

PARTE IV

MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E AGRICULTURA

*"O mundo não será destruído
por quem pratica o mal, mas por
quem o vigia sem fazer nada"*
Albert Einstein

MUDANÇA DO CLIMA E A AGENDA 2030

Ana Paula Contador Packer, Luciano Lourenço Nass, Magda Aparecida de Lima, Fernanda Garcia Sampaio, Marcelo Gomes da Silva e Sandro Eduardo Marschhausen Pereira

INTRODUÇÃO

A agricultura sustentável e a mudança do clima são dois temas interligados e de extrema importância para alcançar os objetivos da Agenda 2030, estabelecida pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015. Essa Agenda tem por finalidade contribuir para o alcance de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), os quais são desdobrados em 169 metas que abordam diversos temas de relevância para o desenvolvimento humano e são considerados interdependentes e indivisíveis (Figura 22.1).



Figura 22.1. Temáticas abordadas nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).
Fonte: Adaptado de Nações Unidas Brasil (2024)

Em nível global, os sistemas alimentares enfrentam os efeitos da mudança do clima e, ao mesmo tempo, desempenham um papel ativo no agravamento da crise climática. As ações antropogênicas potencializadoras das emissões de gases do efeito estufa (GEE), aliadas a outros fatores, desempenham um papel significativo no aumento da temperatura média global. Essas mudanças têm impactos significativos na

frequência de eventos climáticos extremos, na modificação dos padrões de chuva, na perda de biodiversidade, na pressão sobre os recursos hídricos e na segurança alimentar, com impacto direto nos sistemas de produção agropecuária. As respostas a esse desafio envolvem duas estratégias essenciais: a mitigação de GEE e a adaptação à mudança do clima. Na mitigação, esforços são empreendidos para reduzir, evitar as emissões de GEE ou removê-los da atmosfera. Em contrapartida, a adaptação consiste no aumento da resiliência dos sistemas agropecuários, aumentando a capacidade de se adaptarem a eventos climáticos extremos e, assim, reduzindo sua vulnerabilidade às mudanças do clima.

É crucial analisar o impacto das mudanças climáticas na agropecuária de maneira holística, considerando diversos eixos e camadas, incluindo fatores ambientais, biológicos e socioeconômicos (Figura 22.2). Nesse contexto abrangente, a cooperação entre governos, organizações internacionais, cientistas, agricultores e outros atores relevantes torna-se fundamental. Essa colaboração é essencial para enfrentar os desafios das mudanças climáticas na agricultura, garantindo a segurança alimentar global e contribuindo de maneira significativa para o alcance dos ODS.

A Embrapa Meio Ambiente é protagonista nessa temática, e vem há anos trabalhando no desenvolvimento de pesquisa, inovação e apoio às políticas públicas para a agropecuária no contexto das mudanças do clima. O primeiro grande projeto institucional em rede nessa temática foi o Agrogases, desenvolvido no período de 2003 a 2007, que ao longo dos anos foi desdobrado em novas agendas de abrangência nacional e internacional. O Agrogases, entre outros projetos que contaram com a liderança e a participação da equipe técnica, balizaram e contribuíram diretamente com a elaboração de políticas públicas e de planos setoriais, bem como na tomada de decisões nas esferas nacional, estadual, regional e municipal no que tange às mudanças do clima.

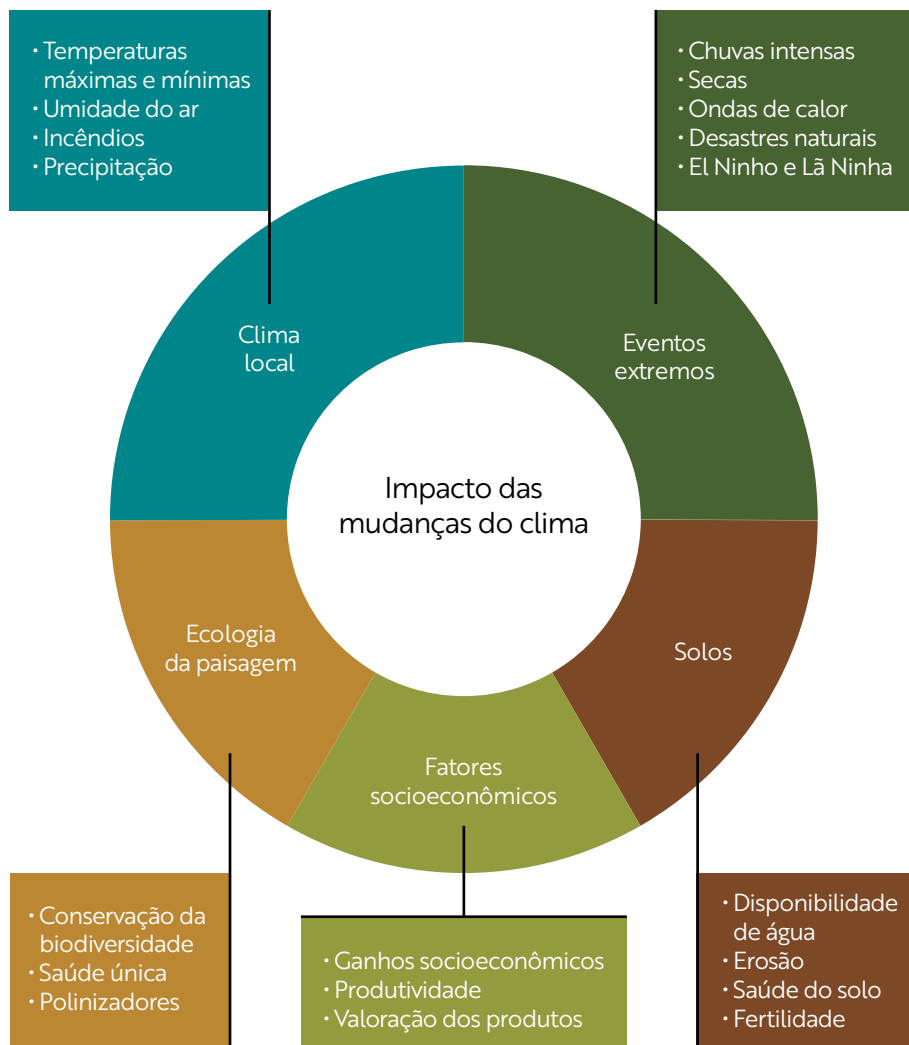


Figura 22.2. Impacto das mudanças climáticas na agropecuária.

Fonte: Adaptado de Assad et al., 2019.

ALGUMAS AÇÕES DA EMBRAPA PARA OS ODS

O documento da ONU *Transformando o nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável* estabelece uma visão extremamente ambiciosa e transformadora, em que o alimento é suficiente, seguro, acessível e nutritivo, dando ênfase às questões relacionadas à sustentabilidade social, econômica e ambiental.

A Embrapa vem atuando nessa Agenda com diversas contribuições, inclusive com a divulgação de suas atividades em *e-books*¹ para todos os 17 ODS. Além disso, a Embrapa tem auxiliado no estabelecimento de um arcabouço legal e colaborado com políticas públicas relevantes para a agricultura, tais quais: o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, o Plano Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC), a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), o Programa Nacional de Solos do Brasil (Pronasolos), o Código Florestal, o Programa de Bioinsumos, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), a Lei de Pagamentos de Serviços Ambientais (PSA), entre outras.

A importância das questões climáticas é tão relevante para o mundo que um dos ODS é direcionado especificamente ao tema. O ODS 13 – “Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos” – reconhece que a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC) é o fórum internacional intergovernamental primário para negociar a resposta global a este fenômeno.

A PARTICIPAÇÃO DA EMBRAPA EM POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL

Considerada uma das legislações ambientais mais complexas e avançadas globalmente, a legislação ambiental brasileira compreende mais de 2800 atos normativos e cerca de 100 leis. Criadas com o objetivo primordial de salvaguardar o meio ambiente e minimizar as consequências das atividades humanas, as leis ambientais representam um conjunto robusto de medidas. Organizadas em 24 eixos, nove dos quais se concentram diretamente em temas relacionados à interface entre agricultura e meio ambiente, essas disposições regulamentares desempenham um papel crucial ao impulsionar programas e ações diretamente vinculados a esse contexto, conforme ilustrado na Figura 22.3.

Nesse arcabouço complexo, vale destacar algumas políticas públicas e planos setoriais de grande importância para a agropecuária brasileira que contam com a participação da Embrapa Meio Ambiente, diretamente ou através de subsídios científicos.

O primeiro Código Florestal Brasileiro foi instituído pelo Decreto n. 23.793, de 23 de janeiro de 1934, revogado posteriormente pela Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965,

¹ Disponível em: <https://www.embrapa.br/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods/o-que-sao-os-ods>

que estabeleceu o Código Florestal vigente até a publicação da Lei Federal n. 12.651, de 25 de maio de 2012. O Novo Código Florestal Brasileiro dispõe sobre a preservação da vegetação nativa, e sobre a responsabilidade do proprietário de ambientes protegidos, entre a Área de Preservação Permanente (APP) e a Reserva Legal (RL), em preservar e proteger todos os ecossistemas.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) foi criada pela Lei n. 12.187, de dezembro de 2009. A PNMC define adaptação como as “iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima”. Essa política pública estabeleceu planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas em direção a uma economia de baixo consumo de carbono em diversos setores, entre eles o da agricultura.

A Lei n. 13.576, de 26 de dezembro de 2017, instituiu a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), com o propósito de impulsionar o crescimento da produção e uso de biocombustíveis na matriz energética brasileira. Essa política governamental reconhece a interconexão entre eficiência energética e a redução das emissões de GEE, visando facilitar a transição para uma matriz de transportes com menor impacto ambiental. Isso contribui de forma significativa para as metas globais de GEE, alinhando-se com os compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris. Além do pilar da transição energética, soma-se a certificação da produção de biocombustíveis e a implementação do Crédito de Descarbonização (CBIO).

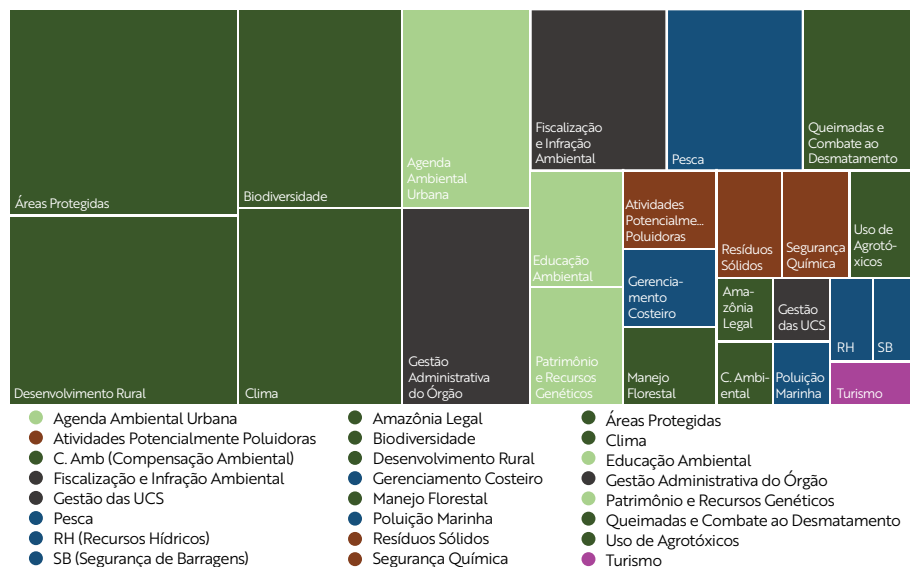


Figura 22.3. Eixos temáticos da legislação ambiental, com destaque em verde aos tópicos relacionados diretamente à agricultura sustentável.

O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) foi um dos planos setoriais elaborados no âmbito da PNMC com a finalidade de organizar o planejamento das ações, visando à adoção de tecnologias sustentáveis de produção para responder aos compromissos assumidos pelo país em relação à redução de emissão de GEE e para o processo de adaptação do setor agropecuário. Com base nesses compromissos, o Plano ABC foi estruturado em sete programas: recuperação de pastagens degradadas; integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais; sistema de plantio direto; fixação biológica do nitrogênio; florestas plantadas; tratamento de dejetos animais; adaptação às mudanças climáticas (Brasil, 2012).

O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) foi estabelecido pela Portaria MMA n. 150, de maio de 2016. Esse plano está organizado em 11 estratégias de adaptação: agricultura; biodiversidade e ecossistemas; cidades; desastres naturais; indústria e mineração; infraestrutura (energia, transporte e mobilidade urbana); povos e comunidades vulneráveis; recursos hídricos; saúde; segurança alimentar e nutricional; e zonas costeiras. Particularmente na agricultura, o PNA incentiva a busca por soluções mais adaptadas às condições locais, diversificando a dieta tanto em termos de oferta de alimentos quanto em relação à qualidade nutricional. Ainda, o PNA sinaliza o potencial do melhoramento genético de variedades tolerantes aos estresses abióticos, a transição de produção para sistemas mais integrados, o acesso a novas tecnologias e mecanismos de gestão que conservem os recursos naturais (Brasil, 2016).

Em novembro de 2017 foi lançado o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG), pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), que tem como objetivo recuperar pelo menos 12 milhões de hectares, focando principalmente em áreas de preservação permanente (APPs) e reserva legal (RL), além de áreas degradadas com baixa aptidão agrícola (Brasil, 2017). No mesmo ano, adotando uma abordagem integrativa, o MMA apresentou a Estratégia e Plano de Ação Nacionais para a Biodiversidade (EPANB). Essa iniciativa representa uma ferramenta abrangente de gestão, coordenando ações nacionais voltadas para a conservação da biodiversidade e à utilização sustentável de seus componentes. Além disso, a EPANB se destaca como um instrumento crucial para a consecução da Meta 17 de Aichi, compromisso assumido pelo Brasil no contexto da Convenção sobre Diversidade Biológica, promovendo uma repartição justa e equitativa dos benefícios derivados do uso responsável da biodiversidade.

Em 2021, o Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) lançou o Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020–2030), denominado Plano ABC+, segunda fase do Plano ABC. Esse plano tem como objetivo consolidar uma agropecuária nacional fundamentada em sistemas sustentáveis, resilientes e produtivos. O

ABC+ preserva e aprimora a abordagem de desenvolvimento sustentável, incorporando a premissa de promover de forma conjunta ações direcionadas à adaptação e mitigação no setor rural. Esse destaque ratifica a posição do ABC+ como uma das mais relevantes políticas públicas nacionais para enfrentar os desafios da mudança do clima (Brasil, 2021a).

As políticas públicas nacionais que abordam direta ou indiretamente questões relacionadas à mudança do clima constituem bases importantes para a participação em discussões internacionais e, conseqüentemente, para a ratificação de acordos discutidos nas Conferências das Partes (COP) da UNFCCC, bem como em outros fóruns. Realizada anualmente desde 1995, o primeiro tema abordado foi a redução das emissões de GEE, e desde então os países têm se reunido para discutir e achar soluções para as questões climáticas.

Na 21ª Conferência das Partes (COP21), ocorrida em Paris em 2015, foi adotado um novo acordo com o objetivo central de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança climática e reforçar a capacidade dos países para lidarem com os impactos decorrentes dessas mudanças. O Acordo de Paris foi aprovado pelos 195 países membros da UNFCCC, com a promessa de reduzir as emissões de GEE e promover o desenvolvimento sustentável. Criado para substituir o Protocolo de Kyoto (1997) a partir de 2020, o Acordo de Paris é o primeiro pacto a pressionar países a executarem planos de ação para reduzir as emissões de GEE. O compromisso é manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2 °C acima dos níveis pré-industriais, e envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais.

Na 26ª Conferência das Partes (COP26), realizada em Glasgow, na Escócia, em 2021, as partes apresentaram novas metas, de grande importância para os planos de ação climática, conforme consta nas informações das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) apresentadas pelos países. O Relatório de Síntese das metas NDCs indica que, embora haja uma evidência clara de que as emissões de GEE estão sendo reduzidas ao longo do tempo, as nações devem redobrar urgentemente seus esforços climáticos se quiserem evitar o aumento da temperatura global acima da meta do Acordo de Paris, ou seja, abaixo de 2°C, idealmente 1,5°C, até o final do século.

A 27ª Conferência das Partes (COP27), realizada em Sharm El Sheikh, no Egito, teve como diferencial propostas inovadoras, como: foco em inovação tecnológica para mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Acordos foram firmados para a atenuação da emissão dos GEE por meio do cumprimento de diversos acordos internacionais, priorizando estratégias em médio e em longo prazo. Avanços foram feitos dentro do Programa de Trabalho de Mitigação, adotado durante a COP26, com foco em expandir a ambição e a implementação de medidas ainda nesta década (isto é, até 2030). Como resultado das discussões e acordos estabelecidos, espera-se que os países continuem a debater e aprofundar as políticas e estratégias relacionadas à adoção e

à implementação de tecnologias limpas, baseadas na natureza em diversos setores, como energia, transporte, agricultura e indústria.

O acordo final da 28ª Conferência das Partes (COP28), realizada em Dubai (30 de novembro a 12 de dezembro de 2023), foi considerado um avanço, pois, após uma maratona de negociações, os países aprovaram um acordo histórico para promover a transição energética, reduzindo o uso de combustíveis fósseis. Esse acordo de transição prevê a redução gradual do uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) para diminuir a emissão de GEE, responsáveis pelas mudanças climáticas que têm impactado o planeta. Outro ponto defendido foi a possibilidade de investimentos em inovação e tecnologias com zero ou baixa emissão de carbono para fazer a transição energética, citando, entre elas, a captura de carbono. A captura ou sequestro de carbono é apontada como uma saída para minimizar o impacto dos GEE.

REDE AGROGASES

A preocupação com a mudança climática global, com a contribuição de atividades agropecuárias às emissões de GEE e o potencial de sequestro de carbono por solos e florestas motivou a Embrapa à criação da rede de pesquisas Agrogases, para o desenvolvimento do Projeto Dinâmica de Carbono e Gases de Efeito Estufa em Sistemas de Produção Agropecuária, Florestal e Agroflorestal Brasileiros, no início de 2003.

Coordenado pela Embrapa Meio Ambiente, esse grande projeto teve como objetivo quantificar e avaliar o estoque de carbono de solos e formações florestais, bem como mensurar as emissões de GEE a partir de diferentes sistemas de produção agrícola e pecuária. O projeto foi estruturado em quatro eixos: (1) estoques de carbono no solo; (2) estoques de carbono em florestas naturais e plantações permanentes; (3) estimativa de emissão de GEE em sistemas de produção; (4) inventários de emissão de GEE, além de um projeto gerencial, que contou com a participação de equipes de 35 instituições de pesquisa, incluindo unidades da Embrapa, além de apoio financeiro de programas e órgãos de pesquisa.

Entre os resultados alcançados, destaca-se a produção de estimativas de estoques de carbono do solo para o Brasil, sob área antropizada e de vegetação natural, com base em uma base de dados (Sigsolos) organizada pela Embrapa Solos (Fidalgo et al., 2015). Sabe-se que os solos representam um importante componente no ciclo biogeoquímico do carbono, armazenando cerca de quatro vezes mais carbono do que a biomassa vegetal. No âmbito do projeto da rede Agrogases, a equipe considerou o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, que tem harmonia com o sistema da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e os biomas nacionais. A estimativa de estoque nacional gerada resultou ser bem próxima à calculada por Bernoux et al. (2002), embora estes tenham considerado apenas os perfis

sob vegetação nativa, ou seja, representando o estado inicial antes da colonização do Brasil, em 1500. A pouca diferença das estimativas deveu-se possivelmente ao fato de que a maior parte dos estoques de carbono dos solos brasileiros concentra-se no bioma Amazônia, que se mantém em boa parte sob vegetação nativa (Fidalgo et al., 2015). Foram geradas também estimativas de carbono (kg m^{-2}) a 0–30 cm de profundidade para vegetação original e área antropizada de cada bioma brasileiro.

A organização de inventários florestais resultou na avaliação do potencial de sequestro de carbono de diferentes sistemas florestais, incluindo florestas plantadas do Sul e Norte do país, e a Caatinga na Região Nordeste, bem como de sistemas agroflorestais brasileiros (Higa et al., 2015). O projeto contribuiu para a contabilização de estoques de carbono para importantes tipos de florestas plantadas (pinus, eucalipto, acácia e outras) por meio da criação de softwares, além de apresentar indicadores de custos, produtividade, renda e perspectivas de geração de créditos de carbono de plantios florestais de eucaliptos e pinus, com informações úteis a pequenos produtores rurais. Para sistemas agroflorestais, o projeto gerou estimativas de estoque de carbono na biomassa e no solo de Rondônia.

No eixo que tratou das emissões de GEE, destaca-se a geração de valores específicos de fatores de emissão de metano (CH_4) e de óxido nitroso (N_2O) para as condições nacionais, sendo os mesmos confrontados com os valores apresentados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). Foram determinados, como exemplo, fatores de emissão de CH_4 em sistemas de produção animal na bovinocultura de corte para diferentes condições de dieta, demonstrando que, com a melhoria da qualidade de forragens, é possível diminuir a produção de CH_4 por unidade de carne produzida (Primavesi et al., 2012). Fatores de emissão de CH_4 foram gerados também para a bovinocultura de leite com raças mestiças, que representam mais de 70% da produção de leite nacional, e raça holandesa. Para a mensuração do CH_4 entérico desses ruminantes foi utilizado o método do traçador interno SF_6 , adaptado por Primavesi et al. (2004), cujo treinamento foi possível com o apoio da U.S. EPA, sob a coordenação da Embrapa Meio Ambiente, o qual tem sido até hoje amplamente adotado e aprimorado por grande parte dos pesquisadores atuantes nessa temática, inclusive para caprinos e ovinos. Os fatores de emissão de CH_4 gerados por fermentação entérica por gado de corte e de leite produzidos nesses estudos foram detalhados por Lima et al. (2020a).

Experimentos de mensuração de CH_4 , proveniente do cultivo de arroz irrigado nas Regiões Sul e Sudeste, foram realizados pelo projeto, envolvendo manejo contínuo e intermitente de água e sistemas de plantio direto, convencional e de cultivo mínimo, gerando fatores de emissão de CH_4 por arrozais, os quais encontram-se detalhados em Lima et al. (2020b). A mensuração de CH_4 foi feita utilizando a técnica de câmara estática seguindo protocolo cedido pelo Dr. Ronald Sass, da Universidade de Hous-

ton, EUA (Sass et al., 2002). Como resultado, concluiu-se que sistemas intermitentes tendem a diminuir a emissão de CH_4 devido ao menor tempo de solo em condição inundada, e que sistemas de plantio direto e de cultivo mínimo podem constituir sistemas menos impactantes na emissão de CH_4 .

Fatores de emissão de N_2O foram gerados para diferentes sistemas de produção e regiões do país (Alves et al., 2015), apontando diferentes impactos de manejos agrícolas nas taxas de emissão desse gás. A maior parte dos experimentos realizados teve como objetivo a avaliação das emissões diretas de N_2O do solo. A partir desses estudos, observou-se que áreas plantadas com a cultura da soja não produziam quantidades de N_2O que justificassem a inclusão da fixação biológica de N_2 como fonte direta de N_2O de solos agrícolas. As emissões de N_2O podem ser muito baixas em solos mais aerados, enquanto sob condições mais úmidas do solo as emissões de N_2O são estimuladas, sobretudo quando fertilizantes nitrogenados são aplicados. Considerando os resultados obtidos nos diferentes estudos realizados, encontrou-se que, em média, 0,31 % do nitrogênio (N) aplicado é emitido como N_2O . As emissões diretas de N_2O em áreas com fezes e urina bovinas mostraram-se abaixo dos valores *default* do IPCC, sendo menor a contribuição das fezes, sob condições de pastagem. Também foi mostrado que a adoção de sistemas agroflorestais para evitar a queima de capoeira na região amazônica proporciona um aumento das emissões de N_2O e NO, em razão do maior uso de fertilizantes, mas que a redução de gases com a eliminação da queima compensaria a adoção desses sistemas.

Uma parte significativa dos resultados alcançados pela rede Agrogases concentrou-se no aprimoramento dos inventários nacionais de emissão de gases de efeito estufa. Isso ocorreu tanto por meio da avaliação dos estoques de carbono no solo quanto da determinação dos fatores de emissão em sistemas de produção agropecuária. Relatórios de referência para o Inventário de Emissão de Gases de Efeito Estufa para a Segunda Comunicação Nacional para a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima foram realizados no âmbito deste projeto, com recursos do Ministério da Ciência e Tecnologia, por meio do Programa Avança Brasil (Lima et al., 2015).

Boa parte dos resultados obtidos no projeto encontram-se publicados no livro *Estoques de Carbono e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária Brasileira*, editado por Lima et al. (2015).

A rede formada por esse projeto, balizador de ideias e expertises, desdobrou-se em outros projetos de grande impacto para a sustentabilidade da agropecuária brasileira, considerando a complexidade de clima e de solos nos diversos biomas do Brasil (Figura 22.4). A análise dos três principais eixos da agropecuária do país – grãos, pecuária e florestas – impulsionou projetos como Fluxos, Pecuária e Saltus, e o Climapest.

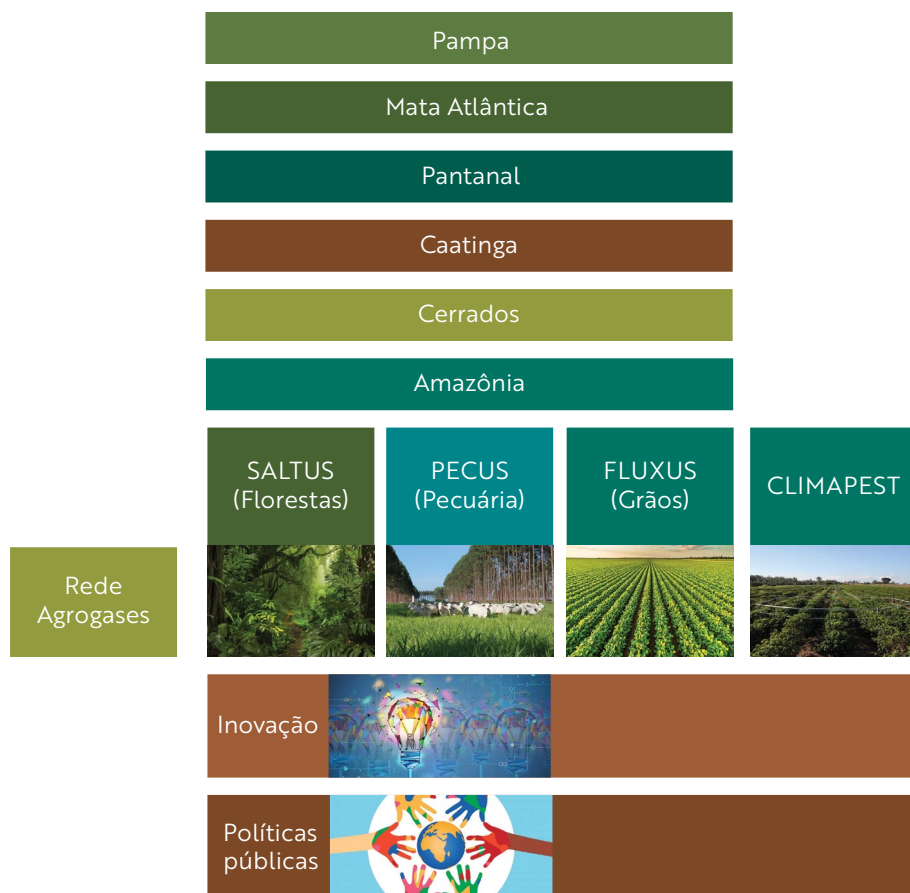


Figura 22.4. Projetos estruturantes da rede Embrapa, focada em trazer soluções baseadas em ciência para a sustentabilidade da agropecuária brasileira.

Fonte: Adaptado de Giampaolo Queiroz Pellegrino, Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

Todos os esforços desse pioneirismo, principalmente da pesquisadora Magda Aparecida de Lima, culminaram no recebimento do Prêmio Nobel da Paz em 2007, compartilhado por todos os especialistas do Painel até então. Esse prêmio histórico foi resultado da participação como membro da equipe do IPCC, mais especificamente do Editorial Board of Emission Factor Database (EFDB), e como coautora do Capítulo 10 das *Diretrizes de 2006 para Inventários Nacionais de Emissões de Gases de Efeito Estufa*.

A EMBRAPA E AS PESQUISAS RELACIONADAS ÀS MUDANÇAS DO CLIMA

A Embrapa incentivou a realização de inúmeros projetos voltados para a mensuração das emissões de GEE, abrangendo diversas unidades e equipes, em um esforço conjunto para determinar os fatores de emissão e remoção de GEE, bem como estabelecer estratégias de remoção de GEE para agricultura e pecuária brasileiras. Os resultados desses esforços foram publicados em revistas científicas, nacionais e internacionais, bem como compilados nas coletâneas de fatores de emissão e remoção de GEE da agricultura e pecuária brasileiras, organizadas pelo Mapa (Brasil, 2020, partes I e II). Esses resultados também foram desdobrados na criação e cocriação de soluções de inovação, bem como no apoio às políticas públicas.

A busca pelos assuntos sobre mudança do clima, mitigação e adaptação no banco de dados da SciVerse Scopus permitiu uma análise métrica do total das publicações nas temáticas listadas, bem como a contribuição dos pesquisadores brasileiros, da Embrapa e da Embrapa Meio Ambiente (Figura 22.5). Do total analisado, a ciência brasileira é responsável por 2,36%, a Embrapa por 0,27% e a Embrapa Meio Ambiente por 0,02%.

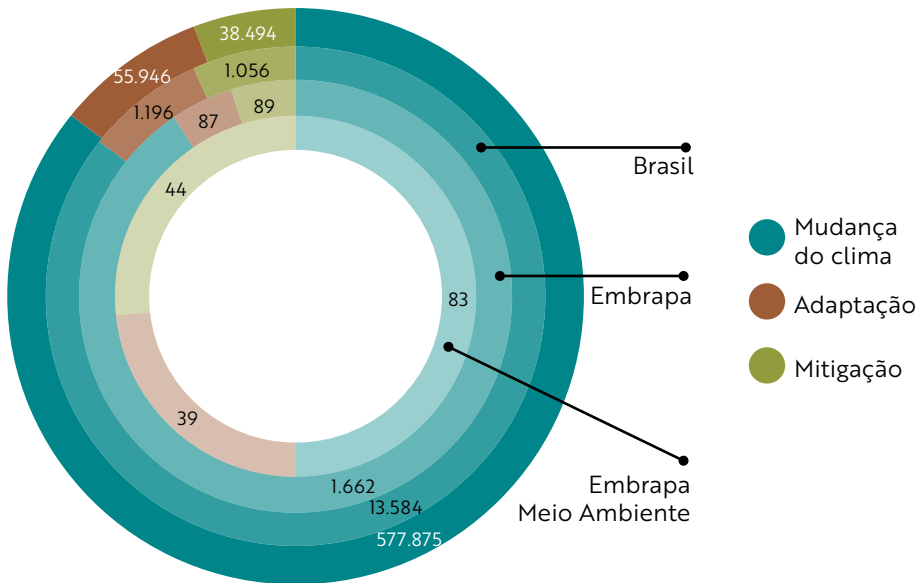


Figura 22.5. Total de trabalhos publicados em revistas especializadas internacionais, com destaque para as publicações do Brasil, da Embrapa e da Embrapa Meio Ambiente.

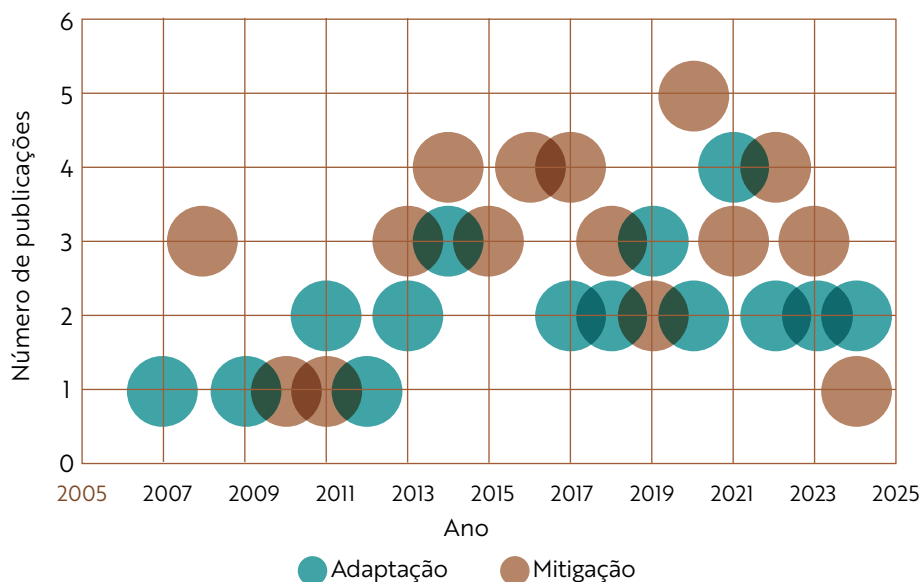


Figura 22.6. Contribuição da Embrapa Meio Ambiente, com a publicação de artigos em periódicos internacionais, abordando os temas adaptação e mitigação das mudanças do clima.

Dentro do amplo espectro de pesquisas conduzidas pela equipe da Embrapa Meio Ambiente desde 2005, cerca de 90 estudos foram publicados em periódicos internacionais. Estes têm como foco o desenvolvimento de pesquisas básicas e soluções inovadoras, bem como o apoio às políticas públicas para questões cruciais de adaptação e mitigação das mudanças climáticas, conforme ilustrado na Figura 22.6.

MEDIÇÕES DE GEE COMO BASE CIENTÍFICA PARA AS AÇÕES DE MITIGAÇÃO

Na área da mitigação, têm sido estudados e implementados diversos processos relacionados às emissões de GEE. Isso inclui não apenas a redução direta das emissões, mas também a remoção desses gases da atmosfera e a prevenção de emissões futuras. O estudo desses processos de mitigação é essencial para desenvolver estratégias eficazes de combate às mudanças climáticas e alcançar os objetivos estabelecidos em acordos internacionais, como o Acordo de Paris. Essas medidas visam não apenas reduzir as emissões de GEE, mas também promover um desenvolvimento sustentável e resiliente ao clima.

Atividades de quantificação de GEE têm sido empreendidas no âmbito de diversos projetos de pesquisa envolvendo a equipe da Embrapa Meio Ambiente, em diferentes culturas, como cana-de-açúcar e banana, em áreas de pastagem, na aquicultura, e em estudos de biochar, arroz irrigado, dentre outros.

Para avaliar os efeitos do retorno da palha de cana-de-açúcar nas emissões de gases, foi feito em experimento de campo no qual 0%, 50%, 75% ou 100% (0 Mg/ha, 5,65 Mg/ha, 8,47 Mg/ha e 11,30 Mg/ha de biomassa seca, respectivamente) dos resíduos da cultura (palha) foram deixados no campo durante as duas primeiras safras de rebrota. Com a aplicação de fertilizantes, houve um efeito interativo entre a palha e o produto inorgânico, levando a um efeito não linear dos resíduos da cultura no fator de emissão (FE) do fertilizante. No entanto, a palha reduziu consistentemente as emissões de N_2O do campo, atuando principalmente nas áreas não fertilizadas deste. Observou-se que, considerando o FE típico usado na literatura, as emissões de N_2O-N atribuídas ao fertilizante variaram de 0,19 kg/ha a 0,79 kg/ha, enquanto as emissões totais variaram de 3,3 kg/ha a 5,2 kg/ha, da maior quantidade de palha para a menor (Silva et al., 2022). Com base neste e em outros estudos, concluiu-se que, de modo geral, o FE do fertilizante não é tão relevante quanto as emissões totais. Consequentemente, práticas de manejo podem ser mais eficazes na melhoria do balanço de GEE do que a mudança no uso de fertilizantes inorgânicos. Desta forma, manter até 11 Mg/ha de palha com uma alta relação C:N (>100:1) no local pode aumentar a sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa do campo (Pitombo et al., 2017).

Nessa mesma linha, outro projeto analisou o efeito da manutenção da palhada em solos sob cultura de cana-de-açúcar na emissão de GEE, principalmente de N_2O a partir da adubação nitrogenada (Packer et al., 2020). Os autores concluíram que a manutenção de palha sobre o solo propiciou ganhos de produtividade de colmos de cana-de-açúcar, e que as emissões de N_2O por unidade de produto (massa de colmos) nos tratamentos com níveis intermediários de palha (4,3 Mg.ha⁻¹ e 7,7 Mg.ha⁻¹ de massa seca) foram semelhantes às do solo sem palha, porém com ganhos de produtividade da cultura. Além disso, o fator de emissão (FE) relativo à fertilização nitrogenada no solo foi baixo na ausência de palha (0,03% a 0,10% do N aplicado), aumentando de 0,48% para 0,54%, quando 12 Mg.ha⁻¹ de palha foram mantidas sobre o solo. Esse FE resultou ser menor que o valor de referência do IPCC, de 1%. Essa quantificação foi feita com base no uso de câmara estática e cromatografia gasosa.

Outros estudos envolvendo também a cultura de cana-de-açúcar foram feitos com o uso do método de *eddy correlation*, que constitui uma técnica micrometeorológica para medições diretas de transporte de gases entre a superfície do solo e a atmosfera. Essa técnica é amplamente usada para quantificar taxas de emissão de CO_2 a partir de ecossistemas naturais, urbanos e sistemas agrícolas, incluindo áreas de sequestro de

carbono (Burba et al., 2013). Usando essa técnica, Cabral et al. (2020) fizeram medições contínuas dos fluxos de vapor de água e de CH_4 , N_2O e CO_2 em plantação comercial de cana-de-açúcar em área de colheita sem queima, e observaram que a fixação de carbono pela plantação foi capaz de neutralizar as emissões de GEE, mesmo considerando a remoção dos colmos nas colheitas e a decomposição parcial da palha depositada após a primeira colheita. Atualmente, o mesmo método está sendo aplicado em áreas de pastagem de *Urochloa brizantha* L.

Experimentos foram feitos em áreas de pastagem de *U. brizantha* L. adubada com nitrato de amônio para estimativa do fator de emissão de N_2O (Carvalho et al., 2020) e sob sistema de pastejo contínuo e rotacionado (Lima et al., 2020c), apontando para valores baixos de emissão, sobretudo em condições de solo arenoso e com baixa pluviosidade. Atualmente pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente estão realizando outros estudos, dando continuidade à mensuração de fluxos de gases em pastagens.

As bananas são frutas tropicais importantes cultivadas convencionalmente sob intensa fertilização nitrogenada. Um desafio atual é entender os impactos ambientais dessa cultura ao longo das diferentes etapas de cultivo, considerando as emissões de gases de efeito estufa. Portanto, este estudo avaliou se a fertilização inorgânica com sulfato de amônio e ureia durante diferentes estágios de plantio pode alterar as emissões de CO_2 , CH_4 e N_2O do solo. O experimento foi conduzido em 2018 em uma região de Mata Atlântica no estado de São Paulo, Brasil. As emissões de CO_2 seguiram as variações de precipitação. Os fluxos de CH_4 foram principalmente resultado de reações de metanotrofia. Os fluxos máximos e mínimos de N_2O foram de $7,38 \text{ mgm}^2 \text{ dia}^{-1}$ e $-0,93 \text{ mgm}^2 \text{ dia}^{-1}$, atingindo o pico após a fertilização nitrogenada. Os fluxos acumulados de N_2O do solo foram maiores para as duas plantações de banana do que os observados no remanescente florestal nas estações seca e chuvosa. Os picos mais altos de N_2O foram observados na plantação jovem de banana (Silva et al., 2021).

A Embrapa Meio Ambiente foi pioneira na quantificação de emissões de GEE em áreas com produção aquícola. Estudo desenvolvido desde 2013, iniciado no reservatório de Furnas (Minas Gerais), mostrou que a emissão de CH_4 foi maior em áreas com criação de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede quando comparada com áreas sem criação de tilápias (Silva et al., 2018). No mesmo estudo foi observado que a severa seca que atingiu os reservatórios brasileiros em 2013 e 2014 teve impacto direto na emissão de CH_4 . A diminuição do volume útil do reservatório aumentou significativamente a emissão difusiva e ebulitiva de CH_4 nas áreas com e sem criação de tilápias. Esse resultado sugere que fatores relacionados às características do reservatório podem ter maior influência na emissão de CH_4 do que a produção de tilápias (Silva et al., 2018).

A influência da criação de tilápia-do-nilo na emissão de GEE também foi investigada no reservatório de Ilha Solteira, SP/MS (Silva et al., 2021). Neste estudo, para ex-

plicar a variabilidade da emissão de CH_4 foi utilizada uma identificação hierárquica de parâmetros limnológicos e atmosféricos. Foi observado um aumento significativo nas emissões difusivas de CH_4 comparado aos locais antes e depois dos tanques-rede, considerando o fluxo de água do interior da área em direção ao tributário principal do reservatório. Além disso, também foi observado um aumento significativo nas emissões ebulitivas de CH_4 nos locais dos tanques-rede quando comparado às emissões médias dos locais antes e depois dessas estruturas. Os resultados mostraram uma diminuição nas emissões médias de CH_4 após os tanques-rede em todas as áreas amostradas, o que sugere que a influência da piscicultura de tilápia nas emissões de CH_4 é local. As maiores médias de emissões difusivas e ebulitivas de CH_4 foram observadas em áreas com maior volume de produção de tilápia. O aumento das emissões de CH_4 foi associado principalmente com maiores concentrações de carbono e fósforo na água e no sedimento, que podem estar relacionados com o acúmulo de matéria orgânica debaixo dos tanques-rede provenientes da ração não digerida pelos peixes e fezes (Silva et al., 2021).

Todo esse esforço de mensuração e de estimativas de GEE ao nível de solo-planta-atmosfera e em ambientes aquáticos ou em escala ecossistêmica, constitui uma ação fundamental para o aprimoramento de inventários nacionais e regionais de emissão de GEE, bem como para a redução de incertezas de estimativas, sobretudo para o caso do Brasil, considerando sua dimensão continental.

O conjunto de dados sobre fatores de emissão e remoção de GEE obtidos para diferentes sistemas de produção e o conhecimento gerado sobre os efeitos de práticas agrícolas e de manejo do solo, plantas e animais nas emissões, permite o uso de abordagens mais complexas de estimativa de GEE, a exemplo da modelagem e uso de simuladores. Ele permite também a identificação de medidas estratégicas de mitigação de GEE, embasando fortemente a agricultura de baixa emissão de carbono e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira.

ESTUDOS SOBRE O POTENCIAL DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS DO CLIMA

Segundo Assad et al. (2019), em sistemas agrícolas, adaptar significa adotar práticas de manejo que aproveitem a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e os processos ecológicos de biomas naturais ou modificados como base para ampliar a capacidade das culturas e da pecuária de se adaptar às mudanças climáticas. Os autores ressaltam que as tecnologias disponíveis no Brasil, como o melhoramento genético de plantas e de raças animais, plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, zoneamento agrícola de risco climático, sensores digitais para avaliação de solo e planta, zoneamento agroecológico etc., são fundamentais para a permanência do Brasil como um dos principais produtores mundiais.

A Embrapa Meio Ambiente colaborou com outras instituições brasileiras na formulação de estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros, organizadas pelo Mapa (Brasil, 2020, partes I e II, e Brasil, 2021b)

Entre as ações de pesquisa voltadas ao conhecimento da vulnerabilidade agrícola à mudança global do clima estão os estudos sobre o efeito do aumento da concentração atmosférica de CO₂ no crescimento das plantas e na severidade da ferrugem foliar (causada por *Hemileia vastatrix*) no café (*Coffea arabica*), utilizando câmaras *open-top* (OTC) como parte do projeto FACE Climapest (*Free Air Carbon Dioxide*) (Tozzi; Ghini, 2016). Foram utilizadas as cultivares ‘Obatã IAC 1669-20’ e ‘Catuai Vermelho IAC 144’, moderadamente resistentes e suscetíveis à doença (Figura 22.7). Tendo em vista as previsões para cenários futuros de diminuição do período de incubação para a ferrugem do cafeeiro, o estudo apontou que o aumento da concentração de CO₂ pode contribuir para a redução da severidade da doença em determinadas cultivares de café. O projeto mostrou também que o enriquecimento atmosférico com CO₂ reduziu a incidência do bicho mineiro nas plantações dessa cultura.



Foto: Kátia de Lima Nechet

Figura 22.7. Experimento do FACE Climapest da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Pesquisas em biotecnologia voltadas à adaptação à mudança do clima têm sido conduzidas pela Embrapa Meio Ambiente ao longo de mais de uma década, utilizando a rizobactéria *Bacillus aryabhattai*, encontrada em plantas do mandacaru, originária do bioma Caatinga, em um bioinsumo (denominado Auras) que promove tolerância à seca em plantas de soja (Braga et al., 2022) e de milho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Embrapa Meio Ambiente conta com um longo histórico no tema de mudanças climáticas e continua atuando em diversas vertentes de pesquisa e de desenvolvimento, bem como participando ativamente da formulação de políticas públicas de grande importância para o país (Apêndice A). Sua contribuição, desde a elaboração de inventários de emissão de GEE no setor agropecuário, aplicação de avaliações de ciclo de vida para produtos chaves da economia brasileira e a sua atuação para a agricultura de baixo carbono, são contribuições relevantes da Embrapa Meio Ambiente nessa temática.

O conhecimento sobre a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas tem sido uma questão fundamental e urgente, sendo necessário identificar indicadores e estratégias de resiliência das espécies e dos agrossistemas. Além disso, novos desafios têm sido vislumbrados, entre os quais a interação com os temas de biodiversidade, economia circular, sustentabilidade e fontes de energia renovável.

REFERÊNCIAS

- ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; CABALLERO, S. S. U.; SANTOS, J. C. F.; SANTOS, H. P.; CARVALHO, C. J. R. Emissões de N₂O e NO do solo em sistemas agrícolas. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J.R.; MACHADO, P. L. O. A.; URQUIAGA, S. (ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 347 p.
- ASSAD, E. D.; COSTA, L. C.; MARTINS, S.; CALMON, M.; FELTRAN-BARBIERI, R.; CAMPANILI, M.; NOBRE, C. A. **Papel do Plano ABC e do Planaveg na adaptação da agricultura e da pecuária às mudanças climáticas**. *Working Paper*. São Paulo: WRI Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/publicacoes/papel-do-plano-abc-e-do-planaveg-na-adaptacao-da-agricultura-e-da-pecuaria-mudancas>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brasil's soil carbon stocks. *Soil Science Society of America Journal*, v. 66, p. 888-896, 2002. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.888o>.
- BRAGA, A. P. A.; CRUZ, J. M.; MELO, I. S. de. Rhizobacteria from Brazilian semiarid biome as growth promoters of soybean (*Glycine max L.*) under low water availability. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 53, n. 2, p. 873-883, 2022.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Coletânea dos fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da agricultura brasileira: parte I**. Brasília: MAPA/SENAR, 2020. 147 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Coletânea dos fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da pecuária brasileira: parte II**. Brasília: MAPA/SENAR, 2020. 162 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros**. Brasília: MAPA/SENAR, 2021b. 187 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Brasília, DF: MAPA/ACS 2012. 172 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030): visão estratégica para um novo ciclo/Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação**. Brasília: MAPA, 2021a. 133 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Planaveg: plano nacional de recuperação da vegetação nativa**. Brasília, DF: MMA, 2017. 73 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de adaptação à mudança do clima: volume 2: estratégias setoriais e temáticas**. Portaria MMA no. 150 de 10 de maio de 2016/Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2016. 2 v.
- BURBA, G.; MADSEN, R.; FEESE, K. Eddy Covariance Method for CO₂ Emission Measurements in CCUS Applications: Principles, Instrumentation and Software. *Energy Procedia*, v. 40, p. 329-336, 2013.

CABRAL, O. M. R.; FREITAS, H. C. de; CUADRA, S. V.; ANDRADE, C. A. de; RAMOS, N. P.; GRUTZMACHER, P.; GALDOS, M.; PACKER, A. P.; ROCHA, H. R. da; ROSSI, P. The sustainability of a sugarcane plantation in Brazil assessed by the eddy covariance fluxes of greenhouse gases. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 282-283, Article 107864, 2020.

CARVALHO, T. A. de; VASO, L. M.; LIGO, M. A. V.; BETTANIN, V. C.; ANDRADE, C. A. de Fator de emissão de N₂O em pastagem de *Urochloa brizantha* L. adubada com nitrato de amônio. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., 2020, Campinas. *Anais...* Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020. RE20412. p. 1-13.

FIDALGO, E. C. C.; BENITES, V. M.; WADT, P. G. C.; COELHO, M. R.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. P. A. Estoque de carbono com base no levantamento de solos do Brasil: uma contribuição para o inventário nacional. In: LIMA, M.A; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; MACHADO, P.L.O.A.; URQUIAGA, S. (ed.). *Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira*. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 347 p.

HIGA, R.C.V. HARON; XAUD, A.M.; ACCIOLY, L.J.O.; LIMA, R.M.B.; VASCONCELOS, S.S.; RODRIGUES, V.G.S.; CARVALHO, C.J.R.; SILVA, C.R.; LEÓNIDAS, F.C.; TONINI, H.; FERRAZ, J.B.S.; XAUD, M.R.; MOURÃO JÚNIOR, M.; COSTA, R.S.C. Estoque de biomassa em florestas plantadas, sistemas agroflorestais, florestas secundárias e caatinga. In: LIMA, M. A; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. A.; URQUIAGA, S. (ed.). *Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira*. Brasília: Embrapa, 2015. 347 p.

LIMA, M. A. de; ANDRADE, C. A. de; FRIGHETTO, R. T. S.; HERLING, V. R.; FILIZOLA, H. F.; PERES, G. R. P.; PIOTTO, V. C.; NAREZZI, F.; GRUTZMACHER, P.; BATISTA, G. das G.; SILVA, J. A. da Avaliação da emissão de óxido nitroso em pastagens sob manejo rotacional e contínuo na região sudeste do Brasil. In: GALLARDO, J. V. G. (org.). *Coletânea dos fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da agricultura brasileira*. Brasília, DF: MAPA/SENAR, 2020a. p. 116-117.

LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (ed.). *Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira*. 3. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 343 p.

LIMA, M.A. de; FRIGHETTO, R.T. S.; LUIZ, A.J.B.; VILLELA, O. V.; BAYER, C.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; EBERHARDT, D. S.; NOLDIN, J. A. Avaliação da emissão de metano proveniente do cultivo de arroz irrigado por inundação. In: GALLARDO, J. V. G. (org.). *Coletânea dos fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da agricultura brasileira*. Brasília, DF: MAPA/SENAR, 2020b. p. 84-85.

LIMA, M. A. de; PRIMAVESI, O. M. A. S. P. R.; PEDREIRA, M. dos S.; DEMARCHI, J. J. A. de A.; BERCHIELLI, T. T.; OLIVEIRA, S. G. de; POSSENTI, R.A.; FRIGHETTO, R. T. S.; BERNDT, A.; MANELLA, M.Q.; FRANZOLIN, R. Dados de fatores de emissão de metano proveniente da fermentação entérica de gado de corte e de leite no Brasil. In: SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; COSTA, M. S. N. (org.). *Coletânea de fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da pecuária brasileira*. Brasília, DF: MAPA/SENAR, 2020c. p. 74-77.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. *Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso: 21 mar. 2024.

PACKER, A. P. C.; ANDRADE, C. A. de; CANTARELLA, H.; DEGASPARI, I. A. M.; RAMOS, N. P.; ROSSETTO, R. Paradigma no manejo da palha da cana-de-açúcar: agricultura conservacionista x cogeração de energia? In: **Coletânea dos fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da agricultura brasileira**. Brasília, DF: MAPA/SENAR, 2020. P. 64-65. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/fatores-nacionais-para-emissao-e-remocao-de-gases-de-efeito-estufa-na-agropecuaria-estao-em-coletanea-inedita-do-mapa/Coletanea_agricultura.pdf. Acesso em: 18 mar. 2024.

PITOMBO, L.; CANTARELLA, H.; PACKER, A. P. C.; RAMOS, N. P.; CARMO, J. B. Straw preservation reduced total N₂O emissions from a sugarcane field. *Soil Use and Management*, v. 33, p. 583-594, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12384>.

PRIMAVESI, O.; BERNDT, A.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; DEMARCHI, J. J. A. A.; PEDREIRA, M. S. Produção de gases de efeito estufa em sistemas agropecuários: bases para inventário de emissão de metano por ruminantes. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 239-270.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELA, M. Q.; BARBOSA, P. F.; JOHNSON, K. A.; WESTBERG, H. H. **Técnica do gás traçador SF₆ para medição de campo do metano ruminal em bovinos: adaptações para o Brasil**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 76 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 39).

SASS, R.; FISHER JÚNIOR, F. M.; ANDREWS, J. A. Spatial variability in methane emissions from a Texas rice field with some general implications. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 16, p. 15-15-7, 2002.

SILVA, M. G. da; PACKER, A. P.; SAMPAIO, F.G.; MARANI, L.; MARIANO, E. V. C.; PAZIANOTTO, R. A. A.; FERREIRA, W. J.; ALVALÁ, P. C. Impact of intensive fish farming on methane emission in a tropical hydropower reservoir. *Climatic Change*, v. 150, p. 195-210, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2281-4>.

SILVA, M. G. da; SAMPAIO, F. G.; TANIWAKI, R. H.; BARROS, N. O.; ALVALÁ, P. C.; BETTANIN, V. C.; GAROFALO, D. T.; COSTA, D. O. da; AYER, J. E. B.; GONDEK, T. P.; PACKER, A. P. Increase of methane emission linked to net cage fish farms in a tropical reservoir. *Environmental Challenges*, v. 5, 100287, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100287>.

SILVA, R. B.; ANTUNES, T.; ROSA, J. S.; PACKER, A. P.; BENTO, C. B.; CARMO, J. B.; SILLVA, F. A. M. CO₂, CH₄ and N₂O emissions after fertilizer application in banana plantations located in the Brazilian Atlantic Forest. *Soil Use and Management*, v. 38, n. 4, p. 1597-1613, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12822>.

TOZZI, F. R. O.; GHINI, R. Impacto do aumento da concentração atmosférica do dióxido de carbono sobre a ferrugem e o crescimento do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 51, n. 8, p. 933-941, ago. 2016.

Apêndice A - Atuação da Embrapa Meio Ambiente no tema de mudanças climáticas

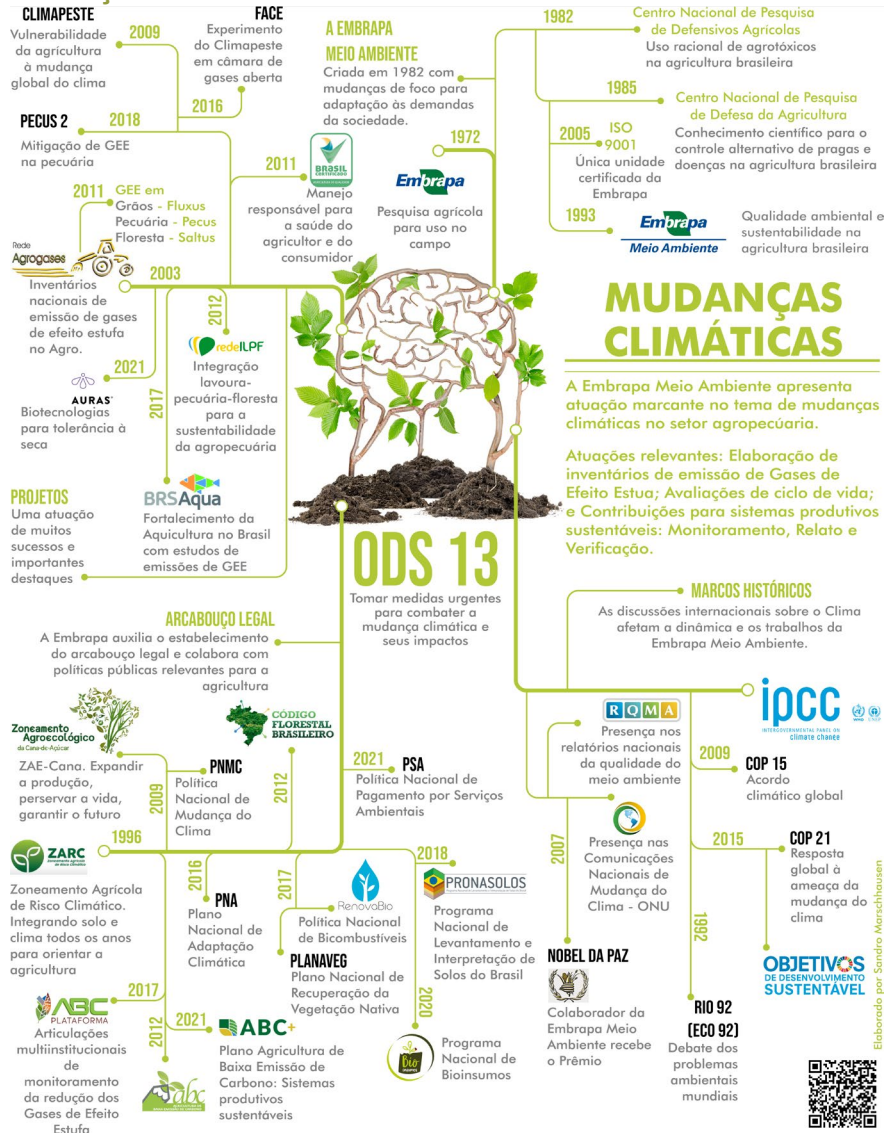


Figura 22.A. Mindmap da atuação da Embrapa Meio Ambiente no tema de mudanças climáticas. Ilustração: Sandro Eduardo Marschhausen Pereira.