



## Capítulo 11

# Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados

---

*Eduardo Delgado Assad  
Susian Christian Martins  
Luiz Adriano Maia Cordeiro  
Balbino Antônio Evangelista*

## Introdução

Durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15) o governo brasileiro divulgou o seu compromisso voluntário de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no país, projetadas para 2020 entre 36,1% e 38,9%. Estimava-se naquele momento uma diminuição em torno de um bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> eq (t CO<sub>2</sub> eq) até o ano de 2020.

Os acordos firmados foram contestados na época, mas estão muito aquém da capacidade de redução de emissões da agricultura brasileira. Isto porque a avaliação potencial não deve levar em consideração o horizonte temporal e sim a quantidade de emissões que podem ser evitadas considerando-se o atual e futuro uso do solo no país. Como exemplo, o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig) da Universidade Federal de Goiás (<https://pastagem.org/index.php/pt-br>) aponta que existem 48 milhões de hectares de pastos degradados no Brasil. Tomando-se como indicador de degradação a taxa de lotação pecuária de 0,4 unidades animal ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, estima-se que a capacidade potencial de reduzir as emissões pela recuperação de pastagens degradadas no país seja muito maior do que o negociado em Copenhague.

São várias as práticas agrícolas que promovem a redução de emissões de GEE. Dentre as ações propostas para a redução dessas emissões, vinculadas ao plano setorial da agricultura, citam-se recuperação de pastagens, integração lavoura-pecuária, fixação biológica de nitrogênio, reflorestamento, tratamento de dejetos animais, adaptação às mudanças climáticas e ampliação da área com plantio direto.

A estimativa do último inventário de GEE é de que as emissões na agricultura brasileira ultrapassem 470 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> eq. O setor agrícola, em função de suas características, é extremamente vulnerável às mudanças do clima. Por isso, é necessário um esforço conjunto, tanto no desenvolvimento de novas tecnologias que promovam o incremento da produtividade, quanto na implementação de ações que promovam a convergência entre o aumento da produção sustentável de alimentos e a redução das emissões de GEE.

As atividades agropecuárias geram emissões diretas e indiretas de GEE por diversos processos, tais como:

- Fermentação entérica nos herbívoros ruminantes, que emite metano (CH<sub>4</sub>);
- Dejetos de animais, que emitem principalmente de CH<sub>4</sub> e de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O);
- Preparo convencional do solo e calagem, que emitem dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
- Cultivo de arroz inundado, que emite CH<sub>4</sub>;
- Queima de resíduos agrícolas que emite CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, entre outros;
- Uso de fertilizantes nitrogenados que emite N<sub>2</sub>O do solo; e
- Consumo de combustíveis fósseis que emitem CO<sub>2</sub>. Esse consumo se dá por meio i) da utilização de insumos como fertilizantes, herbicidas e fungicidas que, para sua produção industrial, demandam grandes quantidades de energia, ii) para a movimentação de máquinas e iii) no transporte de produtos agrícolas.

Desde 1996, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCT&I) é responsável pelo inventário das emissões de GEE no Brasil, procurando quantificar as emissões de cada setor. As métricas e os métodos de cálculo e estimativas das emissões são bem conhecidas e fazem parte do inventário nacional do MCT&I e da ferramenta do “GHG protocol” da Agricultura (Protocolo de gases de efeito estufa) desenvolvida no Brasil pela World Resources Institute (WRI).

No Brasil, as emissões estimadas de GEE do setor agrícola e de mudanças no uso do solo contribuem, respectivamente, com 22% e 51% das emissões nacionais<sup>1</sup>. Entre 1990 e 2015 as emissões brutas de GEE brasileiras passaram de 1,86 GtCO<sub>2</sub> eq para 1,92 GtCO<sub>2</sub> eq, um aumento de 3,5%. A trajetória das emissões, contudo, teve períodos distintos de crescimento e redução, sendo que a partir de 2013 houve uma reversão de tendências, com subida das emissões motivada pelo aumento de desmatamento na Amazônia e pelo aumento do uso de combustíveis fósseis na matriz energética. Quando são consideradas as remoções de CO<sub>2</sub> da atmosfera por alterações do uso da terra (ex. pastagem que vira floresta secundária) e por manutenção de florestas naturais em terras indígenas e unidades de conservação, por exemplo, observa-se que as emissões líquidas de GEE partiram de 1,43 GtCO<sub>2</sub> eq em 1990 e chegaram a 1,40 GtCO<sub>2</sub> eq em 2015, ou seja, houve uma redução de 2% no período.

A agricultura é ainda um dos principais emissores no país. E diante desse cenário, é imprescindível que o setor agropecuário adote imediatamente tecnologias de baixa emissão de carbono como a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), pois essa modalidade de sistema integrado, apesar de ser mais complexa, possibilita elevada redução na emissão de GEE devido à fixação de carbono na biomassa florestal e na matéria orgânica do solo.

## As fontes de emissões na agricultura

De acordo com os métodos de cálculo do inventário brasileiro de GEE, coordenado pelo MCT&I, de maneira geral, as fontes de emissões na agricultura determinadas na escala do estabelecimento rural são:

- Adubação orgânica
- Aplicação de calcário
- Aplicação de defensivos agrícolas
- Aplicação de fertilizante nitrogenado sintético
- Consumo de energia elétrica
- Cultivo de arroz
- Dejetos de animais em pastagens
- Fermentação entérica
- Fontes secundárias (deposição atmosférica e lixiviação ou escoamento superficial)

<sup>1</sup> Segundo Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil (MCTI, 2016), disponível em [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0228/228468.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228468.pdf).

- Manejo de dejetos
- Manejo de dejetos de animais (exceto animais em pastagens)
- Mudança de uso do solo
- Operações mecanizadas
- Queima de resíduos vegetais
- Resíduos das culturas

## Os gases de efeito estufa

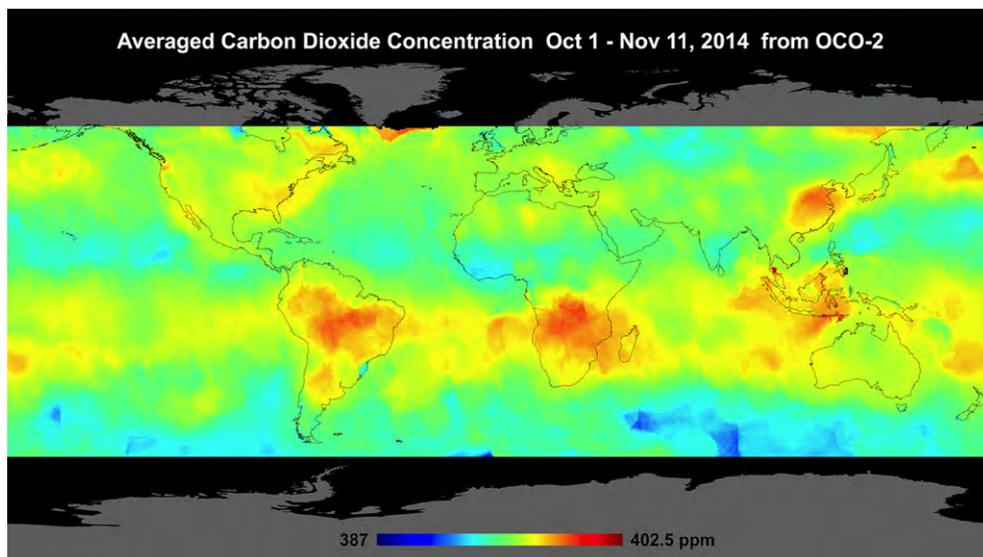
Os conceitos e definições dos GEE utilizados neste capítulo têm como referência o Volume 1 do Painel Brasileiro de Mudanças do Clima, lançado em janeiro de 2015. As definições e conceitos indicam que o clima na Terra é regulado pelo fluxo constante de energia solar que atravessa a atmosfera na forma de luz visível e de raios ultravioletas. Parte dessa energia é devolvida pela Terra na forma de radiação infravermelha. Os GEE são gases presentes na atmosfera terrestre que têm a propriedade de bloquear parte dessa radiação infravermelha. Muitos deles, como vapor d'água,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  e ozônio ( $\text{O}_3$ ), existem naturalmente na atmosfera e são essenciais para a manutenção da vida no planeta. Sem eles a Terra seria, em média, cerca de  $30^\circ\text{C}$  mais fria.

Como consequência das atividades do homem na biosfera, o nível de concentração de alguns desses gases, como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , vem aumentando na atmosfera. As últimas medições feitas na estação de Mauna Loa no Havai, indicam que a concentração atmosférica de  $\text{CO}_2$  já ultrapassou 400 partes por milhão (ppm) (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/>). A taxa de aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  é da ordem de 2,5 ppm/ano (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2005). Além disso, passou a ocorrer emissão de outros GEE, na forma de compostos químicos produzidos somente pelo homem, tais como clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), hidrofluorclorocarbonos (HCFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ).

Recentemente, a Agência Espacial Americana (NASA) lançou um satélite, OCO-2, cujo objetivo é monitorar as concentrações de  $\text{CO}_2$  no planeta. Na Figura 1, pode-se observar uma imagem obtida por este satélite em outubro/novembro de 2014, com as variações da concentração de  $\text{CO}_2$  na Terra.

No período indicado na Figura 1, as concentrações de  $\text{CO}_2$  verificadas na região Centro-Oeste e parte da Amazônia do Brasil foram superiores a 400 ppm. Dependendo do período do ano, há uma oscilação no valor nominal das emissões. Entretanto os valores médios anuais das concentrações atmosféricas já são superiores a 400 ppm.

As emissões pela agricultura incluem apenas as emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de oito GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal. Por isso, não são incluídos nos cálculos os gases CFCs e os HCFCs, que destroem a camada de ozônio, que já são controlados pelo Protocolo de Montreal e, portanto, não foram incluídos no Protocolo de Kyoto.



**Figura 1.** Concentração de CO<sub>2</sub> na superfície da Terra em outubro/novembro de 2014<sup>2</sup>.

Os GEE cujas emissões antrópicas e remoções são tipicamente relacionados às atividades de uma cadeia agrícola são: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Alguns outros gases, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC) são considerados gases precursores do efeito estufa, pois possuem influência nas reações químicas que ocorrem na atmosfera.

## O dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq)

Dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) é uma medida utilizada para equalizar as emissões de vários GEE com base na importância relativa de cada gás, em relação ao CO<sub>2</sub>, na produção de uma quantidade de energia (por área unitária) vários anos após um impulso de emissão.

Para o cálculo do CO<sub>2</sub>eq são utilizadas algumas conversões, sendo que a mais comum é o GWP (*Global Warming Potential*) proposto pelo IPCC (da sigla em inglês de Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (AR4)<sup>3</sup> já examinava métricas alternativas ao GWP e o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5)<sup>4</sup> aprofundou essa análise. Entre as métricas propostas e apresentadas no AR4 está o Global Temperature Potential (GTP). No inventário nacional brasileiro, o cálculo deve ser realizado em unidades de massa de cada gás de efeito estufa utilizando a métrica do GWP-100 do AR4, seguindo as diretrizes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), conforme Tabela 1. Entretanto no Terceiro Inventário Nacional, as emissões são calculadas em GWP e GTP e comparadas.

<sup>2</sup> Disponível em: [http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/datareleases/images/oco-2\\_global\\_image.png](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/datareleases/images/oco-2_global_image.png).

<sup>3</sup> Disponível em: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html).

<sup>4</sup> Disponível em: [www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.UtRjZfRDvX0](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.UtRjZfRDvX0).

**Tabela 1.** Conversão de emissões em GWP-100 e GTP-100.

Gás	GTP-100	GWP-100
CO <sub>2</sub>	1	1
CH <sub>4</sub>	5	25
N <sub>2</sub> O	270	298
HFC-125	1.113	3.500
HFC-134 <sup>a</sup>	55	1.300
HFC-143 <sup>a</sup>	4.288	1.430
HFC-152 <sup>a</sup>	0,1	124
CF <sub>4</sub>	10.052	7.390
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	22.468	12.200
SF <sub>6</sub>	40.935	22.800

\* "a" é um indicador de pureza do gás. Essas classificações seguem a Norma ANSI/ASHRAE 34-2010 (Substitui a Norma ANSI/ASHRAE 34-2007). Inclui Adendos do ANSI/ASHRAE. NORMA ASHRAE: Designação e classificação de segurança de gás refrigerante.

## O que é o GTP e o GWP?

Como dito anteriormente, diferentes métricas são encontradas na literatura. As adotadas pelo IPCC são:

### Potencial de Aquecimento Global (PAG) (sigla em inglês GWP)

É uma métrica que estima a contribuição relativa de um determinado gás de efeito estufa para o aquecimento global em relação à mesma quantidade de um gás de referência, geralmente CO<sub>2</sub>, cujo PAG é definido como 1 e depende diretamente da forçante radiativa (Figura 2).

O PAG é calculado sobre um intervalo de tempo específico, o qual deve ser declarado juntamente com o valor de PAG. Como exemplo, o PAG do CH<sub>4</sub> em 100 anos é 25 vezes maior do que o PAG do CO<sub>2</sub>, ou seja, uma tonelada de metano tem um poder de aquecimento 25 vezes maior do que o de uma tonelada de CO<sub>2</sub>. Interessante observar que o PAG do óxido nitroso é 310, todavia, a partir de 2015, pelas indicações do relatório do IPCC AR4 (Figura 2), a relação adotada será de 25 para o CH<sub>4</sub> e de 298 para o N<sub>2</sub>O.

O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC AR4) define o conceito de forçante radiativa (FR) como a diferença em irradiância líquida na tropopausa (zona atmosférica limite entre a troposfera e a estratosfera), em unidades de  $W m^{-2}$ , entre um estado de referência e um estado perturbado. A perturbação ocorre pela ação de um agente forçante enquanto as temperaturas de superfície e da troposfera são mantidas fixas, mas permitindo-se que a estratosfera atinja o equilíbrio radiativo (Forster et al., 2007). O relaxamento da temperatura estratosférica é importante em processos que modificam o perfil de temperatura nessa camada da atmosfera (e.g. FR devido à redução de ozônio estratosférico) (Haywood & Boucher, 2000). Por exemplo, uma forçante negativa indica um maior fluxo de energia deixando o sistema terrestre na tropopausa em um estado perturbado devido a um agente climático, comparado ao estado de referência. Com isso, tal agente representaria um efeito líquido de resfriamento sobre o clima, enquanto um agente com FR positiva indica um efeito de aquecimento climático. A escolha de um estado de referência pode ser subjetiva, sendo que alguns autores definem a era pré-industrial, ou então o ano de 1750, como tal estado (e.g. IPCC, AR4). Uma caracterização climática da era pré-industrial depende, no entanto, de um conjunto de hipóteses e considerações para sua modelagem e, necessariamente, essa escolha carrega certo grau de arbitrariedade. Outra opção é considerar a completa ausência do agente forçante como estado de referência, e.g. atmosfera sem aerossóis quando se avalia a FR de aerossóis (Forster et al., 2007) ou ainda alguma definição de um nível "natural" ou não perturbado para o agente forçante (Forster et al., 2007). Avaliações da FR feitas com definições diferentes sobre o estado de referência resultam em valores diversos para a mesma forçante. Portanto, qualquer comparação entre estimativas da FR deve esclarecer se a mesma referência foi utilizada.

**Figura 2.** O conceito de forçante radiativa (PBMC, 2014, volume 1).

## Potencial de Temperatura Global (PTG) (sigla em inglês GTP)

Indica o potencial da variação da temperatura à superfície, devido à emissão de um determinado gás de efeito estufa, tendo como referência a emissão de um gás comumente adotado, o  $CO_2$  (Shine et al., 2005). Neste caso, a relação entre  $CO_2$  e  $CH_4$  é de cinco vezes e entre  $CO_2$  e  $N_2O$  é de 270 vezes, conforme indicado na Tabela 1. Na Tabela 2 são indicados os gases emitidos por fonte de emissão, principalmente, na agricultura.

**Tabela 2.** Gases responsáveis pelo efeito estufa e suas respectivas fontes de emissão.

GEE	Fontes de Emissão
$CO_2$	Mudança no uso do solo e desmatamento Queima de combustíveis fósseis
$CH_4$	Mudança no uso do solo e desmatamento Agropecuária (fermentação entérica, manejo de dejetos de animais, cultivo de arroz irrigado, queima de resíduos agrícolas) Tratamento de resíduos (lixo e esgoto industrial e doméstico)
$NO_2$	Agropecuária (principalmente associado ao manejo de dejetos de animais, solos agrícolas, queima de resíduos agrícolas) Mudança no uso do solo e desmatamento
GEE Indireto*	
CO	Agropecuária (queima de cana-de-açúcar na colheita) Queimadas em mudança no uso do solo e desmatamento
$NO_x$	Agropecuária (queima de resíduos de cana-de-açúcar e algodão) Queimadas em mudança no uso do solo e desmatamento

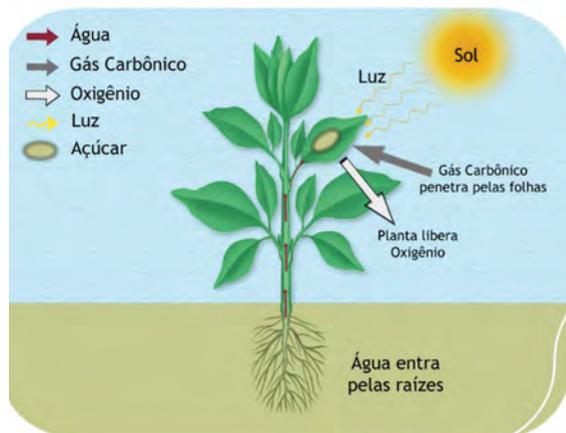
\* Gases que influenciam as reações químicas na troposfera, e que provocam indiretamente aquecimento da atmosfera

Segundo o SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa), do Observatório do Clima da Fundação Getúlio Vargas, “no período 1990-2015, as emissões globais cresceram de forma quase contínua mais de 35%, alcançando cerca de 55 bilhões de toneladas (GtCO<sub>2</sub> eq). No Brasil, as variações ao longo do tempo são explicadas especialmente pelas alterações do uso da terra (em especial o desmatamento na Amazônia), que já chegaram a representar quase 80% das emissões brutas brasileiras (2003/2004) e atualmente caíram para 46% do total, mas mantêm-se como principal fonte de emissões no país. Quando consideradas as emissões líquidas, as alterações de uso da terra representam 26% das emissões, menos do que energia e agropecuária (30% e 32% respectivamente). O levantamento das emissões nos diferentes setores permite observar dois comportamentos. Enquanto no caso de mudanças de uso da terra as emissões têm grandes oscilações ao longo do tempo, acompanhando a dinâmica do desmatamento, nos casos de energia, agropecuária, processos industriais e resíduos as emissões têm tido um crescimento contínuo desde os anos 1970. No entanto, mesmo considerando as oscilações, o setor de mudanças de uso da terra apresentou uma queda de 20% nas emissões brutas no período de 1990 a 2015 (ou 59% de queda, se consideradas emissões líquidas). Os setores de energia e resíduos foram os que apresentaram maior aumento, com incrementos de 140% e 147% respectivamente, seguidos de processos industriais, com aumento de emissões em 93%, e do setor agropecuário, cuja alta registrada foi de 48% no período. Quando se excluem as emissões de mudança de uso da terra em todo o período de 46 anos, entre de 1970 e 2015, somente houve queda de emissões em quatro anos de crise econômica: 1981, 1983, 1990 e 2009 – ainda assim, quedas pequenas, de 1% a 2%. Mas, já no ano seguinte, as emissões voltaram a subir”.

## Como ocorrem as remoções de gases na agricultura?

Estratégias relevantes para redução da emissão dos GEE consistem em redução da queima de combustíveis fósseis (petróleo, gasolina, diesel, carvão mineral), minimização de desmatamento e queimadas, manejo adequado do solo e maximização das remoções de CO<sub>2</sub>, chamadas de “sequestro de carbono”.

Nesse último processo, o CO<sub>2</sub> da atmosfera é capturado pelas plantas (Figura 3) e transformado em compostos orgânicos por meio da fotossíntese, que é a reação entre o CO<sub>2</sub> e a água (H<sub>2</sub>O), empregando a energia radiante (sol) e produzindo carboidratos (açúcares) e oxigênio (gás que retorna à atmosfera).



**Figura 3.** Representação esquemática do processo fotossintético  
Fonte: Adaptado de Cordeiro et al., 2011).

A fotossíntese é uma reação bioquímica complexa, que se dá exclusivamente em presença da luz solar, sendo confinada aos cloroplastos, conforme demonstrado resumidamente na equação a seguir.



Portanto, sintetizando, observa-se que moléculas de um gás atmosférico reagem com a água, em partes verdes das plantas (folhas, caule etc.) e em presença de luz, e se transformam em um composto orgânico em estado sólido com carbono em sua composição (carboidratos), liberando o gás oxigênio para a atmosfera.

**Gás carbônico (C) + água = açúcar (C) + oxigênio**

Após esse processo de remoção do carbono da atmosfera e incorporação pelas plantas verdes em compostos orgânicos, o elemento passa a desempenhar inúmeras funções na formação da biomassa e no metabolismo vegetal, sendo o componente de todos os compostos orgânicos (e.x. carboidratos, proteínas, lipídeos, aminoácidos, ácidos nucleicos, ácidos orgânicos, etc).

Com a morte das plantas, tem-se a formação dos resíduos vegetais (serrapilheira em áreas de floresta, liteira em áreas de pastagem ou palhada de culturas após a colheita). Com o passar do tempo, sofrem um processo de fragmentação por macrorganismos e, posteriormente, a decomposição por microrganismos do solo. Dessa forma, se o material não for protegido da ação biológica dos organismos do solo, ou se essa ação não for lenta, a maior parte dele retornará em pouco tempo para a atmosfera na forma de  $\text{CO}_2$ .

A manutenção dos resíduos na superfície, ao invés de sua incorporação, diminui seu contato com o solo, reduzindo a taxa de decomposição. Além disso, a ausência de revolvimento por implementos agrícolas, associada ao aumento da atividade biológica, promove a manutenção e formação de agregados do solo. Parte dos resíduos vegetais recém-adicionados ao solo permanecem no interior dos agregados e ficam protegidos da ação decompositora dos organismos do solo. O resultado final é o aumento da quantidade de compostos orgânicos preservados da ação biológica e o aumento da quantidade formada de carbono orgânico total (COT)<sup>5</sup> e matéria orgânica do solo (MOS).

O acúmulo de MOS nos sistemas integrados de produção e, conseqüentemente, o seu potencial para a remoção de  $\text{CO}_2$ , já foi indicado por vários autores em diferentes ecorregiões brasileiras (Tarre et al., 2001; Alves et al., 2008; Macedo, 2009; Vilela et al., 2011; Assad et al., 2013; Pinto; Assad, 2014).

<sup>5</sup> O carbono orgânico total (COT) é o principal constituinte do solo, correspondendo a, aproximadamente, 58% da matéria orgânica do solo (MOS), que, por sua vez, resulta do processamento e da decomposição parcial dos resíduos vegetais ou dos materiais orgânicos (biomassa) existentes no ambiente (Cordeiro et al., 2011).

Dessa forma, os sistemas de produção que utilizam ILPF com preparo mínimo ou sem preparo do solo e com manutenção de palhada passam da condição de fonte de  $\text{CO}_2$  rumo à atmosfera para a condição de dreno ou assimilação de  $\text{CO}_2$  para o solo (Figura 4)

Foto: Breno Lobato



**Figura 4.** Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com alta eficiência de remoção de carbono da atmosfera.

Portanto, sistemas mais complexos como a ILP (integração lavoura-pecuária) ou a ILPF (integração lavoura-pecuária floresta), por conterem o componente forrageiro e florestal, têm potencial de contribuir na retenção de carbono em solo e biomassa, bem como na redução de emissões de GEE.

Adicionalmente, em sistemas de ILPF, parte do  $\text{CO}_2$  removido poderá auxiliar na redução de emissões em outros setores além da agricultura, se a madeira obtida for utilizada para produção de móveis ou para a geração de energia. A produção de energia a partir de árvores plantadas pode substituir o uso de combustíveis fósseis. Essa substituição de uma fonte não renovável de energia (petróleo) por uma fonte renovável (carvão vegetal) pode ser contabilizada como redução de emissão de GEE.

## Potencial de mitigação de gases de efeito estufa via ILPF

Utilizando como referência a capacidade de redução de emissões dos sistemas de produção, no Brasil foi aprovada a lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009, instituindo a Política Nacional de Mudanças do Clima. O Decreto nº 7.390/2010 determina que o Plano Nacional sobre Mudança do Clima seja integrado pelos planos setoriais, dentre eles o plano

para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, que ficou conhecido como agricultura ABC. Ainda em 2010, por meio de instrução normativa do Conselho Monetário Nacional, foi criado o Programa ABC que estabelece linhas de crédito especiais para práticas agrícolas estabelecidas no Plano ABC.

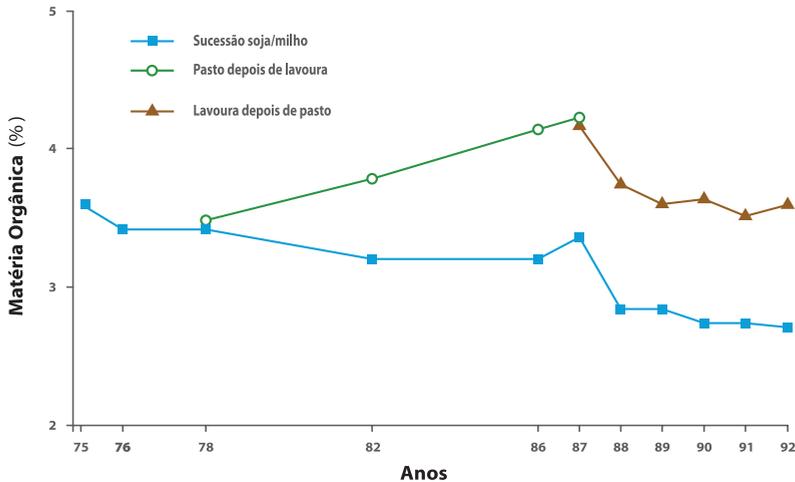
Em 2009, o país se comprometeu a reduzir suas emissões de GEE de 36,1% a 38,9% (cerca de 1 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> eq) em relação ao que emitiria em 2020. Nesse contexto, a meta para o setor agropecuário é reduzir de 133,9 a 162,9 milhões t CO<sub>2</sub> eq até 2020 por meio da adoção de diversas técnicas agropecuárias mitigadoras de GEE.

Considerando o perfil tecnológico do setor e a disponibilidade de tecnologias capazes de assegurar uma produção agrícola cada vez mais eficiente, com a vantagem adicional de baixas emissões líquidas<sup>6</sup> de GEE e uso racional dos recursos naturais, verifica-se que o potencial de mitigação da agropecuária vai muito além das metas estipuladas no Plano ABC. Especificamente nos casos da ILP (integração lavoura-pecuária), ILPF (integração lavoura pecuária floresta) e dos SAFs (Sistemas Agroflorestais), o potencial pode ser maior do que a recuperação das pastagens (Salton, 2005; Macedo, 2009).

O alto teor de matéria orgânica (MO) na superfície do solo é um dos principais benefícios dos sistemas integrados, quando associados às práticas de manejo e conservação do solo. Isto porque essas práticas melhoram as condições físicas, químicas e biológicas do solo, enquanto o cultivo de monocultura sob o sistema convencional por alguns anos ocasiona a perda de MO e, conseqüentemente, compromete a qualidade do solo.

Souza et al. (1997), em experimento de longa duração 1975-1992) estudaram os teores de MO em sistema de cultivo anual, onde cultivou-se soja por dez anos, milho por dois anos e a partir do 13º cultivo, a seqüência soja-milho; e um sistema cultura anual/pastagem, onde se cultivou soja por dois anos, braquiária (*Urochloa humidicola*) por nove anos, soja por um ano e, a partir do 13º cultivo, a seqüência soja-milho. Na *U. humidicola*, os tratamentos de adubação anual com superfosfato simples foram suspensos após o 3º ano de seu estabelecimento. Os autores observaram níveis inferiores de MO na monocultura e que, após o estabelecimento da pastagem, o teor de MO aumentou continuamente, decrescendo quando se retornou às culturas anuais no sistema; contudo, até o último ano, observou-se uma diferença em torno de 30% a mais em relação ao sistema de rotação de cultivos anuais (Figura 5). A maior eficiência do sistema anual/pastagem em utilizar o P pode ser atribuída à maior capacidade da forrageira, que participou deste sistema por nove anos, em absorver este nutriente e transformá-lo em biomassa, resultando em aumento significativo no teor de MOS.

<sup>6</sup> O Guia do IPCC prevê a contabilização, para fins de inventário, das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. As estimativas de emissões brutas de gases de efeito estufa não consideram a remoção de CO<sub>2</sub> pelas mudanças de uso do solo, isto é, a quantidade de gases de carbono fixados pelo crescimento da vegetação. Quando há desconto das remoções, as estimativas são de emissões líquidas (emissões menos remoções).



**Figura 5.** Dinâmica da matéria orgânica do solo na camada de 0-20 cm em dois sistemas de cultivo em experimento de longa duração.

Fonte: Adaptado de Souza et al. (1997).

Também em experimentos de longa duração conduzidos em Dourados (1995-2004), Maracaju (1993-2004) e Campo Grande (1993-2004), no Mato Grosso do Sul, Salton et al. (2011) avaliaram a vegetação natural e sistemas de manejo compostos de pastagens, lavouras anuais em preparo convencional e em plantio direto, e rotação de pastagem com lavoura. Os autores observaram que os maiores estoques de carbono no solo ocorreram nos sistemas com pastagem permanente, enquanto os menores valores ocorreram nos sistemas com lavouras; nos sistemas com integração lavoura-pastagem os estoques de carbono no solo assumiram valores intermediários.

A adoção da ILP em quatro milhões de hectares, como meta na agricultura ABC, corresponderia a uma redução de emissões de 18 a 28 milhões de t CO<sub>2</sub> eq ou mais. Nesse caso, haveria adicionalmente o benefício do “poupa-terra”, ou seja, considerando-se a taxa de lotação de 0,4 unidades animais (UA) por hectare em pastagens degradadas e elevando-se essa taxa para 1,5 UA ha<sup>-1</sup>, a diferença seria de 1,1 UA ha<sup>-1</sup>. Com a adoção da ILP e ILPF, teria-se o adicional de 1,1 UA ha<sup>-1</sup> em 19 milhões de hectares (considerando-se aqui mais 15 milhões de hectares de pastagens degradadas, que é a meta do ABC para esta tecnologia), o que seria 20,9 milhões de UAs adicionais no sistema. Se for mantida a mesma capacidade de suporte nas pastagens degradadas, para atingir 20,9 milhões de novas UAs seria necessário desmatar mais 52,25 milhões de hectares.

Os sistemas integrados mais complexos, como ILP, ILPF e SAFs, podem gerar valores de redução de emissão ainda maiores devido à fixação adicional de carbono na biomassa florestal e no solo. Com a adoção dos sistemas de integração, considerando-se valor médio de 1,5 t C ha<sup>-1</sup> em dez anos a partir de 2014 (valor inferior ao indicado por Alves et al., 2008) e considerando-se uma taxa de conversão anual de 400 mil hectares de pastagens degradadas (2,4 milhões de hectares até 2020) em ILP ou ILPF, pode-se atingir 15,3 milhões de t CO<sub>2</sub>eq. Se for considerada toda a conversão prevista na agricultura ABC,

de pastagens degradadas em ILP ou ILPF, considerando-se um total de 42 milhões de hectares de pastagens degradadas, o potencial de mitigação seria de 230 milhões de t CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup>, o que em dez anos é maior do que o preconizado pela agricultura ABC.

Trabalhos desenvolvidos pela Embrapa e Unicamp, financiados pela Embaixada Britânica em 2012, via *The Strategic Programme Fund (SPF) from Foreign and Commonwealth Office, UK*, "Mitigando Mudanças Climáticas no Setor Agrícola – PSF LCHG 0663", apontam uma diferença no estoque de C no solo entre pastagem degradada e ILP/ILPF, de 16 a 17 t C ha<sup>-1</sup> em um horizonte de dez anos, o que corresponde a uma taxa de 1,6 a 1,7 t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 3). Os trabalhos de Tarre et al. (2001) indicam que após dez anos do plantio atingiu-se a taxa de 1,17 t C ha<sup>-1</sup> em sistema de pastagem de gramíneas consorciada com leguminosas.

**Tabela 3.** Estoque de carbono em sistemas de produção ILP, ILPF, pastagens degradadas e vegetação nativa. Valores médios em t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Assad et al. (2013).

Região Geográfica do Brasil	Vegetação nativa	Pastagens degradadas	ILP	ILPF
Nordeste	59	50	47	54
Centro-Oeste	48	42	56	44
Sul	68	49	59	95
Sudeste	59	22	50	69
Média	58	40	52	66
<b>Diferença média - pastagens degradadas</b>	<b>+18</b>	<b>0</b>	<b>+12</b>	<b>+16</b>

A situação atual indica que 61% dos contratos do plano ABC são para recuperação de pastagens, 23% para atividades de plantio direto, 7% para ILPF e 6% para florestas plantadas (Análise..., 2014). Considerando-se que em um intervalo de dez anos seria possível atingir o valor médio da diferença entre o estoque de C em pastagens degradadas e em sistemas integrados ou recuperados, e que 42 milhões de hectares de pastagens degradadas poderiam ser recuperados e outros 15 milhões transformados em sistemas integrados, seria possível evitar emissões de 143 milhões de t CO<sub>2</sub> eq/ano. Assim, apenas com a recuperação de pastagens e uso dos sistemas de ILP e ILPF é possível propor metas de mitigação mais ousadas, que ultrapassam aquelas preconizadas pelo Plano ABC. Para este tipo de contabilidade é fundamental abater as emissões diretas dos bovinos, utilizando-se os fatores de emissão definidos por Lessa et al. (2014).

## Considerações finais

Apesar de ainda ser o maior emissor de GEE no Brasil, o setor agropecuário apresenta potencial de redução em vários subsetores e processos. No setor de pecuária bovina, por exemplo, os sistemas integrados e as estratégias de manejo de pastagens apresentam grande potencial de redução de emissões e sequestro de GEE. Além disso, tais sistemas podem potencializar a competitividade do setor diante das exigências de mercados internacionais, valorizando a terra e os animais produzidos em sistemas de baixa emissão, bem como, podem alavancar a intensificação produtiva na pecuária.

Diante disso, pode-se admitir que a agricultura brasileira, via sistemas de integração, deixará de ser uma das principais responsáveis pela emissão de GEE e, em um futuro próximo, passará a ser considerada como uma eficaz mitigadora desses gases, além de aumentar a capacidade de produção desses sistemas.

Por fim, é importante destacar a necessidade de monitoramento por sensoriamento remoto do estoque de carbono no solo e na biomassa aérea das propriedades rurais com sistemas integrados, uma vez que, com a adoção dos sistemas de ILP ou ILPF, o estoque de carbono tende a aumentar gradualmente até atingir o estado de equilíbrio no solo.

## Referências bibliográficas

ALVES, B.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. Dinâmica do carbono em solos sob pastagens. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 561-569.

ANÁLISE dos recursos do programa ABC: visão regional. São Paulo: FGV, 2014. 19 p. (Observatório ABC. Ano 2, Relatório 2). Disponível em: <<http://observatorioabc.com.br/2014/10/34analise-dos-recursos-do-programa-abc-visao-regional/>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, n. 10, p. 6141-6160, 2013.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. P.; MORAES, A. G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. i-xii, out. 2011.

CORDEIRO, L. A. M.; ASSAD, E. D.; FRANCHINI, J. C.; SA, J. C. M.; LANDERS, J. N.; AMADO, T. J. C.; RODRIGUES, R. A. R.; ROLOFF, G.; BLEY JUNIOR, C.; ALMEIDA, H. G.; MOZZER, G. B.; BALBINO, L. C.; GALERANI, P. R.; EVANGELISTA, B. A.; PELLEGRINO, G. Q.; MENDES, T. A.; AMARAL, D. D.; RAMOS, E. N.; MELLO, I.; RALISCH, R. **O aquecimento global e a agricultura de baixa emissão de carbono**. Brasília, DF: MAPA, 2011. 75 p.

HAYWOOD, J.; BOUCHER, O. Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: a review. **Reviews Geophysics**, v. 38, n. 4, 513-543, Nov. 2000.

LESSA, A. C. R.; MADARI, B. E.; PAREDES, D. S.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, n.1 , p. 104-111, June 2014.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, jul. 2009. Número especial.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Earth System Research Laboratory. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide**. Disponível em: <[http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#mlo\\_growth](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#mlo_growth)>. Acesso em: 19 jan. 2015.

PBMC, Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas: **Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014, 464 pp.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. (Coord.). **Sumário executivo**: mitigando mudanças climáticas no setor agrícola: estoque de carbono nos solos da Amazônia-Brasil. Brasília, DF: Embrapa; Campinas: Unicamp, 2014. 25 p.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, out. 2011.

SHINE, K. P.; FUGLESTVEDT, J. S.; HAILEMARIAM, K.; STUBER, N. Alternatives to the global warming potential for comparing climate impacts of emissions of greenhouse gases. **Climatic Change**, v. 68, n. 3, p. 281-302, Feb. 2005.

SOUZA, D. M. G.; VILELA, L.; REIN, T. A. e LOBATO, E. Eficiência da Adubação Fosfatada em Dois Sistemas de Cultivo em Latossolo de Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Informação, globalização, uso do solo**: anais. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. p. 57-60.

TARRÉ, R. M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; REZENDE, C. de P.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under Brachiaria pastures in the atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 234, n. 1, p. 15-26, July 2001.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHAO, R. L.; GUIMARAES JUNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, out. 2011.