substituindo total ou parcialmente a adubação nitrogenada, reduzindo a emissão GEE relacionada à fabricação e ao uso de adubos químicos e de esterco. No caso do cultivo da soja no Brasil, todo o nitrogênio necessário à sua produção é fornecido pela FBN. O Plano ABC propõe expandir a área plantada de soja de 22,7 milhões de hectares em 5,5 milhões de hectares até 2020, e estima-se que isso leve à redução de cerca 10 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

Cabe ainda mencionar que, na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil, apresentada

no âmbito da UNFCCC e ratificada em setembro de 2016, constam os compromissos de reduzir as emissões de GEE em 37 % em 2025 e 43 % em 2030, tendo por referência o ano de 2005. Alguns desses compromissos estão relacionados à redução de emissões de GEE dos solos, como o de fortalecer o Plano ABC, por meio da restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e pelo incremento de 5 milhões de hectares de sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas (ILPF) até 2030.

Em geral, o monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dos solos, bem como a qualidade e quantidade hídrica dos sistemas agrícolas, permite identificar os impactos do uso e manejo dos sistemas agrícolas na provisão de serviços ecossistêmicos. A estratégia de monitoramento do Plano ABC foi baseada na criação de um Sistema Multi-institucional de Mudanças Climáticas e Agricultura, instituído por meio de parceria entre Embrapa e institui-

ções integrantes da Rede Clima. A Plataforma ABC tem por objetivo monitorar a redução das emissões GEE na agropecuária brasileira, bem como a dinâmica de estoque de carbono no solo, a partir da implantação de tecnologias proposta no Plano.

### **O serviço ecossistêmico do solo como estratégia de adaptação às mudanças climáticas**

Os estudos sobre os impactos das alterações climáticas trouxeram preocupações a respeito da capacidade de adaptação de países/regiões/setores/comunidades especialmente vulneráveis. O setor Agropecuária é extremamente vulnerável às mudanças climáticas, uma vez que o clima é o fator mais importante na determinação da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola e a agricultura está diretamente relacionada à segurança alimentar.

As medidas de adaptação e mitigação podem mostrar importante

Muda nas mãos.

relacionamento entre elas, incluindo possíveis interações e complementaridades. Essa sinergia pode oferecer benefícios econômicos e sociais tangíveis e derivar das políticas e programa, visando ao desenvolvimento.

As práticas agrícolas que promovem a conservação do solo e da água, como o plantio direto, a recuperação de pastagens degradadas e o Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), além de reduzir as emissões de GEE tanto do solo – redução da emissão do carbono orgânico (matéria orgânica) – quanto em relação ao menor uso de mecanização (combustível fósseis) e fertilizantes (emissão de  $N_2O$ ), também ampliar a resiliência desses sistemas às mudanças climáticas e tendem a aumentar a produtividade agrícola. Em algumas regiões, podem ainda contribuir para a segurança alimentar e para a redução da vulnerabilidade de determinada população rural.

Dessa forma, o uso dessas tecnologias contribui como medida de mitigação e adaptação às mudanças climáticas e atendem aos interesses nacionais de desenvolvimento sustentável. Podem, portanto, ser vistas como oportunidades para minimizar os impactos das mudanças climáticas globais no meio ambiente, reduzir as emissões de GEE, aumentar o estoque de C no solo, permitindo a utilização racional dos recursos naturais e a exploração sustentável, sem comprometer o potencial produtivo dos ecossistemas.

A difusão e a implementação dessas técnicas podem ser fortalecidas pelo estabelecimento de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento de atividades econômicas, ambiental e socialmente sustentáveis, integrando o agronegócio com as necessidades socioambien-

tais. Um incentivo à adoção dessas políticas é o Pagamento por Serviço Ecosistêmico que englobe as instituições governamentais, nos âmbitos nacional, estadual ou municipal.

Tanto no Plano ABC, como na NDC brasileira, constam objetivos para a adaptação às mudanças climáticas que consideram as tecnologias de manejo e conservação do solo e da água como uma das estratégias. O Plano ABC tem por objetivo incentivar, motivar e apoiar o setor agropecuário na implantação de ações da adaptação às mudanças climáticas, por meio do aumento da resiliência dos agroecossistemas, o desenvolvimento e a transferência de tecnologias, especialmente daquelas com comprovado potencial de redução de GEE. A NDC brasileira faz referência ao Plano Nacional de Adaptação, lançado em 2016, em que uma das estratégias setoriais e temáticas é a agricultura, analisando suas vulnerabilidades frente à mudança do clima, promovendo ações para resiliência dos agroecossistemas e transferindo a tecnologia.

### Considerações finais

Mudanças nas práticas de manejo em sistemas agrícolas e florestais tendem a gerar serviços ecossistêmicos. Os serviços ecossistêmicos dos solos não ocorrem de forma isolada, mas sim provendo cobenefícios associados. Todas as boas práticas de manejo e conservação do solo e água podem contribuir em maior ou menor grau para a redução das taxas de erosão do solo; aumento da cobertura superficial do solo, melhorando a sua estrutura, o movimento de ar, água e calor e o crescimento de raízes; reduzindo a compactação do solo; aumentando o estoque de matéria orgânica e carbono do solo e a disponibilidade e os fluxos de nu-

trientes, auxiliando na melhora da fertilidade do solo e na produtividade agrícola e ainda no aumento da biodiversidade.

Essas práticas de manejo são consideradas estratégias sinérgicas de adaptação e mitigação das mudanças climáticas e estão integradas à Política Nacional sobre Mudanças do Clima e ao Plano Nacional de Adaptação. São necessários, no entanto, esforços para a integração de instrumentos para a compensação e incentivo, como o Pagamento por Serviço Ecosistêmico, nas políticas públicas relacionadas às mudanças climáticas, como forma de apoiar a adoção das tecnologias ambientais.

Uma questão importante que está sendo discutida atualmente é a inclusão dos resultados das diversas práticas de manejo agropecuário em termos de redução de emissões de GEE (mitigação) e da redução da vulnerabilidade (adaptação), seja nos solos agrícolas, seja no setor LULUCF. É preciso, então, organizar um banco de dados que possa dispor as informações não só para uso no inventário nacional - de modo que as diversas opções de mitigação de GEE dos setores Agropecuário e LULUCF sejam ali adequadamente refletidas -, mas também para o plano nacional de adaptação, como forma de identificar e propor medidas para promover a adaptação e a redução do risco associado à mudança do clima.

**Joyce Maria Guimarães Monteiro** é pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro. E-mail: joyce.monteiro@embrapa.br  
**Francislene Angelotti** é pesquisadora da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE. E-mail: francislene.angelotti@embrapa.br  
**Mauro Meirelles de Oliveira Santos** é doutorando do Programa de Planejamento Energético, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: mauro.meirelles.mct@gmail.com