

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

**O Aquecimento Global e a
Agricultura de Baixa Emissão
de Carbono**

Brasília - DF

2012

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa)

Esplanada dos Ministérios – Edifício Sede

CEP: 70.043-900 Brasília-DF

Tel.: (61) 3218-2969

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Parque Estação Biológica (PqEB) – Avenida W5 Norte (Final)

CEP: 70.770-901 Brasília-DF

Tel.: (61) 3448-4368 Fax: (61) 3448-4882

Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP)

Rua Sete de Setembro, 800 - 2º andar, Conjunto 201, Centro

CEP: 84.010-350 Ponta Grossa-PR

Tel/fax: (42) 3223-9107

Apoio Editorial: Karla Duarte Virgílio e Assunta Helena Sicoli

Edição e Artes Gráficas: Mapa

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Cordeiro, Luiz Adriano Maia; Assad, Eduardo Delgado; Franchini, Júlio Cezar; Sá, João Carlos de Moraes; Landers, John Nicholas; Amado, Telmo Jorge Carneiro; Rodrigues, Renato de Aragão Ribeiro; Roloff, Glaucio; Bley Júnior, Cícero; Almeida, Herlon Goelzer; Mozzer, Gustavo Barbosa; Balbino, Luiz Carlos; Galerani, Paulo Roberto; Evangelista, Balbino Antônio; Pellegrino, Giampaolo Queiroz; Mendes, Thiago de Araújo; Amaral, Denise Deckers; Ramos, Elvison; Mello, Ivo; Ralisch, Ricardo.

O Aquecimento Global e a Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. Brasília: MAPA / EMBRAPA / FEBRAPDP, 2011.

75p.

1. Aquecimento Global. 2. Mudança do Clima. 3. Agricultura de Baixa Emissão de Carbono.

NOTA: Os artigos apresentados nesta edição são de inteira responsabilidade dos respectivos autores. As informações e opiniões, bem como a menção de quaisquer equipamentos, produtos ou técnicas, não implicam sua recomendação.

PRESIDENTA DA REPÚBLICA

Dilma Vana Rousseff

MINISTRO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA)

Jorge Alberto Portanova Mendes Ribeiro Filho

SECRETÁRIO DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E COOPERATIVISMO (SDC)

Erikson Camargo Chandoha

CHEFE DA ASSESSORIA DE GESTÃO ESTRATÉGICA (AGE)

Derli Dossa

DIRETOR-PRESIDENTE DA EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA)

Pedro Antônio Arraes Pereira

PRESIDENTE DA FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (FEBRAPDP)

Herbert Arnold Bartz

AUTORES:

Luiz Adriano Maia Cordeiro

Pesquisador, D.S., Embrapa Sede, Brasília (DF)

Eduardo Delgado Assad

Pesquisador, Ph.D., Embrapa Informática Agropecuária, Campinas (SP); Secretário de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília (DF)

Julio Cezar Franchini

Pesquisador, D.S., Embrapa Soja, Londrina (PR)

João Carlos de Moraes Sá

Professor, Ph.D., Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), no Paraná

John Nicholas Landers

O.B.E., B.Sc. Agric., M.Sc., APDC, Brasília (DF)

Telmo Jorge Carneiro Amado

Professor, Ph.D., Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no Rio Grande do Sul

Renato de Aragão Ribeiro Rodrigues

Pesquisador, D.S., Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop (MT)

Gláucio Roloff

Professor, Ph.D., Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila), em Foz do Iguaçu (PR)

Cícero Bley Júnior

Engo-Agro, Esp., Itaipu Binacional, Foz do Iguaçu (PR)

Herlon Goelzer Almeida

Engo-Agro, Itaipu Binacional, Foz do Iguaçu (PR)

Gustavo Barbosa Mozzer

Pesquisador, M.Sc., Embrapa Sede, Brasília (DF)

Luiz Carlos Balbino

Chefe-Adjunto, Ph.D., Embrapa Cerrados, Planaltina (DF)

Paulo Roberto Galerani

Pesquisador, Ph.D., Embrapa Cerrados, Brasília (DF)

Balbino Antônio Evangelista

Analista, D.S., Embrapa Cerrados, Planaltina (DF)

Giampaolo Queiroz Pellegrino

Pesquisador, D.S., Embrapa Informática Agropecuária, Campinas (SP)

Thiago de Araújo Mendes

Doutorando em Desenvolvimento Sustentável, Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS/UnB), Distrito Federal; Professor do Instituto de Educação Continuada da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (IEC-PUC Minas); Pós-graduação em Gestão de Projetos Ambientais, Belo Horizonte (MG)

Denise Deckers do Amaral

Economista, Esp., Mapa, Brasília (DF)

Elvison Ramos

Engo-Agro, Esp., Mapa, Brasília (DF)

Ivo Mello

Engo-Agro, FEBRAPDP, Alegrete (RS)

Ricardo Ralisch

Professor, D.S., UEL/FEBRAPDP, Londrina (PR)

APRESENTAÇÃO

É com satisfação que elaboramos esta cartilha *O Aquecimento Global e a Agricultura de Baixa Emissão de Carbono*, assunto que tanto vem despertando a atenção do público em virtude dos novos cenários social, político e legal relacionados às questões ambientais.

Esta publicação é resultado de uma parceria entre o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP), formalizada por meio de um protocolo de intenções assinado durante o primeiro Seminário Nacional de Sensibilização do Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), ocorrido em Brasília (DF), em setembro de 2010.

O objetivo principal desta cartilha é apresentar, em linguagem acessível, alguns conceitos sobre efeito estufa, aquecimento global, mudança do clima e importância do carbono na agropecuária. Para tanto, foram reunidos autores experientes e referências bibliográficas relevantes acerca desse tema.

Além disso, objetiva-se apresentar ações governamentais e políticas públicas, como o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, que estão sendo desenvolvidas para mitigação de emissões e remoções de carbono atmosférico em solo e biomassa, por meio de sistemas sustentáveis de produção. A cartilha também traz informações a respeito das formas de incremento da eficiência dos processos produtivos na agropecuária.

JORGE ALBERTO PORTANOVA MENDES RIBEIRO FILHO

Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa)

SUMÁRIO

O que é o efeito estufa?	9
O que significa aquecimento global e mudança do clima?	11
Quais as consequências do aquecimento global e da mudança do clima sobre a agricultura e a pecuária?	15
Quais as características do elemento carbono na natureza?	18
Como é o ciclo das diferentes formas do carbono na natureza?	19
Como é a formação do carbono do solo?	20
Como é o carbono da biomassa?	25
Como é o carbono da atmosfera?	26
Como ocorrem as emissões de GEE provocadas pelos setores das atividades econômicas no Brasil?	27
Como ocorrem as emissões de GEE provocadas pelo setor agropecuário?	30
Como ocorrem as remoções de CO ₂ pela agropecuária?	32

Existem ações governamentais para mitigação de emissões de GEE e para remoções de carbono?	41
O que significa pagamento por serviços ambientais?	46
O que são Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e Mercado de Reduções de Emissões de GEE ou Mercado de Carbono?	47
Como o agricultor e o pecuarista podem usufruir desses mecanismos? ...	50
Como o agricultor e o pecuarista podem se tornar geradores das energias que empregam em suas produções e ao mesmo tempo colaborar na mitigação da emissão de GEE?	51
O que o agricultor e o pecuarista podem fazer em relação ao problema do aquecimento global?	53
Glossário de palavras, símbolos e siglas	55
Bibliografia consultada e recomendada	69
Anexo 1	75

O que é o efeito estufa?

O fenômeno conhecido como “efeito estufa” ocorre quando a radiação solar, que chega ao Planeta Terra na forma de ondas curtas, passa pela atmosfera, aquece a superfície terrestre, refletindo de volta para a atmosfera parte dessa radiação na forma de calor, em comprimentos de onda na região do infravermelho.

No momento em que esse efeito ocorre, o calor é bloqueado por alguns constituintes químicos gasosos da atmosfera e, dessa forma, intensifica a sua retenção nas camadas mais baixas da atmosfera. Esse fenômeno natural é importante para a manutenção da temperatura, considerada dentro dos limites aceitáveis à vida no Planeta Terra (Figura 1).

Aumentos recentes nas concentrações de gases-traço com capacidade de retenção de calor – também chamados de Gases de Efeito Estufa (GEE) – na



Figura 1
Esquema demonstrativo do efeito estufa

atmosfera têm causado impacto no balanço de radiação solar do Planeta, tendendo ao aquecimento da superfície da Terra.

Os principais GEE contemplados pelo Protocolo de Quioto são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6).

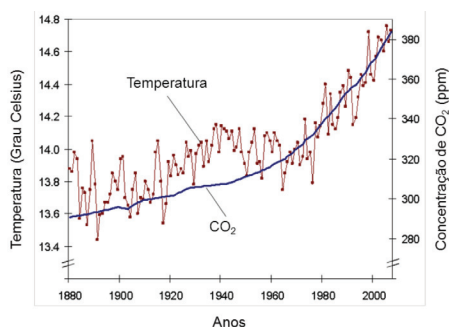


Figura 2

Aumento de temperatura (Grau Celsius) e da concentração de CO_2 na atmosfera (ppm) ao longo dos anos no Planeta Terra

Fonte: NASA/GISS; NOAA/ESRL

Atividades humanas, intensificadas a partir da Revolução Industrial (final dos anos 1700 e início dos anos 1800) e que se prolongam até a atualidade, geram inúmeras fontes de emissão de GEE decorrentes, como: queima de combustíveis fósseis, desmatamento, drenagem de pântanos, fertilizações nitrogenadas ineficientes, queimadas, preparo intensivo do solo etc.

Com a intensificação dessas atividades e, conseqüentemente, com o incremento das emissões dos GEE na atmosfera (principalmente o CO_2), detectou-se aumento do aprisionamento de calor no Planeta Terra durante um longo período de tempo (Figura 2).

O que significa aquecimento global e mudança do clima?

O termo “aquecimento global” significa que todo o Planeta Terra está se aquecendo, ou seja, a sua temperatura atmosférica média de superfície está se elevando ao longo dos anos como consequência do aumento do efeito estufa, resultante do incremento na concentração atmosférica de alguns GEE, em especial o CO₂, o CH₄ e o N₂O.

Entretanto, existem diferenças entre esses gases no que diz respeito à sua capacidade de reter calor. Por exemplo, o padrão GWP¹ adotado pelo IPCC² indica que o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) são 21 e 310 vezes mais potentes, respectivamente, em reter radiação solar do que o CO₂ para um período de 100 anos.

No Brasil, devido à maior acurácia científica na representação do potencial de aumento de temperatura de cada gás de efeito estufa, existe a preferência

¹ Sigla em inglês que significa *Global Warming Potential* ou, em português, Potencial de Aquecimento Global para um período de 100 anos (GWP-100 ou GWP-100 anos).

² Sigla em inglês que significa *Intergovernmental Panel on Climate Change* ou, em português, Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática.

pelo uso de outra métrica para medir os efeitos dos GEE, que é o GTP,³ o qual detém importante diferença com o padrão GWP (ver Anexo 1).

O CO₂ é o mais importante GEE com emissões intensificadas por atividades humanas. A concentração atmosférica global desse gás aumentou de um valor pré-industrial (por volta do ano de 1750) de cerca de 280 ppm⁴ para 394 ppm em 2010. A concentração atmosférica de CO₂ em 2005 ultrapassa em muito a faixa natural ao longo dos últimos 650 mil anos (entre 180 ppm a 300 ppm), como determinado a partir de núcleos de gelo.

As concentrações anuais de CO₂ tiveram uma taxa de crescimento maior (média entre os anos 1995-2010 = 1,94 ppm por ano) durante os últimos anos do que a que tem sido verificada desde o início das contínuas medições atmosféricas (média entre os anos 1960-2005 = 1,46 ppm por ano).⁵

Além dos aspectos citados, outros podem contribuir para o efeito estufa e para o aquecimento global: a atividade solar cíclica, que gera períodos

³ Sigla em inglês que significa *Global Temperature Potential* ou, em português, Potencial de Temperatura Global para um período de 100 anos (GTP-100 ou GTP-100 anos).

⁴ ppm = partes por milhão.

⁵ Os dados apresentados possuem como referência as medições realizadas no Observatório de Mauna Loa (Havaí, EUA). A margem de erro nas medidas e nos cálculos da elevação média anual é de 0,11 ppm/ano. Ressalta-se que a taxa de crescimento anual medida em Mauna Loa não é a mesma da taxa de crescimento global, apresentando uma pequena diferença. O desvio-padrão das diferenças encontradas em Mauna Loa em relação à medição global é menor que 0,26 ppm/ano. Para mais detalhes, recomenda-se a leitura dos estudos do Dr. Pieter Tans, da NOAA/ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/), e do Dr. Ralph Keeling, da Scripps Institution of Oceanography (scrippsco2.ucsd.edu/).

de aquecimento, os quais parecem ser acompanhados de maior concentração de CO₂, por causa da decomposição mais rápida e mais intensa de materiais orgânicos; a redução das áreas verdes cobertas por vegetação permanente; o aumento das superfícies irradiantes e produtoras de calor em excesso; e a redução de água residente, iniciando processos de aridização e de desertificação.

Nos últimos séculos, a temperatura média da superfície da Terra já aumentou cerca de 0,8°C, e a projeção é de uma elevação entre 1,4°C a 5,8°C nos próximos 100 anos, conforme o *Quarto Relatório de Avaliação do IPCC*, em 2007.

Importante destacar que esse incremento da temperatura não é espacialmente distribuído na Terra, sendo algumas regiões mais afetadas que outras pelo fenômeno.

O clima na Terra é regulado pelo fluxo constante de energia solar que atravessa a atmosfera na forma de luz visível. Dessa forma, os eventos climáticos são dependentes da temperatura da atmosfera. A principal consequência do efeito estufa e do aquecimento global é o aumento da velocidade das reações na atmosfera devido à maior disponibilidade de energia, resultando em aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos. Com isso, existe a possibilidade de modificação nos padrões do clima, ou seja, a ocorrência de uma mudança do clima.

Para o IPCC, mudança do clima refere-se a qualquer alteração climática ao longo do tempo, quer devido à variabilidade natural, quer como resultado da atividade humana. Porém, para a Convenção-Quadro das Nações Unidas

sobre Mudança do Clima (UNFCCC),⁶ esse termo refere-se a uma mudança atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, que altera a composição da atmosfera global.

Nas últimas décadas, tem-se verificado a ocorrência das maiores temperaturas históricas em várias regiões do mundo, bem como de eventos climáticos extremos (secas prolongadas e chuvas intensas, incidência de furacões, tornados, ciclones etc.) e derretimento das calotas polares.

De todas as atividades econômicas, a agricultura é, naturalmente, a mais dependente do clima e, conseqüentemente, a mais sensível à sua mudança.

Além da possibilidade de serem afetadas negativamente, a agricultura e a pecuária são atividades que geram emissões de GEE para a atmosfera, principalmente daqueles compostos de carbono (CO₂ e CH₄)⁷ e de nitrogênio (N₂O). Portanto, podem contribuir para o efeito estufa e para o aquecimento global ao mesmo tempo em que podem sofrer conseqüências desses fenômenos.

⁶ UNFCC – Sigla em inglês que significa *United Nations Framework Convention on Climate Change*.

⁷ Apesar de a ocorrência de emissões de CO₂ por atividades agropecuárias ser comprovada cientificamente, o *Inventário de Emissões Antrópicas e de Remoções por Sumidouros de GEE*, segundo as diretrizes atuais da UNFCCC, não contabiliza o CO₂ como emissão do setor da agricultura, mas somente o CH₄ e o N₂O, pois essas, quando não identificadas, são atribuídas a outros escopos setoriais, como mudança do uso da terra ou energia, por exemplo.

Quais as consequências do aquecimento global e da mudança do clima sobre a agricultura e a pecuária?

Naturalmente, a agricultura e a pecuária são dependentes das condições climáticas, uma vez que são atividades desenvolvidas em ambientes naturais transformados para produção (agroecossistemas), nos quais existe cultivo de plantas em solo com exposição direta a elementos meteorológicos (luz, temperatura, umidade, precipitação, ventos, gases atmosféricos e pressão atmosférica).

Portanto, a ocorrência da mudança do clima pode afetar a produção agropecuária e trazer consequências negativas e imprevisíveis para esse setor, pelos seguintes motivos:

- 1. Aumento na concentração de CO₂** – elevação na atividade fotossintética e no seu efeito sobre o crescimento de plantas, mas nem sempre com aumento de produtividade (desbalanço na relação fonte-dreno); e maior consumo de água.
- 2. Aumento da temperatura do ar e do solo** – incremento na produtividade de plantas de metabolismo C₄,⁸ a depender das relações

⁸ Plantas fotossinteticamente mais eficientes na utilização de luz e CO₂ para produção de açúcares em condições com alta luminosidade e temperatura, como algumas espécies de gramíneas tropicais (milho, sorgo, cana-de-açúcar, braquiárias etc.).

hídricas concomitantes (ou seja, maior consumo de água); aumento da evapotranspiração (esvaziando o reservatório solo); redução do ciclo biológico de culturas (acelerando a senescência, ou seja, a morte das plantas); aumento das taxas respiratórias pela elevação da temperatura noturna e do gasto energético, ocasionando a redução da produtividade; e mudança da dinâmica de pragas e doenças pela alteração do ciclo biológico desses organismos (podem aumentar a severidade daqueles já existentes ou transformar organismos inofensivos em novas pragas ou doenças).

- 3. Aumento de secas e chuvas torrenciais (extremos pluviométricos)** – atrasos no plantio e na perda de calendários agrícolas pelas secas prolongadas; falhas na germinação/emergência e no estabelecimento de lavouras pela falta de chuvas; déficits hídricos nas fases vegetativas e reprodutivas com comprometimentos da produtividade vegetal; chuvas mais intensas, mais frequentes e/ou erosivas e maior ocorrência de erosão; encharcamento excessivo do solo com diminuição da absorção de nutrientes e com baixo crescimento radicular; alteração das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos de forma a torná-los menos produtivos; aumento da infestação de plantas daninhas; e chuvas excessivas na colheita, com perdas econômicas.

Como consequência geral, a mudança do clima poderá ser tão intensa nas próximas décadas a ponto de mudar a geografia da produção agrícola no Brasil e no mundo. Assim, municípios que hoje são grandes produtores poderiam não ser mais em 2020 ou 2050, por exemplo. Também existem

previsões de que impactos negativos serão maiores nas regiões tropicais e subtropicais do que nas regiões temperadas.

Estudo recente⁹ mostra que o aumento de temperatura pode provocar, no Brasil, de modo geral, uma diminuição de regiões aptas para o cultivo dos grãos. Com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca, todas as culturas sofreriam queda na área de baixo risco e, por consequência, no valor da produção, podendo gerar perdas nas safras de grãos de R\$ 7,4 bilhões já em 2020 – número que pode subir para R\$ 14 bilhões em 2070.

Portanto, pode-se afirmar que existe uma sensível ligação entre as condições climáticas e a viabilidade da produção agropecuária, e dessas com as concentrações atmosféricas de GEE, e que o equilíbrio entre esses fatores é influenciado pela dinâmica de compostos de carbono na natureza.

⁹ ASSAD, E. D. et al. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Brasília: Embaixada Britânica; Campinas: Embrapa/Unicamp, 2008. 84 p.

Quais as características do elemento carbono na natureza?

O carbono (do latim *carbo* = carvão) é um elemento químico de símbolo "C", que tem como principal característica a capacidade de assumir diferentes formas na natureza (carvão, diamante, petróleo, monóxido de carbono, dióxido de carbono, açúcares ou carboidratos etc.).

O carbono forma parte de todos os seres vivos, e constitui o elemento básico da Química Orgânica, sendo conhecidos cerca de 10 milhões de compostos.

Alguns GEE também são compostos de carbono (por exemplo, CO_2 e CH_4) e, nessas formas gasosas, o elemento tem gerado grandes preocupações pela sua relação direta com o efeito estufa, o aquecimento global e a mudança do clima.

Como é o ciclo das diferentes formas do carbono na natureza?

Em função das diferentes formas encontradas na natureza, o estoque total de carbono na atmosfera (principalmente nas formas de CO_2 e CH_4) e na superfície terrestre (nas formas biótica e abiótica) depende de um delicado equilíbrio entre processos de imobilização (redução/fotossíntese) e mineralização (oxidação/decomposição), ou seja, do Ciclo do Carbono (Figura 3).

Uma vez alterado, esse ciclo, assim como o Ciclo do Nitrogênio, pode ter seu equilíbrio modificado e possibilitar o predomínio de algumas das formas de carbono, em detrimento de outras. Tal fato pode, por exemplo, ser observado com os carbonos do solo, da biomassa e da atmosfera.

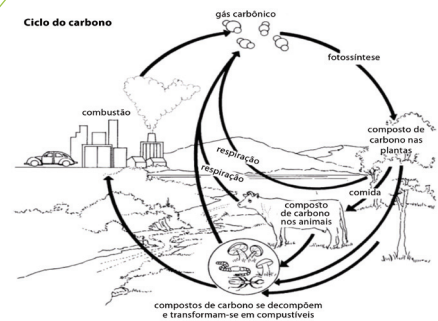


Figura 3
Ciclo do Carbono

Como é a formação do carbono do solo?

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.

No entanto, a MOS possui também compartimentos mais lábeis,¹⁰ como o carbono da biomassa e o carbono ativo (MOS transitória), que ciclam o carbono mais rapidamente no ecossistema e são importantes fontes de energia para biomassa do solo e de nutrientes para as plantas. Essas frações mais lábeis influenciam a qualidade do solo e são influenciadas, ao longo do tempo, pelas práticas de manejo do solo e das culturas (Figuras 4 e 5).

¹⁰ Um componente se diz lábil quando é pouco estável, disponível, transitório.

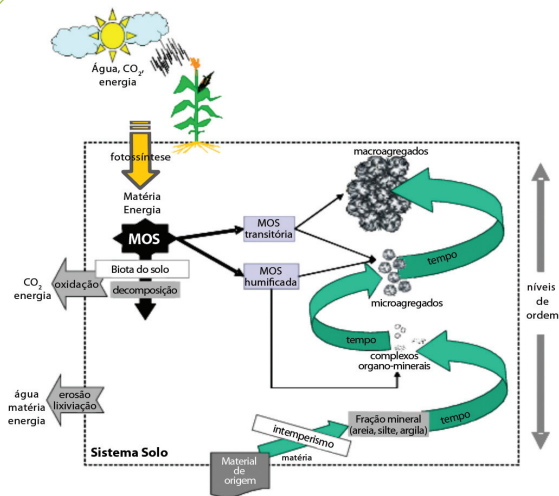


Figura 4

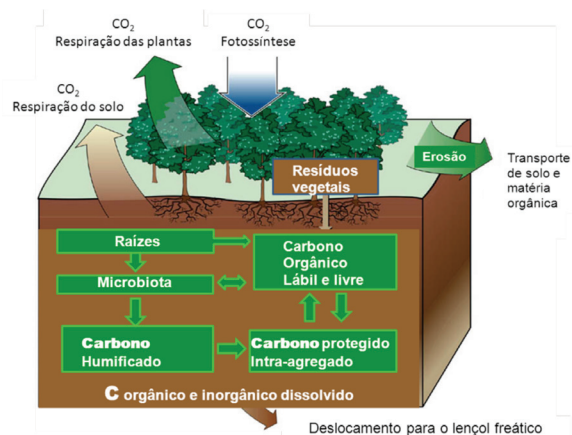
Representação esquemática do processo de organização do solo, destacando os principais subprocessos de energia e matéria

Fonte: Roscoe et al. (2006)

Figura 5

Formação do carbono do solo e de seus compartimentos

Fonte: João Carlos de Moraes Sá



Dessa forma, o húmus (carbono humificado) é constituído por compostos orgânicos (polímeros) com propriedades de natureza coloidal¹¹ capazes de agregar partículas minerais, proporcionar ao solo condições favoráveis de porosidade e friabilidade, bem como aumentar a capacidade de retenção de água e a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do solo. Assim, considera-se que o húmus funciona como um “condicionador do solo”.

As substâncias húmicas, representadas pelos ácidos húmicos e fúlvicos e pela humina, têm em média 58% de carbono e, por isso, utiliza-se o fator de 1,724 para converter a percentagem de carbono expressa nos laudos da análise do solo em percentagem de MOS, conforme a fórmula a seguir:

$$\text{COT\%} \times 1,724 = \% \text{ MOS}$$

Os sistemas de produção agropecuária baseados nos princípios da Agricultura Conservacionista¹² proporcionam gradual aumento dos teores de COT e MOS. A biomassa aportada é mantida na superfície do solo, em limitado contato com este e reduzido fracionamento por implementos agrícolas, proporcionando uma decomposição mais lenta e gradual em relação ao manejo por meio do qual os resíduos são incorporados ao solo (Figura 6).

¹¹ Partículas ou sistemas nos quais um ou mais componentes apresentam pelo menos uma de suas dimensões dentro do intervalo de 1nm a 1µm. Os coloides têm, em geral, características específicas, como possuir massa e relação área/volume de partícula elevadas, manifestar efeitos de adsorção e dupla camada elétrica etc.

¹² Agricultura Conservacionista, como definido pela FAO (<http://www.fao.org/ag/ca/>, em 13/02/2011), é aquela atingida pela aplicação de três princípios básicos: menor perturbação possível do solo, cobertura permanente do solo e rotação de culturas. Isso deve resultar em uma agricultura sustentável e lucrativa, melhorando, assim, o modo de vida dos agricultores.

Isso favorece a retenção de COT e a conseguinte redução ou restrição do seu rápido retorno (por oxidação biológica) para a atmosfera durante do Ciclo do Carbono.



Figura 6

Resíduos vegetais (palhada) em decomposição sobre a superfície do solo e início da formação da MOS

Foto: João Carlos de Moraes Sá

Ao contrário da Agricultura Conservacionista, os métodos de preparo convencional do solo, envolvendo as operações de revolvimento por meio da aração e/ou gradagem, promovem a incorporação dos resíduos vegetais e a exposição do solo às intempéries.

Consequentemente, ocorrem a erosão e a degradação, acompanhadas do rompimento dos agregados e do aumento da porosidade do solo, com maior entrada de O_2 no sistema, levando a MOS à exposição aos microrganismos e às mudanças nos regimes de umidade e temperatura do solo, provocando incremento da oxidação do COT. O resultado final do processo desencadeará maior fluxo de CO_2 para a atmosfera, com elevadas perdas de carbono.

Resumo das funções benéficas do carbono e da matéria orgânica do solo

- Atuam como agentes cimentantes de partículas primárias e de agregados, melhorando a estrutura do solo e a porosidade.
- Estabilizam agregados do solo.
- Aumentam a CTC.
- Aumentam a atividade biológica.
- Proporcionam/possibilitam maior drenagem e armazenamento de água.
- Reciclam e fornecem nutrientes às plantas, como nitrogênio, fósforo, enxofre.
- Evitam a fixação e aumentam a disponibilidade de fósforo.
- Diminuem a toxicidade de alumínio.
- Degradam defensivos agrícolas no solo.
- Aumentam a retenção do *carbono no solo (COT)* e *diminuem as emissões de CO₂*.

Como é o carbono da biomassa?

Depois da água (H_2O), o carbono é o elemento que entra em maior quantidade na constituição dos organismos vivos. Ele é o componente fundamental das moléculas orgânicas. Os teores de carbono total da biomassa variam de 40% a 55% com base na sua matéria seca.

O carbono na forma gasosa da atmosfera (CO_2) é transformado em carbono da biomassa por meio da fotossíntese, processo de usar a energia dos raios solares para sintetizar compostos de carbono na planta. Dentro das plantas, esse elemento participa da constituição de diversos compostos orgânicos, como açúcares, aminoácidos, proteínas, gorduras, ácidos orgânicos, celulose, hemicelulose, lignina etc.

Como é o carbono da atmosfera?

A atmosfera é uma camada que recobre o Planeta Terra, composta por vários gases, sendo os principais o nitrogênio (78%) e o oxigênio (21%). Os demais constituem cerca de 1% e existem em concentração menor, como CO₂, argônio, hidrogênio, neônio, hélio, N₂O, ozônio (O₃), entre outros gases-traço.

Como explicado anteriormente, alguns desses gases atmosféricos têm carbono em sua composição, principalmente o gás carbônico (CO₂) e o metano (CH₄), com, respectivamente, 0,039% (393,69 ppm)¹³ e 0,00014% (1,4 ppm) da composição atmosférica. Essa composição está sendo alterada por meio de emissões de GEE oriundas de atividades econômicas.

¹³ Disponível em: <www.CO2now.org>.

Como ocorrem as emissões de GEE provocadas pelos setores das atividades econômicas no Brasil?

Historicamente, os países desenvolvidos têm contribuído significativamente para o aumento de temperatura média da superfície do Planeta em função da grande quantidade de emissões de GEE, principalmente aqueles que contêm carbono queimado na forma de carvão mineral, petróleo e outras fontes abióticas de combustíveis fósseis.

No caso específico do Brasil, as contribuições mais importantes para a emissão de GEE são aquelas provenientes do uso da terra, das mudanças do uso da terra e das florestas, representando 68,1% das emissões de GEE (em mil toneladas de CO₂ equivalente), convertidas por meio da métrica GTP, em 2005. Por sua vez, a agricultura brasileira representou somente 10,2% das emissões no mesmo período (Tabela 1).

Tabela 1 – Emissões antrópicas de GEE (em mil toneladas de CO₂ equivalente) convertidas por meio das métricas GWP e GTP, em 2005 e por setor

Setor	GWP		GTP	
	Emissões em 2005	Participação (%) em 2005	Emissões em 2005	Participação (%) em 2005
Energia	328.808	15,0	319.667	17,0
Processos industriais	77.939	3,6	74.854	4,0
Mudança de uso da terra e florestas	1.329.053	60,6	1.279.501	68,1
Agricultura	415.754	18,9	192.411	10,2
Tratamento de resíduos	41.048	1,9	12.596	0,7
Total	2.192.602	100	1.879.029	100,0

Fonte: MCT (2010).

Em 2005, as emissões brasileiras líquidas somente de CO₂ foram estimadas em 1,638 bilhão de toneladas, destacando-se o setor de mudança do uso da terra e das florestas, com 79% das emissões, seguido pelo setor de energia, com 20% de participação no total de emissões.

Nesse mesmo ano, as emissões líquidas de CH₄ foram estimadas em 18,1 milhões de toneladas, sendo que os setores de mudança de uso da terra e das florestas e agropecuário foram responsáveis por 70% das emissões totais, seguidos pelas emissões do setor energético, com 17%, e do setor de tratamento de resíduos, com 10%. Os dois subsectores mais importantes da agropecuária foram o da fermentação entérica da pecuária, com 63%, e o da conversão de florestas para outros usos no bioma Amazônia, com 12%.

As emissões líquidas de N_2O foram estimadas em 546 mil toneladas, basicamente por causa do setor agropecuário, responsável por 87% das emissões totais. Dentro desse setor, as emissões provenientes de solos agrícolas participaram com 96%, incluindo, entre outras, as emissões de dejetos de animais em pastagem, que, sozinhas, representam 46% do setor.

Como ocorrem as emissões de GEE provocadas pelo setor agropecuário?

As atividades agropecuárias geram emissões diretas e indiretas de GEE por diversos processos, como: fermentação entérica nos herbívoros ruminantes (CH_4), produção de dejetos de animais (CH_4 e N_2O), preparo convencional do solo (CO_2), cultivo de arroz inundado (CH_4), queima de resíduos agrícolas (CO_2 , CH_4 , N_2O , entre outros), emissão de N_2O em solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados, queima pelo consumo de combustíveis fósseis (CO_2) na produção e no transporte de produtos agrícolas e utilização de insumos que, para sua produção, demandam elevado consumo de energia na sua industrialização (fertilizantes, herbicidas, fungicidas).

A título de exemplo mais detalhado, pode-se considerar o preparo convencional do solo, que por si só promove emissão de CO_2 quando as perdas por oxidação são maiores do que as adições de carbono na forma de resíduos vegetais (palhada). Esse processo ocorre com a ruptura dos agregados que expõe a MOS – mistura de material orgânico fresco com o solo – facilitando a decomposição e, finalmente, o aumento na atividade microbiana, resultando em maior taxa de decomposição de carbono (Figura 7).

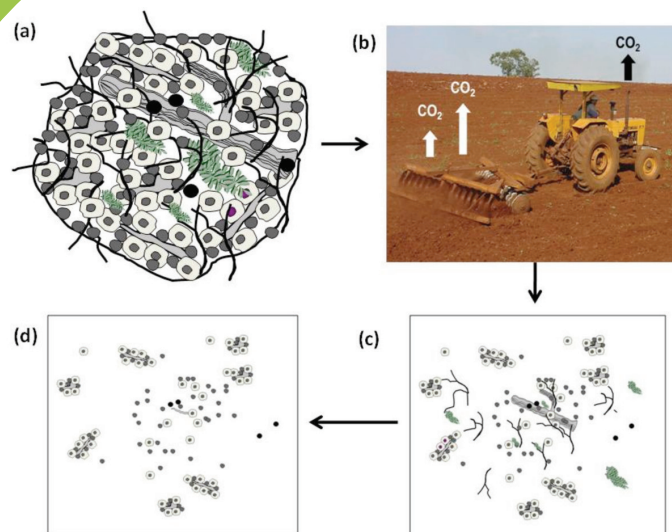
Figura 7

Esquema de ruptura do agregado e perda de carbono pelo preparo do solo

Fonte: Sá et al. (2008)

(Foto sobre preparo do solo – cedida por Dirceu Gassen)

Obs.: a) macroagregado protegendo a MOS;
b) preparo do solo;
c) rompimento do agregado e exposição dos tipos de MOS ao ataque dos microrganismos do solo;
d) solo disperso e suscetível à erosão e à compactação.



Como ocorrem as remoções de CO₂ pela agropecuária?

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 CO₂, popularmente chamadas de “sequestro de carbono”.

Nesse último processo, o CO₂ da atmosfera é capturado pelas plantas verdes (Figura 8) e transformado em compostos orgânicos por meio da *fotossíntese*, que é a reação entre o CO₂ e a água (H₂O), produzindo carboidratos (açúcares) e oxigênio (gás que retorna à atmosfera).

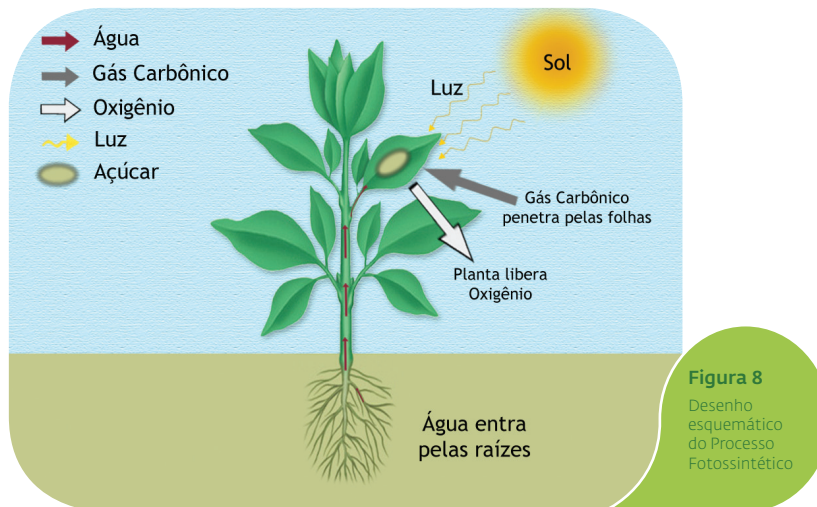


Figura 8

Desenho esquemático do Processo Fotossintético

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



Portanto, de maneira sintética, observa-se que moléculas de um gás atmosférico que contém carbono (CO_2) reagem com a água, em partes das plantas verdes (folhas, caule etc.) e em presença de luz, e se transformam em um composto orgânico em estado sólido com carbono em sua composição (carboidratos ou açúcares), 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, o elemento passa a desempenhar inúmeras funções na formação da biomassa e no metabolismo vegetal, sendo o componente de diversos compostos orgânicos.

Com a morte das plantas, tem-se a formação dos resíduos vegetais (serrapilheira em áreas de floresta ou palhada de culturas após a colheita), que, 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 CO₂.

A manutenção dos resíduos na superfície 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 formação de estruturas denominadas agregados. Os resíduos vegetais recém-adicionados ao solo são incorporados no interior dos agregados, onde são 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 de COT e MOS formados.

O acúmulo de MOS no Sistema Plantio Direto (SPD) e, conseqüentemente, o seu potencial para a remoção de CO₂ no Brasil, por exemplo, já foi com-

provado por vários autores nas diferentes ecorregiões. Esse processo de fixação de carbono no solo na forma de matéria orgânica humificada (estável) durante um período longo de tempo é conhecido popularmente como sequestro de carbono.

Dessa forma, os solos manejados sob SPD sem preparo e com adição de palhada passam da condição de fonte de CO₂ rumo à atmosfera para a condição de dreno ou assimilação de CO₂ para o solo (Figuras 9 e 10).

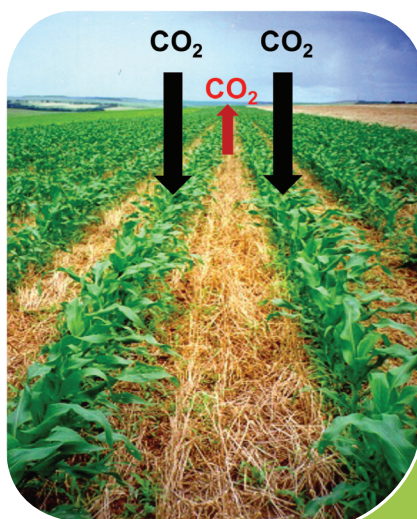


Figura 9

Sistema Plantio Direto (SPD) de milho em palhada de aveia-preta

Foto: Luiz Adriano Maia Cordeiro

Outro efeito de redução das emissões de GEE no SPD está relacionado à diminuição das operações mecanizadas. Estimativas indicam redução de 40 litros de óleo diesel por hectare por ano com a eliminação de uma aração e duas gradagens.

Porém, para que as taxas de sequestro de CO₂ sejam elevadas, faz-se necessário associar o SPD com rotação de culturas e culturas de cobertura. A utilização de leguminosas é importante para melhorar o balanço de nitrogênio no agroecossistema e incrementar o sequestro de CO₂ no solo, pois as dinâmicas do carbono e do nitrogênio estão intimamente associadas. Portanto, incrementar a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) por meio do uso de leguminosas é uma importante estratégia de manejo.

A adoção do SPD, com a produção adequada de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, além de armazenar carbono – melhorando a infiltração de água das chuvas e a permeabilidade do solo, sua capacidade de armazenar água disponível (essencial para explorar o potencial de produção dos cultivos) –, reflete radiação solar de ondas curtas (evita que gerem calor porque a palhada, com sua coloração mais clara, possui refletividade maior, albedo maior). Também estabiliza a temperatura do solo, evitando picos de calor que podem reduzir a eficiência das raízes em absorver água e nutrientes, e reduz as perdas de água do solo por evaporação e transpiração, o que resulta, por exemplo, em menor necessidade de irrigação, com economia de 30% a 50% na necessidade de água e de energia.

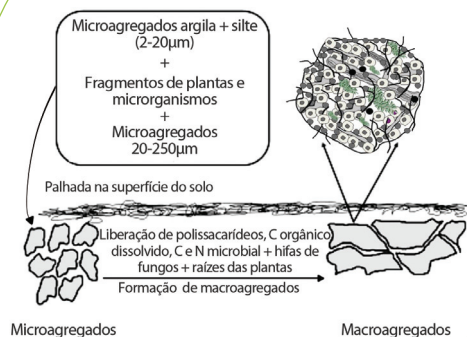


Figura 10

Desenho esquemático do processo de armazenamento de carbono oriundo da palhada na superfície no macroagregado, tornando o solo um dreno do CO₂ atmosférico

Fonte: Sá et al. (2008)

Os sistemas mais complexos, como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), 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 ILPF, parte do CO₂ removido poderá auxiliar na redução de emissões em outros setores além da agricultura se a madeira obtida for utilizada para a 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.

De forma similar e com maior capacidade, enquadram-se os plantios comerciais de florestas, em especial eucalipto e pinus, entre outras espécies adaptadas à silvicultura. Esses sistemas já estão associados a metodologias do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto e atividades de projetos nessa área já estão em execução no Brasil.

Figura 11

Sistema Silvistoril, uma modalidade de ILPF

Foto: Embrapa.



Exemplos de Tecnologias e Sistemas Sustentáveis de Produção Agropecuária

Sistema Plantio Direto (SPD): também chamado de plantio direto ou plantio direto na palha. É um sistema de produção baseado na manutenção dos resíduos vegetais (palhada) sobre a superfície do solo, na eliminação das operações de preparo do solo e na adoção da rotação de culturas. Promove aumento dos teores de carbono e matéria orgânica do solo (pela decomposição e manutenção da palhada sobre o solo sem incorporá-la); melhora as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo; promove economia de tempo e combustível; e pode aumentar a produtividade das culturas.

Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF): é uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica. Pode ser adotada em diferentes formatos: Integração Lavoura-Pecuária (Agropastoril); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (Agrossilvipastoril); Integração Pecuária-Floresta (Silvipastoril) ou Integração Lavoura-Floresta (Silviagrícola). Promove verticalização produtiva, incremento de renda por hectare e aumento do estoque de carbono no solo e na biomassa.

Recuperação de Pastagens Degradadas: sistema que promove a recuperação da capacidade produtiva das pastagens degradadas com o incremento na produção da biomassa vegetal das espécies forrageiras (por meio da calagem e adubação) e seu manejo racional. Existem diferentes técnicas de recuperação direta ou indireta de pastagens. Reduz a necessidade de expansão de áreas de pastagens sobre florestas e aumenta o carbono em solo e biomassa, pois promove maior acúmulo das forrageiras e seu uso adequado (Figura 12).

Fixação Biológica de Nitrogênio: uso de microrganismos que possuem uma enzima denominada nitrogenase e que são capazes de transformar o nitrogênio atmosférico (N_2) em NH_3 , forma nitrogenada prontamente assimilável pelas plantas e outros organismos. Dessa forma, reduz o uso de fertilizantes nitrogenados de origem fóssil na agricultura, minimiza e até mesmo neutraliza os impactos ambientais associados ao uso intensivo dos fertilizantes nitrogenados, pois reduz a emissão de N_2O .

Florestas Plantadas: a produção de florestas plantadas com fins econômicos, principalmente com espécies como eucalipto e pinus, nas propriedades rurais, possui quatro objetivos básicos: implementar uma fonte de renda de longo prazo para a família do produtor; aumentar a oferta de madeira para fins industriais (celulose e papel, móveis e painéis de madeira), energéticos (carvão vegetal e lenha), construção civil e outros usos; reduzir a pressão sobre as matas nativas; capturar CO_2 da atmosfera, reduzindo os efeitos do aquecimento global.

Tratamento de Dejetos Animais: o tratamento adequado de efluentes e dejetos animais contribui para a redução da emissão de metano (CH_4), que representa o equacionamento de um problema ambiental, além de possibilitar aumento na renda dos agricultores, seja pelo composto orgânico gerado, seja pela geração de energia. Os processos de biodigestão e compostagem, já conhecidos, proporcionam a redução de custos de produção, por evitar o consumo de energia e insumos químicos, e diminuir os riscos para o meio ambiente, bem como reduzir a emissão de GEE. O biogás gerado em tratamentos sanitários anaeróbicos – biodigestores – de dejetos animais e outros resíduos orgânicos agropecuários tem características combustíveis que favorecem sua aplicação para geração de energia elétrica, térmica e automotiva. Além de estabelecer a eficiência energética das atividades que dele se utilizam, confere possibilidades de substituir, ainda que parcialmente, os combustíveis fósseis e as madeiras utilizadas nas operações agropecuárias, estabelecendo novas rendas para o setor.

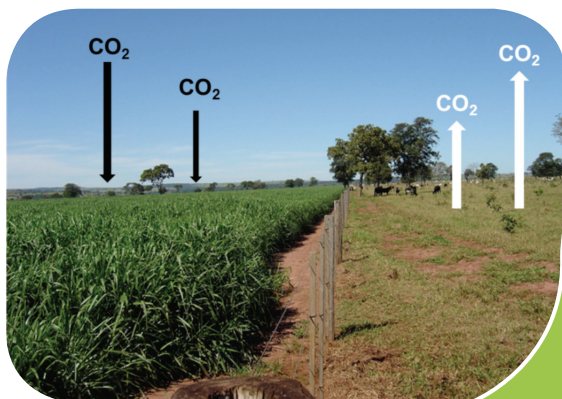


Figura 12

Pastagens Recuperadas, à esquerda, promovendo influxo líquido de carbono (ganho de carbono) no sistema solo-planta em contraste com pastagens degradadas, à direita, que promovem o efluxo líquido (perda de carbono)

Foto: Embrapa.

Resumidamente, pode-se registrar a existência de alguns processos e práticas agrícolas que afetam o balanço do carbono global, como: mudança do uso da terra, desmatamento, queima da biomassa, erosão do solo, superpastejo, degradação de pastagens, mecanização do solo (aração, gradagem etc.), depleção da fertilidade do solo, tratamento de dejetos e resíduos orgânicos, entre outros.

Em contraste, existem várias práticas agrícolas que recompõem o reservatório de COT e MOS e restauram a capacidade dos solos como sumidouros de carbono, sendo, portanto, tecnologias mitigadoras de emissões desse elemento químico: SPD, Sistemas de ILPF, reflorestamento, práticas conservacionistas, uso de inoculantes para FBN, recuperação de pastagens degradadas, manejo racional de pastagens, plantio de culturas perenes, uso adequado de fertilizantes químicos e adubos orgânicos, adoção de Sistemas Agroflorestais (SAFs), tratamento sanitário de dejetos e resíduos orgânicos, com aproveitamento energético do biogás, entre outras.



Existem ações governamentais para mitigação de emissões de GEE e para remoções de carbono?

Sim, existem. A realização do evento conhecido como “Rio 92”, ou seja, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, sediada no Brasil, teve como um de seus resultados a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Assim, o tema mudança global do clima vem sendo uma parte vital da agenda nacional.

Ao mesmo tempo, o país utilizou os recursos naturais, tão abundantes em seu vasto território, na exploração e no desenvolvimento de energias renováveis, que possibilitam o reconhecimento de que sua economia é pouco intensiva em emissão de carbono.

A Convenção possui como objetivo final alcançar a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera em um nível que impeça interferência antrópica perigosa no sistema climático. Esse nível deverá ser alcançado em prazo suficiente para que os ecossistemas se adaptem naturalmente à mudança do clima, assegurando que a produção de alimentos não seja ameaçada, e que o desenvolvimento econômico prossiga de maneira sustentável.

Dentre outros princípios da Convenção, destaca-se o das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, referido no artigo 3º, parágrafo 1º, que dispõe que as Partes (ou seja, os países que ratificaram a Convenção)

devem proteger o sistema climático em benefício das gerações presentes e futuras da humanidade com base na equidade e em conformidade com suas responsabilidades comuns, mas diferenciadas, e respectivas capacidades. Em decorrência, as Partes do Anexo I da Convenção (que é composto por países desenvolvidos) devem tomar a iniciativa no combate à mudança do clima e a seus efeitos.

Portanto, como o problema da mudança do clima é reconhecido pela maior parte dos países (a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima é o acordo da ONU com maior número de participantes, 194 países), e o Brasil vem desempenhando papel de liderança nas negociações internacionais e nas pesquisas sobre mudança do clima, é preciso ampliar cada vez mais o conhecimento em todas as áreas relacionadas ao tema.

Após a 15ª Conferência das Partes (COP-15), realizada no ano de 2009, em Copenhague, Dinamarca, com o intuito de informar as Partes da Convenção, o Governo brasileiro indicou um compromisso nacional voluntário (mais conhecido como Nama), com potencial de redução das emissões de GEE entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões brasileiras projetadas até 2020.

Para tanto, o Governo está implantando diferentes ações, como a redução do desmatamento da Amazônia e do Cerrado, a ampliação da eficiência energética e a adoção, em larga escala, de práticas sustentáveis na agricultura.

No caso específico da agricultura, os compromissos se referem à expansão da adoção ou do uso de tecnologias para mitigar emissões de GEE e, em contrapartida, promover a retenção ou remoção de CO₂ na biomassa e no solo. A esse conjunto de tecnologias denominou-se “Agricultura de Baixa Emissão de Carbono” (Tabela 2).

Tabela 2 – Processo tecnológico e compromisso nacional relativo à mitigação de emissões de GEE pela Agropecuária

Processo Tecnológico	Compromisso (aumento de área/uso)
Recuperação de Pastagens Degradadas ¹	15,0 milhões ha
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta ²	4,0 milhões ha
Sistema Plantio Direto	8,0 milhões ha
Fixação Biológica de Nitrogênio	5,5 milhões ha
Florestas Plantadas ³	3,0 milhões ha
Tratamento de Dejetos Animais	4,4 milhões m ³

Notas: ¹ Por meio do manejo adequado, calagem e adubação.

² Incluindo Sistemas Agroflorestais (SAFs).

³ Não está computado o compromisso brasileiro relativo ao setor da siderurgia; e não foi contabilizado o potencial de mitigação de emissão de GEE.

Esses compromissos foram ratificados no artigo 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC). Consta nessa legislação que o Poder Executivo estabelecerá 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 a agricultura.

Em 9 de dezembro de 2010, foi publicado o Decreto nº 7.390, que regulamenta os artigos 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187. Para efeito dessa regulamentação,

no caso específico da agricultura, ficou estabelecida a constituição do Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, também denominado Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono).

O objetivo geral desse Plano é promover a mitigação da emissão de GEE na agricultura, no âmbito da PNMC – melhorando a eficiência no uso de recursos naturais e aumentando a resiliência de sistemas produtivos e de comunidades rurais –, e possibilitar a adaptação do setor agropecuário à mudança do clima.

Trata-se, portanto, de um conjunto de ações que promovem “baixa” emissão de GEE pelo setor agropecuário, e não “nula” emissão, o que é impossível na prática. Ou seja, o ABC também tem por objetivo garantir o aperfeiçoamento contínuo e sustentado das práticas de manejo que reduzam a emissão dos GEE e, adicionalmente, que aumentem a fixação atmosférica de CO₂ na vegetação e no solo dos setores da agricultura brasileira.

O ABC está estruturado em seis ações: 1) Recuperação de Pastagens Degradadas; 2) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); 3) Sistema Plantio Direto (SPD); 4) Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN); 5) Florestas Plantadas; e 6) Tratamento de Resíduos Animais.

Para cada iniciativa do Programa ABC, estão previstas diversas ações como: divulgação; capacitação de técnicos e produtores; transferência de tecnologia; pesquisa e desenvolvimento; regularização fundiária e ambiental; linhas

de crédito para fomento à produção sustentável; produção e distribuição de mudas florestais; disponibilização de insumos para agricultores familiares; contratação de assistência técnica; entre outras.

A coordenação da execução do Plano está a cargo dos ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e do Desenvolvimento Agrário (MDA).

Entre as ações já adotadas pelo Governo Federal, destaca-se a criação de uma linha de crédito para financiar os agricultores que adotem sistemas produtivos eficientes capazes de contribuir para a mitigação dos GEE. Essa linha de crédito já disponibilizou R\$ 3,15 bilhões no Plano Agrícola e Pecuário 2011/2012, com taxas de juros de 5,5% ao ano e prazo para pagamento de até 15 anos.

O que significa pagamento por serviços ambientais?

É uma transação voluntária na qual um serviço ambiental bem definido, ou um uso da terra que gere esse serviço, é remunerado de alguma forma por um comprador, desde que assegurada a sua provisão por aquele que dispõe desse serviço, no caso o produtor rural. São exemplos dessa prática a remoção de CO₂ ou a melhoria da qualidade da água por meio de um SPD de qualidade, o que gera melhorias ambientais, com consequentes benefícios ao conjunto da sociedade.

Na Organização Mundial do Comércio (OMC), o conceito de serviços ambientais é delimitado no mandato negocial de Doha, sob a ótica das negociações para a liberalização do comércio de bens e serviços ambientais. Tanto na lista da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) quanto na lista do Acordo de Cooperação Ásia-Pacífico (Apec), serviços ambientais são definidos pelo uso final, classificados em três atividades principais: controle de poluição (atmosférica, hídrica, do solo e sonora); gestão de recursos (destaque para sistemas de purificação e abastecimento de água potável); e tecnologia e produtos limpos ou eficientes no uso de recursos naturais.

O que são Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e Mercado de Reduções de Emissões de GEE ou Mercado de Carbono?

O MDL é um mecanismo compensatório, no qual reduções de emissões nos países em desenvolvimento resultam em autorização para mais emissões de combustíveis fósseis nos países desenvolvidos. Para que o mecanismo seja neutro (o MDL é um mecanismo de soma zero), a redução tem de ser real e mensurável no país em desenvolvimento, o que é garantido pelo conceito de adicionalidade.¹⁴

Ou seja, as reduções de emissões nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, têm de ser adicionais às que ocorreriam na ausência do projeto. Assim, o uso de álcool pela frota de automóveis brasileira não pode ser considerado adicional, nem deve resultar em autorização de novas emissões de gases de efeito estufa nos países desenvolvidos, pois estaria aumentando as emissões em relação a um cenário tendencial e agravando o aquecimento global.¹⁵

¹⁴ Critério estabelecido pelo artigo 12 do Protocolo de Quioto, ao qual estão submetidos os projetos desenvolvidos pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Sob esse critério, uma atividade deve, comprovadamente, resultar na redução de emissões de Gases de Efeito Estufa ou no aumento de remoções de CO₂ de forma adicional ao que ocorreria na ausência de uma atividade de projeto. O objetivo é avaliar se a atividade proporciona uma redução real, mensurável e de longo prazo para a mitigação das mudanças climáticas.

¹⁵ José Domingos Gonzalez Miguez e Adriano Santhiago de Oliveira, intitulada "Visões Institucionais e Políticas a Respeito da Mudança do Clima".

As normas internacionais para o que é popularmente conhecido como “Mercado de Carbono” constam no Protocolo de Quioto, no qual um dos mecanismos de flexibilização é o MDL. O “crédito de carbono” do MDL é denominado Redução Certificada de Emissão (RCE), ou em inglês, *Certified Emission Reductions* (CER). Uma RCE corresponde a uma tonelada de CO₂ equivalente.

O Brasil destaca-se no cenário internacional como um dos principais países anfitriões para o desenvolvimento de projetos no âmbito do MDL. Além da ideia de o MDL ter nascido da Proposta Brasileira de 1997, nas negociações internacionais que antecederam a adoção do Protocolo de Quioto, o Brasil foi um dos primeiros países a estabelecer localmente as bases necessárias para o desenvolvimento de projetos no MDL, com a criação da sua Autoridade Nacional Designada (AND), tendo sido ainda a primeira nação a formalizar a inscrição de sua AND junto ao Conselho Executivo do MDL.

O trabalho desempenhado pelo Governo brasileiro no sentido de assegurar um ambiente com regras claramente definidas para o desenvolvimento de projetos do MDL refletiu-se no estímulo à resposta da sociedade civil. A primeira metodologia aprovada no MDL, junto ao seu Conselho Executivo, é brasileira (Aterros Sanitários – Salvador, Bahia); posteriormente, o primeiro projeto efetivamente registrado também foi brasileiro (Projeto Nova Gerar – Rio de Janeiro).

Atualmente, o MDL assume dimensões verdadeiramente globais, envolvendo a participação de mais de 70 nações, com potencial de redução de emissões, para o Primeiro Período de Obtenção de Créditos, de 8.659 milhões t CO₂eq e com a participação de mais de 7.742 projetos em alguma fase do ciclo de projetos do MDL.

O Brasil possui predominância de atividades nos setores energético, com 52,3% dos projetos; suinocultura (15,4%); troca de combustíveis fósseis (9,2%); e aterro sanitário (7,6%), dentre outros.

O país mantém-se como uma das nações líderes nesse processo, ocupando o terceiro lugar em número de projetos (499), com potencial de redução anual de emissão de gases de efeito estufa projetada para o primeiro período de compromisso de 52.284.950 t CO₂eq, o que representa 5% do total mundial, atrás somente da China (51%) e da Índia (21%). O potencial de reduções de emissões para o primeiro período de crédito dos projetos brasileiros é de 412.197.677 t CO₂eq, o que corresponde a 5% do total mundial; nesse cenário, o Brasil permanece em terceiro lugar, atrás da China (47%) e da Índia (25%).

Em países onde a matriz energética é muito dependente do consumo de combustíveis fósseis, especialmente do carvão mineral, como é o caso da China e da Índia, o potencial de redução de GEE em setores industriais e de energia, por exemplo, é muito mais alto do que em países como o Brasil, que possui sua matriz energética baseada em fontes renováveis. Mesmo assim, o Brasil tem obtido êxito no desenvolvimento de projetos MDL em vários setores industriais.

Ao considerar o potencial de redução anual na ordem de 50 milhões de toneladas de CO₂eq e o potencial de redução de emissões para o primeiro período de obtenção de créditos na ordem de 412 milhões de toneladas de CO₂eq, com um valor de US\$ 15 por tonelada de CO₂eq, o montante de recursos externos a ingressar no país seria, respectivamente, de US\$ 750 milhões e de US\$ 6,18 bilhões. Se as RCE (créditos de carbono) obtidas pelas atividades de projetos de MDL fossem consideradas na pauta de exportações, em 2009, estariam na 16ª colocação dessa pauta.

Como o agricultor e o pecuarista podem usufruir desses mecanismos?

O agricultor e o pecuarista devem buscar assistência técnica pública ou privada, ou consultores, para que obtenham suporte tecnológico e usufruam das ações governamentais e dos mecanismos existentes em torno da mitigação das emissões de dióxido de carbono e de outros GEE, bem como da adaptação à mudança do clima e das alternativas de mercado focadas em questões ambientais.

A sustentabilidade somente poderá ser atingida em sua plenitude no momento em que todos tenham consciência de seu papel envolvendo as questões ambientais, de seus riscos e oportunidades.

A sociedade está sendo desafiada a romper com o modelo de produção agropecuária pouco sustentável, de forma a atender ao aumento da demanda alimentar ao mesmo tempo em que promove preservação e melhoria ambiental, a fim de garantir as demandas das futuras gerações.

O Brasil conseguiu desenvolver diferentes tecnologias sustentáveis de produção agropecuária para o ambiente tropical, e hoje é um exemplo para o mundo. Assim, o agricultor e o pecuarista brasileiros já dispõem de alternativas tecnológicas desenvolvidas para suas condições edafoclimáticas e socioeconômicas, bem como de legislação e políticas públicas elaboradas para dar suporte ao aumento da escala de adoção com vistas à mitigação da emissão de GEE.

Como o agricultor e o pecuarista podem se tornar geradores das energias que empregam em suas produções e ao mesmo tempo colaborar na mitigação da emissão de GEE?

Os agricultores e os pecuaristas são grandes consumidores de energias, tanto elétrica quanto combustível. Essa prática só não é mais intensa porque, devido aos altos custos, eles costumam limitar o uso das energias e, conseqüentemente, o avanço tecnológico das suas atividades. São inúmeros os exemplos da intensidade de uso das energias em uma propriedade rural, incluindo a manutenção do conforto nas casas dos agricultores/pecuaristas e de seus empregados.

Entre os vários exemplos de atividades agropecuárias nas quais a energia elétrica é empregada, citam-se: irrigação; secagem e moagem de grãos; conforto de animais confinados; iluminação para o manejo e operações específicas como incubação de ovos etc. No caso da energia combustível, têm-se ações periódicas para operações de plantio, manejo de solos e culturas durante a safra; transporte e movimentação de produtos agrícolas após colheitas; movimentação de animais entre os diferentes estágios da produção; coleta diária de produtos (como leite, ovos etc.); distribuição diária de rações; além da mobilidade pessoal dos trabalhadores e produtores rurais, todas mantidas por combustíveis fósseis.

Enquanto isso, as fontes renováveis de energia, essenciais para a redução de emissão de GEE, encontram no meio rural as melhores condições de aplica-

ção e rendimento, tais como: espaços livres, exposição ao sol, proximidade de recursos hídricos, ventos favoráveis e disponibilidade de áreas para reflorestamentos energéticos.

O biogás é um exemplo de fonte energia absolutamente disponível, porque resulta das próprias atividades produtivas – tratamento de dejetos animais e produção de metano (CH_4).

As características químicas do biogás o asseguram como fonte renovável de energias térmica, elétrica e automotiva, que podem ser utilizadas para substituir as geradas em fontes externas à propriedade. Assim, tem-se o uso racional de um importante GEE (metano), mitigando as emissões desse gás.

Importante ressaltar que, para fazer uso das energias renováveis, os produtores devem buscar assistência técnica pública ou privada, ou consultores.

O que o agricultor e o pecuarista podem fazer em relação ao problema do aquecimento global?

O primeiro passo é se informar. Apesar de as emissões serem localizadas, o fenômeno de aquecimento é global, ou seja, afeta todo o Planeta Terra. Sendo assim, a sua interferência sobre o delicado sistema climático também será de forma globalizada, o que significa dizer que esse problema deve ser resolvido por toda a humanidade.

Tanto a agricultura quanto a pecuária são atividades de extrema sensibilidade ao aumento de temperatura e às mudanças do clima. Ao mesmo tempo, tais atividades podem contribuir para mitigar os efeitos desses sérios problemas ambientais.

De forma objetiva, o que o setor agropecuário deve fazer é reduzir ao máximo as emissões de GEE por produto agrícola produzido, e, em sentido contrário, aumentar ao máximo as remoções de GEE em biomassa e solo. Isso contribui para a redução do fenômeno do efeito estufa, proporciona a diminuição do aquecimento global e, adicionalmente, aumenta a eficiência e resiliência dos sistemas produtivos, promovendo, assim, a sustentabilidade agropecuária.

O que se deseja para o agricultor e para o pecuarista da região tropical é que tenham acesso a tecnologias, produtos e serviços que proporcionem a adoção e/ou expansão de áreas com sistemas sustentáveis de produção, garantindo

melhorias ambientais, aumento na produtividade e na qualidade do produto, incremento na geração de renda, efetividade na conservação do solo e da água para reduzir os futuros impactos dos efeitos adversos da mudança do clima nas propriedades. Espera-se também que, no futuro, eles sejam reconhecidos e remunerados por prestação de serviços ambientais.



Glossário de palavras, símbolos e siglas

- **Agricultura Conservacionista** – praticada em conformidade com os preceitos da conservação do solo. Como definido pela FAO (<http://www.fao.org/ag/ca/>, em 13/02/2011), é aquela atingida pela aplicação equilibrada de três princípios básicos: menor perturbação possível do solo, cobertura permanente do solo e rotação de culturas. Isso deve resultar em uma agricultura sustentável e lucrativa, melhorando, assim, o modo de vida dos agricultores.
- **Adaptação à mudança do clima** – medidas tecnológicas preventivas à mudança do clima, ou de preparação das comunidades humanas e do meio natural para enfrentar os impactos dos seus efeitos adversos; ou seja, pelo planejamento de medidas emergenciais de reparação de danos, decorrentes da mudança do clima e/ou de eventos climáticos extremos consumados; ações visando ao aumento da resiliência dos sistemas produtivos e de comunidades concomitantemente à redução de vulnerabilidades frente aos impactos dos efeitos adversos da mudança climática.
- **Agregados do solo** – modo como as partículas do solo (argila, silte e areia) se arranjam no espaço, constituindo a estrutura do solo; inclui o tamanho, a forma e o arranjo dos agre-

gados, formados quando partículas primárias se agrupam, em unidades separáveis (macroagregados), gerando, assim, os espaços porosos, cuja estabilidade é influenciada pela Matéria Orgânica do Solo (MOS).

- **Atividade Microbiana** – atividade de microrganismos do solo, como a respiração, a fixação biológica do nitrogênio, a mineralização de compostos orgânicos, a atividade enzimática e a produção da biomassa microbiana do solo.
- **Atmosfera** – camada gasosa que envolve o Planeta Terra, composta de diferentes gases atraídos por gravidade.
- **ABC** – Agricultura de Baixa Emissão de Carbono.
- **Biodigestão anaeróbica** – digestão de resíduos orgânicos e efluentes (dejetos animais líquidos) realizada por colônia mista de microrganismos, em ambiente no qual haja ausência de oxigênio. Resultam da biodigestão o biogás e o digestato com características de biofertilizante.
- **Biodigestor** – dispositivo para o tratamento sanitário de resíduos orgânicos e de dejetos animais, construído segundo critérios de engenharia que produzem a redução da carga orgânica dos materiais a ele submetidos (em torno de 70%). Apesar disso, os biodigestores não removem nutrientes dissolvidos como nitrogênio (N) e fósforo (P).

- **Biogás** – resultado da biodigestão anaeróbica, o biogás é composto por gás metano (CH_4), em torno de 60%; dióxido de carbono (CO_2), 39%; e gases-traço, 1%. O biogás tem poder calorífico em torno de 4.000 e 5.000 kJ/m³ sendo o metano o componente que lhe confere a combustibilidade. Uma vez filtrado o gás sulfídrico (H_2S), um dos gases-traço da composição, o biogás pode ser usado para a geração de energias elétrica, térmica (secagem de grãos, lodos e outros) e automotiva (em desenvolvimento). O metano possui um potencial de aquecimento global (GWP) 21 vezes maior que o CO_2 .
- **Biomassa** – material biológico fresco ou com vida, derivado de qualquer ser vivo, como uma planta viva, uma árvore recém-cortada, caule e folhas recém-colhidas, insetos ou microrganismos, dejetos animais e outros resíduos orgânicos da agropecuária etc.
- **Biota do solo** – conjunto de seres vivos do solo, o que inclui a flora, a fauna, os fungos, as bactérias e outros grupos de organismos.
- **C** – carbono; elemento químico.
- **°C** – grau Celsius; medida de temperatura.
- **C₂F₆** – hexafluoretano; gás atmosférico.
- **CH₄** – metano; gás atmosférico.
- **Clima** – processos atmosféricos, climáticos e meteorológicos; conjunto de informações sobre os fenômenos atmosféricos que caracteriza uma região ou bioma.

- **Cloroplasto** – organela presente nas células das plantas, que possui a clorofila, um pigmento de cor verde; local na célula vegetal onde se realiza a fotossíntese.
- **CO₂** – dióxido de carbono ou gás carbônico; gás atmosférico.
- **CO₂eq ou CO₂ equivalente** – medida utilizada para comparar as emissões de vários GEE baseadas no GWP (ou PAG).
- **COP** – *Conference of the Parties*; Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.
- **Combustível fóssil** – combustível mineral; grupo de substâncias formadas de compostos de carbono, usados para alimentar a combustão, como o carvão mineral, o petróleo e seus derivados (gasolina, diesel) e o gás natural; por serem produzidos a partir da decomposição de matéria orgânica, em um longo processo que leva milhares de anos, os combustíveis fósseis não são renováveis ao longo da escala de tempo humana.
- **CQNUMC** – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima; sinônimo de UNFCCC.
- **CTC** – Capacidade de Troca de Cátions; Capacidade de Troca Catiônica; número total de cátions (elementos químicos iônicos com carga positiva) trocáveis que um solo pode reter (a quantidade de sua carga negativa); cátions adsorvidos nos colóides do solo (argila e MOS); quanto maior a CTC do solo,

maior o número de cátions que esse solo pode reter; característica físico-química fundamental ao manejo adequado da fertilidade do solo; expressa em termos de centimol de carga por dm^3 ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) ou milimol de carga por dm^3 ($\text{mmol}_c/\text{dm}^3$) e calculada pela soma $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$.

- **Degradação do solo** – perda da capacidade produtiva do solo.
- **Dejetos animais** – materiais resultantes do sistema digestivo dos animais, como fezes e urina, misturados com a água do manejo e, às vezes, inadequadamente, com águas de chuvas e/ou perdas hidráulicas, ou ainda infiltrações. Esses dejetos possuem alta carga orgânica, medida pela Demanda Química de Oxigênio (DQO) e pela Demanda Bioquímica ou Biológica de Oxigênio (DBO), e, para se degradarem, produzem impactos de poluição hídrica, caso não sejam tratados sanitariamente, pela supressão do Oxigênio (O) das águas e pela fertilização dos ambientes aquáticos (eutrofização), assim como pela poluição atmosférica (com a emissão de biogás), em cuja composição encontra-se o metano, um dos principais GEE.
- **Dreno de CO_2** – compartimento da natureza responsável por absorver ou captar CO_2 atmosférico.
- **Erosão do solo** – perda física de solo originada pela ação das chuvas (erosão hídrica) ou do vento (erosão eólica).
- **FBN** – Fixação Biológica de Nitrogênio; processo biológico simbiótico entre microrganismos e algumas espécies de plantas, no

qual ocorre transformação do nitrogênio atmosférico (N_2) em uma forma nitrogenada assimilável.

- **Fertilizante** – produto sintético composto de elementos químicos que visam suprir a nutrição mineral de plantas, sendo aplicados na agricultura com o intuito de aumentar e melhorar a produção; adubos.
- **Fertilizante nitrogenado** – produto sintético que possui, em sua composição, como nutriente principal o elemento nitrogênio (N) em formato assimilável pelas plantas; adubo nitrogenado; produto industrial derivado da amônia (NH_3) em um processo que utiliza fontes fósseis.
- **Fontes biogênicas** – fontes de emissão de GEE de origem biológica.
- **Fonte de CO_2** – compartimento da natureza responsável por emitir ou liberar CO_2 para a atmosfera.
- **Fontes de energia renovável** – elementos naturais, com características favoráveis para a geração de energias e com capacidade de repor seus estoques continuamente, quando utilizados (ex.: sol, vento, água). Relevante destacar que, por ser inerente às atividades que o gera, o biogás é considerado uma fonte renovável de energia.
- **Forma biótica** – forma que detém vida; fenômeno biológico.
- **Forma abiótica** – forma que não detém vida; fenômeno não biológico.

- **GEE** – Gases de Efeito Estufa.
- **GTP** – sigla em inglês que significa *Global Temperature Potential*, ou em português Potencial de Temperatura Global; medida alternativa ao GWP, que mede a variação da temperatura média da superfície global em um determinado horizonte de tempo, ocasionada pela emissão de uma massa de GEE em relação à emissão de uma massa equivalente de CO₂. O Brasil considera o GTP mais apropriado do que GWP para indicar a importância relativa dos diferentes gases de efeito estufa em termos de contribuição para o aquecimento global. Além de comparar as emissões dos GEE por meio de suas contribuições para a mudança da temperatura média na superfície terrestre em um dado horizonte de tempo futuro, o GTP reflete melhor a real contribuição dos diferentes Gases de Efeito Estufa para a mudança do clima; o seu uso propiciaria políticas de mitigação mais apropriadas.
- **GWP** – sigla em inglês que significa *Global Warming Potential*, ou em português Potencial de Aquecimento Global; medida que avalia como determinada quantidade de GEE contribui para o aquecimento global, para isso, compara o gás em questão com a mesma quantidade de dióxido de carbono (cujo potencial é definido como 1). O Governo brasileiro contesta a utilização do GWP para comparação de GEE. A opção de agregar as emissões relatadas em unidades de dióxido de carbono equivalente com o uso do GWP em um horizonte de tempo de 100 anos não foi adotada pelo Brasil, que relatou suas emissões apenas em unidades de massa de cada gás de efeito estufa, conforme apresentado no seu Inventário Ini-

cial. Na visão do Brasil, o GWP não representa de forma adequada a contribuição relativa dos diferentes gases de efeito estufa à mudança do clima. O uso do GWP enfatiza sobremaneira, e de modo errôneo, a importância dos gases de efeito estufa com curtos períodos de permanência na atmosfera, como o metano.

- **HFC** – hidrofluorcarbono; gás atmosférico.
- **Húmus** – matéria orgânica do solo humificada e estável; composto que contém carbono do solo constituído, principalmente, por ácidos orgânicos (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina).
- **ILP** – Integração Lavoura-Pecuária; sistema de produção que integra o componente agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e em um mesmo ano agrícola, ou por múltiplos anos.
- **ILPF** – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área. O componente “lavoura” restringe-se ou não à fase inicial de implantação do componente florestal.
- **Imobilização** – processo de transformação de um elemento mineral em composto orgânico durante a decomposição da MOS por microrganismos heterotróficos, em que parte dos compostos simples e da energia liberada é utilizada para seu próprio metabolismo e para sua reprodução, a qual provoca um aumento da

biomassa no solo, imobilizando parte dos nutrientes que estavam contidos nos resíduos. Esse aumento da biomassa representa imobilização temporária dos nutrientes que agora fazem parte dos tecidos microbianos; redução.

- **Intemperismo** – conjunto de fenômenos físicos, químicos e biológicos que atuam ao longo do tempo geológico na degradação e erosão das rochas, com consequente formação de solos e do relevo terrestre.
- **IPCC** – *Intergovernmental Panel on Climate Change*; Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima; órgão da Organização das Nações Unidas (ONU) estabelecido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA ou Unep) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM ou WMO), sendo composto por delegações científicas de governos para prover avaliações regulares sobre a mudança do clima.
- **Lixiviação** – lavagem ou perda vertical de elementos químicos do solo pela água, desde as camadas superficiais até as camadas mais profundas.
- **m₃** – metro cúbico.
- **Macrorganismos do solo** – componentes da fauna do solo com tamanho do corpo >20 mm, podendo ser herbívoros ou fitófagos (ácaros, crustáceos, colêmbolos, insetos, moluscos, nematoides e protozoários), carnívoros ou zoófagos (ácaros,

aracnídeos, insetos e protozoários), coprófagos, necrófagos e saprófagos (ácaros, anelídeos, insetos e protozoários).

- **Mapa** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- **Metabolismo vegetal** – transformações que ocorrem no interior dos organismos vegetais; conjunto de reações e transformações das substâncias bioquímicas que ocorrem nas células vegetais responsáveis pelos processos de síntese e degradação dos nutrientes, crescimento e reprodução das células e formação de biomassa; anabolismo e catabolismo.
- **Mg** – megagrama ou 1.000.000 g ou 10^6 g; 1 Mg = 1 tonelada.
- **Microrganismos do solo** – componentes da microbiologia do solo com tamanho reduzido, como bactérias, protozoários e fungos.
- **Mineralização** – retorno de elementos da forma orgânica à sua forma solúvel disponível (mineral) para o aproveitamento pelas plantas; oxidação.
- **Mitigação da mudança do clima** – consiste em uma intervenção humana com o intuito de reduzir ou remediar a emissão de GEE; prevenção das causas das mudanças climáticas, visando à minimização de seus efeitos adversos, o que seria possível por meio da redução de emissão de GEE para a atmosfera.
- **MOS** – Matéria Orgânica do Solo; material presente nas camadas superficiais do solo, composto principalmente de carbono, nitro-

gênio, fósforo, enxofre e outros elementos, resultante da decomposição de material orgânico por macro e microrganismos do solo, e que não é possível reconhecer sua origem por estar complexado no solo; húmus.

- **MRV** – Monitoramento, Reporte e Verificação; metodologia internacional de comprovação de ações de mitigação.
- **Mudança do clima** – para o IPCC, refere-se a qualquer mudança no clima ao longo do tempo, quer devido à variabilidade natural, quer como resultado da atividade humana. Porém, para a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima, refere-se à mudança atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altere a composição da atmosfera global.
- **N** – nitrogênio; azoto; elemento químico; sua forma como um gás atmosférico é o N_2 .
- **N_2O** – óxido nitroso; gás atmosférico.
- **Namas** – *Nationally Appropriate Mitigation Actions*; Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas. Países em desenvolvimento não possuem metas de redução de emissão de GEE, e sim ações de mitigação adequadas ao contexto nacional. São ações que podem levar a um desvio substancial das emissões dos países em desenvolvimento em relação à trajetória tendencial. Essas ações deverão ser monitoradas, informadas e verificadas. Tem por objetivo uma desaceleração substancial no crescimento de suas emissões.

São, portanto, distintas das metas quantificadas de reduções de emissões dos países desenvolvidos.

- O_2 – oxigênio molecular; gás atmosférico.
- O_3 – ozônio; gás atmosférico.
- **PAG** – Potencial de Aquecimento Global; idem GWP.
- **PTG** – Potencial de Temperatura Global; idem GTP.
- **PFC** – Perfluorcarbono; gás atmosférico.
- **PNMC** – Política Nacional sobre Mudança do Clima.
- **ppm** – partes por milhão.
- **Preparo Convencional do Solo** – sistema de manejo mecânico do solo, com predomínio do revolvimento de suas camadas superficiais por meio de implementos de discos ou hastes (arados, grades, subsoladores etc.), em que ocorre inversão ou não do horizonte, incorporação dos resíduos vegetais e exposição da superfície do solo (solo fica descoberto).
- **RCE** – Redução Certificada de Emissão, ou em inglês *Certified Emission Reductions (CER)*; corresponde a uma tonelada de CO_2 equivalente ou “crédito de carbono”.

- **Resíduos vegetais** – palhada; restos de plantas, caule, folhas etc.; biomassa já morta ou em decomposição.
- **Rio 92** – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992, na cidade do Rio de Janeiro.
- **SAF** – Sistema Agroflorestal; sistemas de cultivo que combinam culturas anuais herbáceas (forrageiras ou não) consorciadas com espécies arbóreas (frutíferas ou florestais) na mesma área, de forma sequencial ou rotacionada.
- **Serviços ambientais** – aqueles que se apresentam como fluxos de matéria, energia e informação de estoque de capital natural, que, combinados com serviços do capital construído e humano, produzem benefícios aos seres humanos, tais como: i) os bens produzidos e proporcionados pelos ecossistemas, incluindo alimentos, água, combustíveis, fibras, recursos genéticos, medicinais naturais; ii) serviços obtidos da regulação dos processos ecossistêmicos, como qualidade do ar, regulação do clima, regulação da água, purificação da água, controle de erosão, regulação de enfermidades humanas, controle biológico e mitigação de riscos; iii) benefícios não materiais que enriquecem a qualidade de vida, tais como diversidade cultural, valores religiosos e espirituais, conhecimento – tradicional e formal –, inspirações, valores estéticos e éticos, relações sociais, sentido de lugar e pertencimento, valor de patrimônio cultural, recreação e ecoturismo;

e iv) serviços necessários para produzir todos os outros, incluindo produção primária, formação do solo, produção de oxigênio, retenção de solos, polinização, provisão de habitat e reciclagem de nutrientes.

- **SPD** – Sistema Plantio Direto; sistema de produção baseado no cultivo de lavouras anuais em solo não revolvido, com resíduos vegetais em sua superfície (palhada) e em sistema de rotação de culturas.
- **t** – tonelada ou 1.000 kg; equivalente a Mg (megagrama).
- **t CO₂ eq** – toneladas de dióxido de carbono equivalente.
- **t CO₂ eq/ano** – toneladas de dióxido de carbono equivalente por ano.
- **UA** – Unidade Animal; equivalente a 450 kg de peso vivo animal.
- **UNFCCC** – *United Nations Framework Convention on Climate Change*; Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Bibliografia consultada e recomendada

AMADO, T. J. C. et al. Potential of Carbon Accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, p. 1599-1607, 2006.

ASSAD, E. D. et al. **Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil**. Brasília: Embaixada Britânica; Campinas: Embrapa/Unicamp, 2008. 84 p.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, p. 237-245, 2006.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 (Lei Ordinária). Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 dez. 2009. Seção Extra, p. 109. Coluna 2.

_____. Decreto nº 7.390, de 09 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 dez. 2010.

CARVALHO, J. L. N. et al. Adequação dos sistemas de produção rumo à sustentabilidade ambiental. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Ed.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 671-692.

CARVALHO, J. L. N. et al. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p. 342-349, 2009.

CARVALHO, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277-289, 2010.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. TZ-Verag, Rossdorf: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH/IAPAR, 1991. 272 p. (Sonderpublikation der GTZ, n. 245).

FRANCHINI, J. C. et al. **Integração Lavoura-Pecuária**: alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 20 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 77, ISSN 2176-2864 Versão Eletrônica).

GASSEN, D. N., GASSEN, F. R. **Plantio Direto**. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207p.

GHINI, R.; HAMADA, E. **Mudanças Climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 331p.

GOUVELLO, C. **Estudo de Baixo Carbono para o Brasil**. Brasília: Banco Mundial, 2010. 278 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007**: synthesis report. PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (Ed.). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2007.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003.

LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. 397p.

LIMA, M. A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, n. 3, p. 451-472, 2002.

LOBELL, D. B.; BALA, G.; DUFFY, P. B. Biogeophysical impacts of cropland management changes on climate. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L06708, doi: 10.1029/2005GL025492, 2006.

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

MACHADO, J. A. **Efeito dos sistemas de cultivo reduzido e convencional na alteração de algumas propriedades físicas e químicas do solo.** 129f. Tese (Livre Docência) – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1976.

MARENCO ORSINI, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade:** caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. v. 1. 214 p.

McGUIRE, B. What are the chances of a devastating supervolcano in Yellowstone? **The Guardian Newspaper**, Seção Science, 17, Oct. 2011.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Brasília: MCT, 2010. v. 1 e 2.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao plantio convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.

PHILLIPS, S. H.; YOUNG JR., H. M. **No-Tillage Farming.** Milwaukee: Reiman Associates, 1973. 224p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo:** a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 1979. 549p.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. S. **Mudanças Climáticas:** visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 200p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres; Piracicaba: Potafos, 1991.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304p.

SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993. 96p.

SÁ, J. C. M. et al. Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage cronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p.1486-1499, 2001.

SÁ, J. C. M. et al. O plantio direto como base do sistema de produção visando o seqüestro de carbono. **Revista Plantio Direto**, n. 84, nov./dez. 2004.

SÁ, J. C. M. et al. Dinâmica da Matéria Orgânica nos Campos Gerais. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. revista e ampliada. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema Plantio Direto**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa. 1998. (Coleção 500 Perguntas 500 Respostas).

SATURNINO, H. M.; LANDERS, J. N. **O meio ambiente e o plantio direto**. Goiânia: Embrapa SPI. 1997.

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

SANTOS, G. A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. revista e ampliada. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654p.

TRIPLETT JR., G. B.; DICK, W. A. No-Tillage Crop Production: A Revolution in Agriculture! **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. S-153-S165, 2008. (Celebrate the Centennial, A Supplement to Agronomy Journal).

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. 6. ed. São Paulo: Andrei, 2007. 718p.

Anexo 1

Diferença entre os fatores GTP e GWP

Gás	GWP ¹	GTP ²
CO ₂	1	1
CH ₄	21	5
N ₂ O	310	270
HFC-125	2.800	1.113
HFC-134a	1.300	55
HFC-143a	3.800	4.288
HFC-152a	140	0,1
CF ₄	6.500	10.052
C ₂ F ₆	9.200	22.468
SF ₆	23.900	40.935

Fonte: MCT (2010).

Notas: ¹De acordo com a Decisão 17/CP.8;

²Para CH₄ e N₂O – Shine et al. (2005); para HFCs – Zhang et al. (2010) e para PFCs e SF₆ – Zhang et al. (submetido à publicação).

