

# AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA

## CONTRIBUIÇÕES DA EMBRAPA

Santiago Vianna Cuadra  
Alexandre Bryan Heinemann  
Luis Gustavo Barioni  
Gustavo Barbosa Mozzer  
Ivan Bergier

Editores Técnicos





**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**



**Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 13**

# **AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA**

**CONTRIBUIÇÕES DA EMBRAPA**

*Santiago Vianna Cuadra  
Alexandre Bryan Heinemann  
Luis Gustavo Barioni  
Gustavo Barbosa Mozzer  
Ivan Bergier*

Editores Técnicos

**Embrapa**  
*Brasília, DF*  
2018

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa**  
Parque Estação Biológica (PqEB)  
Av. W3 Norte (Final)  
CEP 70770-901 Brasília, DF  
Fone: (61) 3448-4433  
[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

**Responsável pelo conteúdo**  
Secretaria de Inteligência e Relações Estratégicas

Coordenação técnica da Coleção ODS  
*Valéria Sucena Hammes*  
*André Carlos Cau dos Santos*

Comitê Local de Publicações

Presidente  
*Renata Bueno Miranda*

Secretária-executiva  
*Jeanne de Oliveira Dantas*

Membros  
*Alba Chiesse da Silva*  
*Assunta Helena Sicoli*  
*Ivan Sergio Freire de Sousa*  
*Eliane Gonçalves Gomes*  
*Cecília do Prado Pagotto*  
*Claudete Teixeira Moreira*  
*Marita Féres Cardillo*  
*Roseane Pereira Villela*  
*Wyviane Carlos Lima Vidal*

**Responsável pela edição**  
Secretaria-Geral

Coordenação editorial  
*Alexandre de Oliveira Barcellos*  
*Heloiza Dias da Silva*  
*Nilda Maria da Cunha Sette*

Supervisão editorial  
*Josmária Madalena Lopes*

Revisão de texto  
*Everaldo Correia da Silva Filho*

Normalização bibliográfica  
*Márcia Maria de Souza Pereira*

Projeto gráfico e capa  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Tratamento das ilustrações  
*Paula Cristina Rodrigues Franco*

**1ª edição**  
E-book (2018)  
Publicação digitalizada (2018)

**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)**  
Embrapa

---

Ação contra a mudança global do clima : contribuições da Embrapa / Santiago Vianna Cuadra ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2018.

PDF (75 p.) : il. color. – (Objetivos de desenvolvimento sustentável / [Valéria Sucena Hammes ; André Carlos Cau dos Santos] ; 13).

ISBN 978-85-7035-793-9

1. Mudanças climáticas. 2. Agropecuária brasileira. I. Cuadra, Santiago Vianna. II. Heinemann, Alexandre Bryan. III. Barioni, Luis Gustavo. IV. Mozzler, Gustavo Barbosa. V. Bergier, Ivan. VI. Coleção.

CDD 551.68

## Editores Técnicos

### **Santiago Vianna Cuadra**

Meteorologista, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

### **Alexandre Bryan Heinmann**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

### **Luis Gustavo Barioni**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência Animal e Pastagens, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

### **Gustavo Barbosa Mozzer**

Biólogo, doutor em Ambiente e Sociedade, pesquisador da Secretaria de Inteligência e Relações Estratégicas, Embrapa, Brasília, DF

### **Ivan Bergier**

Biólogo, doutor em Energia Nuclear na Agricultura, pesquisador da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS



# Autores

## **Alexandre Bryan Heinmann**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

## **Alexandre Kemenes**

Biólogo, doutor em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Parnaíba, PI

## **Ana Paula Contador Packer**

Engenheira-agrônoma, doutora em Química, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

## **Aryeverton Fortes de Oliveira**

Economista, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

## **Beata Eموke Madari**

Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

## **Camilo de Lelis Teixeira de Andrade**

Engenheiro agrícola, Ph.D. em Engenharia de Irrigação, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

## **Ciro Augusto de Souza Magalhães**

Engenheiro agrícola, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

## **Cristiano Alberto de Andrade**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

## **Daniel de Castro Victoria**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

## **Eduardo Delgado Assad**

Engenheiro agrícola, Ph.D. em Hidrologia e Matemática, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

## **Eunice Reis Batista**

Bióloga, doutora em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

## **Fernanda Garcia Sampaio**

Zootecnista, doutora em Ciências Fisiológicas, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

## **Francislene Angelotti**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

## **Giampaolo Queiroz Pellegrino**

Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

## **Gustavo Barbosa Mozzer**

Biólogo, doutor em Ambiente e Sociedade, pesquisador da Secretaria de Inteligência e Relações Estratégicas, Embrapa, Brasília, DF

## **Jose Eduardo Boffino de Almeida Monteiro**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

## **Katia de Lima Nechet**

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

## **Lauro José Moreira Guimarães**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

## **Luis Gustavo Barioni**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência Animal e Pastagens, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

## **Luiz Gustavo Ribeiro Pereira**

Médico-veterinário, doutor em Ciência Animal, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

**Luiz Sergio de Almeida Camargo**

Médico-veterinário, doutor em Ciência Animal, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

**Maria José Amstalden Sampaio**

Engenheira-agrônoma, Ph.D. em agronomia, pesquisadora da Secretaria de Inteligência e Relações Estratégicas, Embrapa, Brasília, DF

**Nilza Patricia Ramos**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

**Patricia Menezes Santos**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência Animal e Pastagens, pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP

**Patricia Perondi Anchão Oliveira**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP

**Rosana Clara Victoria Higa**

Engenheira-agrônoma, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

**Rubens Sonsol Gondim**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Civil, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

**Santiago Vianna Cuadra**

Meteorologista, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

**Silvio Steinmetz**

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Ciência da Água e Manejo, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

**Vanderlise Giongo Petrere**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

# Apresentação

A Agenda 2030, lançada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, é poderosa e mobilizadora. Seus 17 objetivos e 169 metas buscam identificar problemas e superar desafios que têm eco em todos os países do mundo. Por serem interdependentes e indivisíveis, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) demonstram com clareza, para quem se debruça sobre eles, o que é a busca por sustentabilidade.

Refletir e agir sobre essa Agenda é uma obrigação e uma oportunidade para a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). A busca incessante por uma agricultura sustentável está no cerne de uma instituição dedicada à pesquisa e à inovação agropecuária. E a agricultura sustentável é um dos temas mais transversais aos 17 objetivos. Esta coleção de e-books, um para cada ODS, ajuda a sociedade a perceber a importância da agricultura e da alimentação para cinco dimensões prioritárias – pessoas, planeta, prosperidade, paz e parcerias –, os chamados 5 Ps da Agenda 2030.

A coleção é parte do esforço para disseminar a Agenda 2030 na Instituição, ao mesmo tempo em que apresenta para a sociedade global algumas contribuições disponibilizadas pela Embrapa e parceiros com potencial para impactar as realidades expressas nos ODS. Conhecimentos, práticas, tecnologias, modelos, processos e serviços que já estão disponíveis podem ser utilizados e replicados em outros contextos a fim de apoiar o alcance das metas e o avanço dos indicadores da Agenda.

O conteúdo apresentado é uma amostra das soluções geradas pela pesquisa agropecuária na visão da Embrapa, embora nada do que tenha sido compilado nestes e-books seja fruto do trabalho de uma só instituição. Todos fazem parte do que está compilado aqui – parceiros nas universidades, nos institutos de pesquisa, nas organizações estaduais de pesquisa agropecuária, nos órgãos de assistência técnica e extensão rural, no Legislativo, no setor produtivo agrícola e industrial, nas agências de fomento à pesquisa, nos órgãos federais, estaduais e municipais.

Esta coleção de e-books é fruto de um trabalho colaborativo em rede, a Rede ODS Embrapa, que envolveu, por um período de 6 meses, cerca de 400 pessoas, entre editores, autores, revisores e grupo de suporte. O objetivo desse trabalho inicial foi demonstrar, na visão da Embrapa, como a pesquisa agropecuária pode contribuir para o cumprimento dos ODS.

É um exemplo de produção coletiva e de um modo de atuação que deve se tornar cada vez mais presente na vida das organizações, nas relações entre público, privado e sociedade civil. Como tal, a obra traz uma diversidade de visões sobre o potencial de contribuições para diferentes objetivos e suas interfaces. A visão não é homogênea, por vezes pode ser conflitante, assim como a visão da sociedade sobre seus problemas e respectivas soluções, riqueza captada e refletida na construção da Agenda 2030.

Estes são apenas os primeiros passos na trajetória resoluta que a Embrapa e as instituições parceiras desenham na direção do futuro que queremos.

*Maurício Antônio Lopes*  
Presidente da Embrapa

# Prefácio

Com o crescimento populacional e o aumento da demanda por alimentos, fibras e biocombustíveis, o setor agropecuário terá enormes desafios para garantir a produção rural com sustentabilidade. Especificamente, no Brasil, a demanda por exportações tem colocado o País como um dos principais produtores agropecuários no mundo. Portanto, os agroecossistemas do País deverão adotar inovações tecnológicas que garantam a segurança alimentar à sua população atual e futura, bem como possibilitem a geração de riqueza por meio das exportações de commodities e de produtos de maior valor agregado da agroindústria.

Para ampliar o alcance do desenvolvimento sustentável mundial, foram definidos pelas Nações Unidas, em 2015, 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS são uma evolução dos 8 Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, propostos em 2000, e da Rio+20, realizada em 2012. Os objetivos contêm 169 metas, diversas delas relacionadas ao setor agropecuário, como segurança alimentar e agricultura, saúde, padrões sustentáveis de produção e de consumo e mudança do clima. As ações relacionadas aos ODS estão focadas na promoção da prosperidade e do bem-estar humano, ao mesmo tempo em que se conserve o meio ambiente e se reduza as ameaças do aquecimento global.

A Embrapa, dada sua missão de buscar e promover soluções para o agronegócio no Brasil, tem grande relevância no contexto de todos os ODS. Dessa forma, foi requerido que essa Empresa apresentasse as suas contribuições aos ODS como parte do avanço do Brasil para o atingimento de suas metas.

Neste e-book, a Embrapa apresenta contribuições ao ODS 13, que tem como tema: Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.

O ODS 13 tem cinco metas: 13.1 – Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países; 13.2 – Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais; 13.3 – Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima; 13.a – Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) para a meta de mobilizar conjuntamente US\$ 100 bilhões por ano a partir de 2020, de todas as fontes, para atender às necessidades dos países em desenvolvimento, no contexto das ações de mitigação significativas e transparência na implementação; e operacionalizar plenamente o Fundo Verde

para o Clima por meio de sua capitalização o mais cedo possível; 13.b – Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas.

A Embrapa tem buscado evidenciar a dimensão dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, as quais podem reduzir a produtividade agrícola em diversas regiões, e então propor estratégias e inovações tecnológicas para a promoção do desenvolvimento sustentável, investindo em pesquisa e planejamento estratégico para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e garantir a adaptação dos agroecossistemas do País. Serão, portanto, primordiais a universalização da compreensão dos riscos impostos pela mudança do clima e a conscientização social acerca do tema.

Esta publicação tem como objetivo sumarizar algumas das mais importantes contribuições que a Embrapa tem dado à sociedade sobre esses temas. No [primeiro capítulo](#) foi realizada uma breve contextualização, seguida da problematização no [segundo capítulo](#). As contribuições para as metas do ODS 13 foram distribuídas nos três capítulos seguintes, sendo o [3º Capítulo](#) referente à resiliência e à capacidade de adaptação da agropecuária brasileira aos riscos impostos pelas mudanças climáticas. O [4º Capítulo](#) discorre sobre a integração das medidas de combate às mudanças climáticas no planejamento nacional por meio de políticas públicas. O [5º Capítulo](#) trata da contribuição do setor agropecuário para a mitigação das emissões de GEE e para a adaptação às mudanças climáticas. Por fim, no [último capítulo](#), é apresentada uma síntese do papel da Embrapa na contribuição ao ODS 13 e apontam-se os maiores desafios sobre o tema, considerando os documentos de visão estratégica da Empresa para o horizonte de 2030.

*Editores Técnicos*

# Sumário

- Capítulo 1
- 15** Mudanças climáticas: contexto mundial, brasileiro e no âmbito da Embrapa
- Capítulo 2
- 23** Mudanças climáticas e a agropecuária brasileira
- Capítulo 3
- 33** Resiliência e adaptação da agropecuária às mudanças climáticas
- Capítulo 4
- 51** Políticas, planos e estratégias nacionais para combate às mudanças climáticas
- Capítulo 5
- 61** O papel da agricultura na mitigação das emissões de gases de efeito estufa
- Capítulo 6
- 71** Desafios e soluções para o combate às mudanças climáticas



## Capítulo 1

# Mudanças climáticas: contexto mundial, brasileiro e no âmbito da Embrapa

*Gustavo Barbosa Mozzer*

*Maria José Amstalden Sampaio*

## Introdução

O desenvolvimento sustentável e a mudança do clima são indissociáveis. O desenvolvimento sustentável, que agrega as esferas econômicas, ecológicas e humanas, é condição essencial para a manutenção do equilíbrio climático mundial. O uso dos recursos naturais do planeta pela população humana é limitado à sua capacidade de suporte (Rockstrom et al., 2009). Portanto, para atender à demanda associada ao crescimento populacional dos atuais 7 para 9 bilhões em 2050, será necessária a reformulação dos meios de produção, os quais são hoje excessivamente dependentes de insumos de origem fóssil, aceleram o uso não sustentável dos recursos naturais e agravam o efeito estufa por meio das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

A produção agropecuária no Brasil e no mundo vem atingindo níveis surpreendentes de produtividade por meio da adoção de inovações tecnológicas e biotecnológicas desde a década de 1960, o que em boa medida tem refletido no aumento populacional e na crescente qualidade de vida das pessoas em todo o mundo. A preocupação atual recai em adaptar os agroecossistemas de modo a minorar os riscos inerentes aos impactos da mudança do clima. Entre as ações de adaptação, reside o fortalecimento e a produção de [serviços ambientais](#) (ex., sequestro de carbono) pelos agroecossistemas, além de alimentos, fibra e energia. O alcance da segurança alimentar mundial está, portanto, condicionada à adaptação dos impactos negativos e à mitigação das emissões de GEE. O Brasil tem e terá cada vez mais um papel de relevo na segurança alimentar mundial, e, nesse sentido, a Embrapa vem alinhando suas ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação aos desafios dos [Objetivos de Desenvolvimento Sustentável \(ODS\) das Nações Unidas](#).

## ODS 13 e o mundo

O ano de 2015 foi marcado pela cooperação e o desenvolvimento internacional. A adoção da [Agenda 2030](#) para a implementação dos 17 Objetivos de Desenvol-

vimento Sustentável (ODS) – no âmbito da *Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB)* e do [Acordo de Paris](#), no âmbito da *Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)* –, da Agenda de [Addis Ababa](#), na *Terceira Conferência para Financiamento do Desenvolvimento Sustentável*, e da [Proposta Sendai](#) para Redução do Risco de Desastres reforça a determinação política dos países membros em diminuir a desigualdade social, a pobreza e seus efeitos adversos sobre as populações humanas e sobre a disponibilidade e qualidade dos recursos naturais em todo o mundo. Essas agendas são complementares e demandarão ações coordenadas em nível local, nacional e global, nas esferas pública e privada, para que possam ser efetivamente implementadas e produzirem os resultados esperados.

Na *23ª Conferência das Partes (COP23)* da [UNFCCC](#) realizada em 2017, em Bonn, Alemanha, houve avanços sobre a necessidade de assegurar a conexão entre os ODS e as ações definidas na [UNFCCC](#). Os impactos da mudança do clima constituem uma grande ameaça para o sucesso do alcance dos ODS, pois representam alto risco para as populações humanas dependentes dos suprimentos de energia, água potável e alimentos. A mudança do clima ameaça, sobretudo, a conservação dos recursos naturais atualmente disponíveis.

Elencar um dos 17 ODS para a mudança do clima (ODS 13) indica o reconhecimento dos países membros sobre a sua importância e transversalidade nas diversas agendas. Em síntese, o ODS 13 reforça que a [UNFCCC](#) é o principal fórum internacional e intergovernamental para a negociação da ambição de mitigação de emissões de GEE e de adaptação aos efeitos adversos da mudança do clima. Para que haja êxito do envolvimento do Brasil nesse fórum, é necessário que, em âmbito doméstico, sejam estabelecidas redes de cooperação e coordenação entre as diversas agências e instituições nacionais. Planejamento, coordenação e previsibilidade orçamentária são fundamentais para o desenvolvimento de ações integradas, bem como para o monitoramento e avaliação dos resultados das ações implementadas.

A premissa fundamental que norteia o desenvolvimento sustentável desde a publicação, em 1987, do [Relatório Brundtland](#), elaborado pela World Commission on Environment and Development das Nações Unidas, baseia-se no princípio do desenvolvimento econômico capaz de satisfazer as necessidades humanas no presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender as suas próprias necessidades.

Fundamentado nessa premissa, destaca-se a urgência em peculiar à ODS 13: Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.

A natureza urgente do ODS 13 traduz o juízo detalhado pelo [Painel Intergovernamental em Mudanças do Clima \(IPCC\)](#) em seu [Sumário Síntese para Tomadores de Decisão do 5º Relatório de Avaliação \(AR5\)](#), publicado em 2014, o qual traz fortes evidências científicas de que o sistema climático é influenciado pela emissão antrópica de GEE na atmosfera. Este relatório destaca que as emissões de GEE decorrentes das atividades humanas deverão resultar no aumento médio da temperatura global e incrementar a frequência e a intensidade de eventos climáticos extremos ao longo das próximas décadas.

Extremos climáticos recentes, atribuídos à mudança do clima, já vêm produzindo impactos nos ecossistemas, no campo e em áreas urbanas em diversas partes do planeta. Os relatórios e sumários do IPCC apontam que a manutenção ou o aumento da taxa de emissões antrópicas de GEE poderá gerar, em um curto período de tempo, comparado às mudanças ocorridas em escalas geológicas, alterações irreversíveis e de grande magnitude no equilíbrio dos sistemas climático e ambiental do planeta. A natureza imprevisível desses eventos climáticos extremos coloca em risco as futuras gerações, em oposição às premissas definidas pelo [Relatório Brundtland](#).

O senso de urgência em adaptar-se aos efeitos adversos da mudança do clima é ainda mais acentuado quando se consideram os efeitos cumulativos do aquecimento global. Estes efeitos são resultados diretos do aumento da concentração de GEE na atmosfera ao longo do tempo (Lacis et al., 2013), bem como da inércia climática e de alocação de recursos financeiros voltados à inovação e descarbonização da economia global. Diferentemente dos efeitos extremos da mudança do clima, os efeitos cumulativos têm maior previsibilidade, considerando as limitações dos métodos atuais de investigação científica, e, portanto, tornam indefensável a falta de planejamento e de tomada de ação para o estabelecimento de um robusto plano de adaptação aos impactos previsíveis da mudança do clima.

Nesse sentido, torna-se urgente a definição de estratégias consistentes de mudança da matriz energética e da mitigação de emissões de GEE. É imperativo a universalização da compreensão pela sociedade moderna dos riscos e desafios impostos pela mudança do clima, a fim de evitar a perda dessa pequena janela de oportunidade ainda disponível para ajustar nosso comportamento mais alinhado aos preceitos estabelecidos no [Relatório Brundtland](#).

Ações devem ser tomadas em múltiplas frentes, estimulando o desenvolvimento de tecnologias que induzam a descarbonização e o aumento da eficiência nos processos dos diversos segmentos da atividade humana, bem como o compartilhamento de recursos e inovações para capacitar as futuras gerações quanto ao risco difuso e quanto aos potenciais efeitos adversos da mudança do clima. Destaca-se, assim, a importância do compromisso de ações coordenadas entre países, governos e entre as várias esferas dos estados e da sociedade civil organizada para consolidar modelos sustentáveis de desenvolvimento econômico nos curtos e médios prazos.

Esse senso de urgência foi expresso em 2014 pelo ex-presidente dos Estados Unidos da América, Barack Obama, durante a reunião de *Cúpula das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, em Nova York: “Nós somos a primeira geração a sentir os efeitos da mudança climática e a última geração que pode fazer algo a respeito”<sup>1</sup>.

Um dos maiores desafios impostos para nossas sociedades incidirá sobre a dinâmica da relação entre os países diante das tendências e pressões para a descarbonização econômica. Ademais, as transformações necessárias para a implementação do [Acordo de Paris](#) deverão gerar oportunidades para as nações capazes de produzir inovações nos modelos da Economia Circular (Stahel, 2016). Os países que investirem recursos humanos e tecnológicos para realizar inovações e forem capazes de comunicar os múltiplos benefícios associados à adoção de novos meios de produção mais eficientes consolidarão posições de liderança na Economia Circular em ascensão.

## ODS 13 e o Brasil

À medida que surgirem produtos e processos inovadores, aderentes à Economia Circular, setores da economia tradicional poderão se mostrar resistentes em razão do enfraquecimento de suas posições no mercado. Entre as respostas esperadas a um eventual risco de obsolescência, a desinformação (Vosoughi et al., 2018) talvez seja uma das mais plausíveis. Nesse contexto, são cada vez mais evidentes os esforços de manipulação da informação visando à desinformação coletiva e à distorção da realidade por meio de redes sociais. A desinformação coletiva já vem afetando decisões e rumos políticos em várias partes do mundo. No que tange à desinformação sobre a mudança do clima, é, portanto, de suma importância

---

<sup>1</sup> “We are the first generation to feel the impact of climate change, and the last generation that can do something about it.”

que instituições e governos estabeleçam e façam a comunicação de suas metas e ações de forma muito transparente, estimulando e fomentando, dentro e fora de suas fronteiras, a colaboração em pesquisa, desenvolvimento e inovação de produtos e processos da Economia Circular. É nesse sentido que se faz prioritário ao Brasil estabelecer mecanismos consistentes, nacionais e internacionais, de estímulo ao desenvolvimento de tecnologias de mitigação das emissões e de adaptação aos impactos da mudança do clima.

Segundo O'Connor et al. (2003), a percepção de uma dada sociedade sobre o tema “mudança do clima” não é homogênea. Ela depende do contexto social do indivíduo, ou de grupos de indivíduos, e da sua predisposição para uma atitude mais sustentável. Nos Estados Unidos da América, por exemplo, a percepção dos riscos associada à mudança do clima é maior nas classes de maior renda e nível educacional (O'Connor et al., 2003). No Brasil, entretanto, a maior parte dos estudos e dos esforços acadêmicos têm focado a mitigação das emissões (Gouvello et al., 2010; Motta et al., 2011; Brasil, 2013; Schaeffer et al., 2015), sem a devida atenção para a adaptação dos sistemas de produção como componente central da Economia Circular para lidar com as futuras condições climáticas muito provavelmente mais inóspitas. Apenas recentemente tem ganhado destaque um plano de adaptação com foco em uma agenda estruturante de estratégias para o fomento da [Política Nacional de Mudanças Climáticas \(PNMC\)](#) (Brasil, 2015).

Os modelos da Economia Circular com foco em adaptação representam uma grande oportunidade para o setor agrícola brasileiro. O investimento em novas tecnologias de adaptação para o setor frente às mudanças climáticas deve trazer grande visibilidade nacional e internacional para o País, vinculado a instrumentos legais, dos quais muitos já estão em vigor, e aos conceitos de desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, o [Código Florestal](#), o Cadastro Ambiental Rural (CAR) com a gestão integrada da paisagem, além do [Plano de Agricultura de Baixo Carbono \(ABC\)](#), já são realidade no País. Estes programas de governo estão em consonância com os compromissos assumidos internacionalmente para o cumprimento do ODS 13. As suas implementações conferem ao Brasil uma posição de destaque, legitimidade e robustez às [Ações Nacionalmente Apropriadas de Reduções de Emissões \(Namas\)](#), e continuam sustentando a liderança do País no contexto do [Acordo de Paris](#), reconhecidamente tendo apresentado um conjunto de políticas e estratégias desenvolvidas em âmbito doméstico classificado como uma das mais ambiciosas [Contribuições Nacionalmente Determinada \(NDC\)](#).

Reitera-se a necessidade da consolidação dos métodos científicos para monitorar a gestão integrada da paisagem, o que permitirá a produção de massas de dados

e de análises robustas para atestar os múltiplos benefícios decorrentes da adoção de modelos agrícolas mais eficientes e conservacionistas. O uso estratégico dessas informações deverá beneficiar a gestão dos recursos naturais brasileiros, fomentar a percepção de ganhos econômicos, explicitando a importância estratégica da resiliência na gestão dos agroecossistemas, e consolidar o modelo de Economia Circular que busca o desenvolvimento de sistemas mais adaptados aos riscos da mudança do clima e, portanto, mais eficientes e capazes de contribuir com a mitigação de emissões de GEE pela agricultura.

Informações consistentes acerca dos múltiplos benefícios decorrentes dos programas de governo anteriormente elencados e da adoção de práticas conservacionistas em agroecossistemas, incluindo também o [Zoneamento Agrícola de Risco Climático \(Zarc\)](#), o [Plano ABC](#), o [CAR](#) e o [Código Florestal](#) deverão subsidiar a promoção internacional e o fortalecimento de parcerias comerciais e financeiras para o desenvolvimento e consolidação da agricultura integrada e intensiva sustentável no Brasil.

## ODS 13 e a Embrapa

O engajamento da Embrapa na solução desses desafios tem sido uma prioridade ao longo das últimas décadas. Foi estabelecido um Portfólio de Pesquisa em Mudança do Clima para o fomento e o desenvolvimento de pesquisa agrícola sustentável nos trópicos, considerando as áreas de genética, gestão ambiental e conservação dos solos e dos recursos hídricos. A socioeconômica tem ganhado destaque ao longo dos anos como pilar central da sustentabilidade com vistas à adaptação dos agroecossistemas aos impactos da mudança do clima.

A Embrapa tem atuado de forma proativa e sistemática na área internacional, dando suporte à tomada de decisão para os ministérios das Relações Exteriores e da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, sobretudo nas negociações multilaterais no âmbito da [UNFCCC](#). Em novembro de 2017, a participação da Embrapa na delegação brasileira nessas negociações contribuiu com um resultado bastante promissor para o setor agrícola, uma decisão batizada de diálogos conjuntos de [“Koronivia”](#). Este entendimento abriu espaço para que a implementação de ações relacionadas à agricultura possam ser discutidas pelo prisma da vulnerabilidade do setor agrícola em relação à mudança do clima, considerando a capacidade e a necessidade desse setor para a segurança alimentar.

No âmbito da [UNFCCC](#), as discussões relacionadas à agricultura continuarão a avançar, considerando o desenvolvimento científico e a importância de estratégias específicas para a transferência de tecnologias, práticas e experiências para os produtores rurais. Como desdobramento, durante a [COP23](#) em Bonn, foi decidido priorizar os seguintes elementos no contexto das discussões sobre agricultura:

- Métodos e abordagens para avaliar a adaptação, seus cobenefícios e resiliência.
- Melhoria no carbono estocado, saúde e fertilidade dos solos em pastagens, terras agrícolas, bem como sistemas integrados, incluindo a gestão dos recursos hídricos.
- Melhoria no uso de nutrientes e no manejo dos dejetos animais em sistemas agrícolas sustentáveis e mais resilientes.
- Melhoria da gestão nos sistemas de produção de bovinos.
- Inclusão das dimensões socioeconômicas e de segurança alimentar.

## Considerações finais

Os riscos da mudança do clima à segurança alimentar e à soberania econômica são iminentes, especialmente para as nações localizadas nas regiões tropicais e menos desenvolvidas, as quais deverão ser mais afetadas pelo aumento da incidência de eventos extremos de temperatura, enchentes e secas. Portanto, na ausência de medidas de adaptação e mitigação de emissões, especialmente daquelas oriundas da queima de combustíveis fósseis nos países do Anexo I da UNFCCC, as mudanças climáticas devem ser encaradas como uma ameaça concreta ao Brasil. É preciso, portanto, adotar celeremente medidas de mitigação de emissões e ter um plano de adaptação aos impactos da mudança do clima no Brasil fortemente fundamentado. Para tanto, e em congruência com o ODS 13, a Embrapa vem consolidando informações relevantes por meio de pesquisa e inovação, visando acelerar o surgimento e a adoção de novas práticas e tecnologias no setor agropecuário nacional, as quais têm forte aderência à Economia Circular, que se mostra como uma grande oportunidade para o Brasil.

## Referências

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **PLANO ABC - Agricultura de baixa emissão de carbono**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/>

[sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono](#)>. Acesso em: 8 fev. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de adaptação à mudança do clima**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://hotsite.mma.gov.br/consultapublicapna/wp-content/uploads/sites/15/2015/08/PNA-Volume-1-05.10.15-Vers%C3%A3o-consulta-p%C3%BAblica.pdf>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

GOUVELLO, C. de; SOARES FILHO, B. S.; NASSAR, A. (Coord.). **Estudo de baixo carbono para o Brasil**: uso da terra, mudanças do uso da terra e florestas: relatório de síntese técnica. Washington, DC: World Bank, 2010. 288 p.

LACIS, A. A.; HANSEN, J. E.; RUSSELL, G. L.; OINAS, V.; JONAS, J. The role of long-lived greenhouse gases as principal LW control knob that governs the global surface temperature for past and future climate change. **Journal Tellus B: Chemical and Physical Meteorology**, v. 65, n. 1, 2013. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/ref/10.3402/tellusb.v65i0.19734?scroll=top>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

MOTTA, R. S. da; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G.; GUTIERREZ, M. B. S. (Ed.). **Mudança do clima no Brasil**: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. Brasília, DF: Ipea, 2011. 438 p.

O'CONNOR, R. E.; BORD, R. J.; YARNAL, B.; WIEFEK, N. Who wants to reduce greenhouse gas emissions? **Social Science Quarterly**, v. 83, n. 1, p. 1-17, 2002.

O'CONNOR, R. E.; BORD, R. J.; YARNAL, B.; WIEFEK, N. Who wants to reduce greenhouse gas emissions? **Social Science Quarterly**, v. 83, n. 1, p. 1-17, 2003.

ROCKSTROM, J. L.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; WIT, C. A. de.; HUGHES, T.; LEEUW, S. van der; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P.; FOLEY, J. A. A safe operating space for humanity. **Nature**, n. 461, p. 472-475, 2009. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/461472a>>. Acesso em: 9 fev. 2018.

SCHAEFFER, R. **Opções de mitigação de Gases de Efeito Estufa (GEE) em setores chave do Brasil**. Rio de Janeiro: PPE: COPPE: Ed. da UFRJ, 2015.

STAHEL, W. R. The circular economy. **Nature**, v. 531, n. 7595, p. 435-438, 2016. Disponível em: <<https://www.nature.com/news/the-circular-economy-1.19594>>.

VOSOUGHI, S.; ROY, D.; ARAL, S. The spread of true and false news online. **Science**, v. 359, n. 6380, p. 1146-1151, 2018.

## Capítulo 2

# Mudanças climáticas e a agropecuária brasileira

*Santiago Vianna Cuadra*

*Alexandre Bryan Heinmann*

*Beata Eموke Madari*

*Eduardo Delgado Assad*

*Patrícia Perondi Anção Oliveira*

*Francislene Angelotti*

*Vanderlise Giongo Petrere*

*Daniel de Castro Victoria*

*Luiz Gustavo Ribeiro Pereira*

*Rubens Sonsol Gondim*

*Aryeverton Fortes de Oliveira*

*Rosana Clara Victoria Higa*

## Introdução

Emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) e as mudanças do uso e cobertura da terra deverão alterar o clima global nas próximas décadas (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013). Por exemplo, são esperados como resultado das atividades antrópicas aumentos da temperatura média global, do nível médio do mar e da frequência e intensidade de precipitações e secas, ocasionando enchentes e ondas de calor. Tais mudanças deverão impactar significativamente diversos agroecossistemas em todo o globo (Stocker et al., 2013; Stevanović et al., 2016; Moore et al., 2017; Zhao et al., 2017; Scott et al., 2018).

Com o crescimento populacional e o aumento do consumo de alimentos, fibras e biocombustíveis, o setor agropecuário terá enormes desafios para manter o crescimento da produção e se adaptar às mudanças do clima (Stevanović et al., 2016). Especificamente, no Brasil, a demanda por exportações tem colocado o País como um dos principais produtores agropecuários no mundo. O setor agrícola tem papel de destaque no Produto Interno Bruto (PIB) nacional, 23% do PIB industrial e 42% das exportações (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2018), assim como na geração de postos de trabalho, responsável por 37% dos empregos diretos e indiretos no País. Por sua vez, o setor brasileiro de árvores plantadas, com uma área de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB industrial no País.

Ao contrário das regiões de altas latitudes, as regiões exportadoras de commodities agrícolas em regiões tropicais, como a América Latina, deverão experimentar impactos mais severos de mudanças climáticas sobre os rendimentos das culturas, e, como consequência, a magnitude da perda no superávit do consumidor poderá superar os potenciais benefícios sobre a produção dos produtores, o que poderá refletir em aumento dos preços (Stevanović et al., 2016).

Portanto, os agroecossistemas do País terão que simultaneamente buscar inovações tecnológicas que permitam a mitigação das emissões de GEE e a adaptação às alterações climáticas, de modo a garantir no médio e longo prazos a produção de alimentos à sua população atual e futura, bem como a geração de divisas por meio das exportações de commodities e, especialmente, de produtos de maior valor agregado da agroindústria.

## Impactos diretos

O clima é o principal fator ambiental associado à variabilidade da produtividade na agricultura, especialmente para os sistemas de sequeiro, que ocupam grandes áreas de produção na Ásia e a maioria das áreas de produção na África e América Latina (Hijmans; Serraj, 2008). Os riscos climáticos com potencial de causar perdas significativas ou totais à produção podem ser divididos em dois grupos: aqueles relacionados a eventos extremos (ex., baixas e altas temperaturas, precipitações intensas e ventos fortes, entre outros) e aqueles relacionados a eventos cumulativos (ex., secas prolongadas, temperaturas limitantes ao crescimento por longos períodos, etc.). Estudos recentes têm enfatizado que, enquanto as mudanças das condições médias do clima afetam a produtividade agrícola e requerem políticas de adaptação, grande parte das perdas de safras agrícolas e dos riscos à segurança alimentar estarão associados ao aumento das variações interanuais das condições climáticas graças à ocorrência de eventos climáticos extremos (Alexander et al., 2006; Stevanović et al., 2016). Por exemplo, a seca ocorrida na região central do Brasil em 2016 provocou a elevação dos preços do grão de milho e o desabastecimento de algumas regiões do País. Na safrinha de 2016, foram colhidos 39,6 milhões de toneladas de grãos de milho, 29,5% a menos que a safrinha do ano anterior (56,3 milhões de toneladas), apesar do acréscimo de 10,3% da área plantada (Produção Agrícola Municipal, 2018). Ademais, 3 anos de chuvas abaixo da média histórica na região Sudeste danificaram cerca de 100 mil hectares de floresta de eucalipto, com perdas de 10 milhões de metros cúbicos de madeira entre 2013 e 2015.

Os esforços em pesquisa, desenvolvimento e inovação têm buscado soluções para uma agricultura cada vez mais sustentável e capaz de adaptar-se aos impactos das mudanças climáticas e mitigar as emissões dos GEE. A viabilidade econômica, social e ambiental para a adoção de tecnologias voltadas para o desenvolvimento sustentável é fundamental para reduzir as desigualdades sociais e garantir a segurança alimentar e hídrica para todos, a exemplo da Economia Circular (Stahel, 2016). O avanço do conhecimento científico e tecnológico obtido nos últimos anos e a interação entre as instituições de ensino e pesquisa assumem um papel fundamental na proposição e no sucesso da adoção de políticas públicas que visam aumentar a capacidade adaptativa frente aos riscos climáticos, criando espaços de oportunidades e caminhos para a resiliência climática. A adaptação da agricultura para a Economia Circular cria oportunidades de mitigação de emissões de GEE em agroecossistemas mais eficientes em termos produtivos e socioambientais (Stahel, 2016). Dessa maneira, torna-se imperativo o fortalecimento de ações para reduzir os impactos e riscos inerentes às mudanças climáticas, criar oportunidades na economia de baixa emissão de carbono e promover a sustentabilidade no meio rural.

## Impactos indiretos

A mudança do clima poderá impactar de muitas maneiras como fator indireto de estresse aos vegetais em ecossistemas e agroecossistemas. Outro fator de grande impacto na produtividade das culturas nas próximas décadas poderá ser o efeito do incremento da pressão parcial do  $\text{CO}_2$  atmosférico sobre a fotossíntese das plantas, sobretudo daquelas do metabolismo C3 (ex., trigo, arroz e soja), mas também sobre o valor nutricional dos alimentos de base vegetal. Resultados recentes têm indicado que as culturas C3, não leguminosas, possuem concentrações mais baixas de proteína quando cultivadas em um ambiente com concentração de  $\text{CO}_2$  elevada, enquanto as culturas C4 parecem ser menos afetadas (Myers et al., 2014). Esses efeitos sobre a produtividade e a qualidade dos alimentos vegetais têm merecido destaque na agenda de pesquisa da Embrapa. Por exemplo, o excesso de  $\text{CO}_2$  atmosférico pode eventualmente beneficiar a produtividade de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul, principal estado produtor do Brasil (Cuadra et al., 2015).

Com as mudanças climáticas, não apenas os estresses de ordem abiótica poderão se intensificar, mas também os de ordem biótica. Por exemplo, é de extrema importância estimar como os problemas fitossanitários poderão ser impactados pelas mudanças no clima, já que patógenos e pragas são fatores responsáveis por

drásticas reduções de produtividade e podem colocar em risco a sustentabilidade econômica e ambiental de diversas atividades agrícolas. No caso da produção animal, a incidência de ectoparasitas poderá se intensificar, a exemplo dos carrapatos, problema sanitário bastante comum na pecuária. Entretanto, as adoções de medidas de adaptação só poderão ser incorporadas a partir da geração do conhecimento que permitam relacionar os elementos climáticos com a distribuição geográfica e temporal dos problemas fitossanitários. Nesse sentido, diversos estudos, por meio de simulação (modelos) e experimentação, vêm sendo realizados nos últimos anos (Pereira, 2008; Bettiol et al., 2017).

## Impactos da agropecuária nas mudanças climáticas

A agropecuária não será apenas afetada pelas mudanças climáticas, mas poderá intensificá-las e deve, portanto, buscar meios de mitigar suas emissões de GEE. A comunidade científica convencionou o termo Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC), que visa à adoção de um conjunto de ações e tecnologias que mitiga as emissões combinadas de GEE na forma de CH<sub>4</sub> (metano), N<sub>2</sub>O (óxido nitroso) e CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) ou que sequestra CO<sub>2</sub> da atmosfera na vegetação e nos solos. A ABC está associada aos agroecossistemas intensificados pela integração paulatina da biotecnologia vegetal e animal, da engenharia química e da mecatrônica, a qual tem favorecido melhores índices de produtividade agropecuária e processos de reciclagem de materiais, consorciados ou não com a geração de energia renovável (biomassa, biodiesel, biogás, etc.). Entre estes, ressaltam-se, por exemplo, combinações de sistemas integrados planta-animal, sistemas de plantio direto com rotação de culturas e plantas de cobertura/adubação verde, a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e pastagens recuperadas e manejadas (Sacramento et al., 2013; Brandão et al., 2017). A mitigação das emissões pela integração e intensificação da agricultura em agroecossistemas permite a conservação dos recursos naturais e [serviços ambientais](#) nos ecossistemas remanescentes (Silva et al., 2015). A prioridade deve ser dada às combinações de tecnologias e práticas agropecuárias que favoreçam ganhos de produtividade e mitigação certificada das emissões dos GEE.

Ademais à produção de commodities e de alimentos, o Brasil tem grande destaque nas indústrias de produção de papel, celulose e de biocombustíveis. As culturas energéticas são alternativas viáveis, pela óptica econômica e ambiental, de modo a contribuir, junto com a energia fotovoltaica e eólica, na substituição paulatina de fontes fósseis de energia por renováveis, principalmente para o setor de transportes. Diversas culturas têm sido usadas na produção de diferentes tipos

de biocombustíveis como etanol, de cana-de-açúcar e de milho, biodiesel de soja e biometano e bioquerosene de resíduos e dejetos animais. O setor florestal, por sua vez, tem grande potencial na redução de GEE por meio do sequestro de carbono em plantações comerciais de árvores (para fins não energéticos) e pela recuperação de áreas de Reserva Legal (RL), Áreas de Proteção Permanente (APP) e de Reserva Particular de Patrimônio Natural (RRPN) pela necessidade de adequação ao [Código Florestal](#) e ao Cadastro Ambiental Rural (CAR).

## Conservação dos serviços ecossistêmicos

A oportunidade de alavancar tecnologias da Economia Circular para a mitigação das emissões e para a adaptação à mudança do clima pela agricultura deverá desencadear a conservação dos recursos naturais, bem como resguardar a provisão de [serviços ambientais](#) pelos agroecossistemas do Brasil. Os agroecossistemas produzem uma variedade de serviços ecossistêmicos, como a regulação da qualidade do solo e da água, o sequestro de carbono, a manutenção da biodiversidade e de insetos polinizadores ou controladores de pragas, bem como serviços culturais (Power, 2010). Entre esses serviços, destacam-se o ciclo da “água azul”, responsável pela formação dos rios, e o da “água verde”, que representa a interação da água pluviométrica e os ecossistemas terrestres, dando origem aos processos de evapotranspiração, percolação e recarga de aquíferos subterrâneos (D’Odorico et al., 2010). Nesse contexto, um dos principais serviços ecossistêmicos são os recursos hídricos.

As mudanças climáticas poderão afetar os recursos hídricos de diversas maneiras no Brasil. As projeções para a região do Semiárido nordestino apontam para aumentos da demanda hídrica, em virtude da elevação da evapotranspiração e da redução na precipitação, potencializando um processo análogo ao de desertificação (Cavalcanti et al., 2005; Gondim et al., 2012). Por sua vez, a mudança do clima vem ampliando eventos extremos de precipitação no Pantanal (Bergier et al., 2018). Sob pressão da expansão das áreas urbanas e do avanço do agronegócio de larga escala nas áreas rurais, diversas populações humanas vêm migrando e povoando periferias e outras áreas que são intrinsecamente mais vulneráveis às mudanças climáticas. Há indicativos, ainda, de que a mudança do clima possa aumentar o número de pedidos de asilo (refugiados da mudança do clima) em países desenvolvidos e em desenvolvimento (Missirian; Schlenker, 2017). Essas populações vulneráveis necessitarão cada vez mais de suporte e de políticas públicas que criem oportunidades para reintegrá-las à sociedade ou lhes dar condições para que possam migrar e reestabelecer-se em regiões mais seguras.

## Políticas públicas

A [Política Nacional sobre Mudança do Clima \(PNMC\)](#) oficializou o compromisso voluntário do Brasil com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UFCCC) de mitigar as emissões de GEE entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. O Decreto Presidencial nº 7.390/2010 (Brasil, 2010) regulamenta a PNMC e define a linha de base de emissões de GEE para 2020 em 3,2 Gt CO<sub>2</sub>-eq (1 Gt = 10<sup>9</sup> toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes). Portanto, o compromisso de mitigação absoluta correspondente se situa entre 1,2 Gt CO<sub>2</sub>-eq e 1,3 Gt CO<sub>2</sub>-eq. Em 2012, a agropecuária representou 37% das emissões nacionais. De 2005 a 2012, as emissões da agropecuária tiveram um incremento de 7,4%, de 415,7 Gg CO<sub>2</sub>-eq para 446,4 Gg CO<sub>2</sub>-eq (1 Gg = 109 gramas ou 103 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes). Entretanto, foi de 1995 a 2005 que as emissões da agropecuária mais cresceram, de 335,8 Gg CO<sub>2</sub>-eq para 415,7 Gg CO<sub>2</sub>-eq, ou seja, 23,8%. Para o uso da terra e florestas, as emissões de 1990 (815,96 Gg CO<sub>2</sub>-eq) cresceram 138% em 1995 (1.940,42 Gg CO<sub>2</sub>-eq), coincidente com o auge do desmatamento na Amazônia. Políticas públicas de monitoramento e de fiscalização para a contenção do avanço do desmatamento foram muito bem-sucedidas e efetivas para levar as emissões ao patamar de 175,7 Gg CO<sub>2</sub>-eq em 2012, uma redução de 91% em relação às emissões de 1995. Além da PNMC, o governo federal vem organizando estratégias setoriais, como o [Plano ABC](#) (Plano..., 2012) e o [Plano Nacional de Adaptação \(PNA\)](#). A Embrapa tem contribuído proativamente na pesquisa e no desenvolvimento de novas tecnologias, bem como no suporte à formulação dessas políticas públicas ligadas à mitigação das emissões e adaptação à mudança do clima.

## Integração de processos como resposta da agropecuária

A mitigação das emissões e a adaptação às mudanças climáticas requerem essencialmente o uso eficiente e integrado dos recursos naturais disponíveis em uma propriedade rural, maximizando o potencial da terra, com baixo impacto sobre os recursos naturais e, recomendável, com a geração local de energia renovável. Atualmente tem crescido o uso da abordagem proposta pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) que vincula os setores de energia, água e alimentos na agricultura denominada de Nexus (Flammini et al., 2014). A FAO criou essa abordagem com a finalidade de informar e orientar os processos de tomada de decisão e de formulação de políticas públi-

cas no intuito de melhoria das condições socioambientais e econômicas das nações, apoiando os países na concepção e implementação de forma participativa (Flammini et al., 2014). Os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento de vinculação de processos agropecuários realizado pela Embrapa para a mitigação de emissões e adaptação às mudanças climáticas têm grande aderência ao [Nexus água-energia-alimento](#) da FAO. Nesse ambiente, as gestões energéticas, hídricas e alimentares estão intimamente conectadas e, portanto, devem ser geridas e governadas de modo integrado para atender de forma eficaz às necessidades de uma população mundial em crescimento.

## Considerações finais

A agropecuária tem desempenhado um papel de grande importância na economia e na segurança alimentar nacional. É consenso mundial de que a receita financeira e os alimentos advindos da exploração dos agroecossistemas tropicais estão ameaçados pelo agravamento das mudanças climáticas nas próximas décadas. Todavia, o desmatamento e o uso inadequado de áreas desmatadas para a produção de alimentos são responsáveis por uma fração não desprezível desse agravamento por causa das emissões de GEE. Diversas políticas públicas adotadas nos últimos 20 anos têm contribuído para mitigar as emissões brasileiras oriundas do desmatamento, em particular na Amazônia e no Cerrado, bem como para estimular a adoção de tecnologias e arranjos produtivos mais sustentáveis. Os esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação da Embrapa, em parceria com outros centros de pesquisa e a iniciativa privada, têm resultado em grandes contribuições e avanços para a definição dessas políticas.

Por sua vez, tendo em vista que a maior parte das emissões de GEE é originária da queima de combustíveis fósseis, e mesmo que os países do Anexo I cumpram suas metas de redução de emissões, é realista a possibilidade de que a temperatura média do planeta ultrapasse o limiar de +2 °C. Nesse caso, a necessidade de adaptação dos agroecossistemas à mudança do clima é fundamental.

O Brasil precisa, portanto, tomar medidas imediatas para fortalecer o estabelecimento de parcerias públicas e privadas que permitam avanços significativos do conhecimento. Esses avanços necessariamente devem ser traduzidos em tecnologias destinadas a aumentar simultaneamente a produtividade agropecuária e dos [serviços ambientais](#) (produção de água, estoque de carbono, biodiversidade, etc.) dos agroecossistemas já estabelecidos nos diferentes biomas, evitando, assim, novos desmatamentos. A Embrapa certamente exercerá um papel de liderança

e protagonismo nessas ações, tendo em vista a sua capilaridade nacional e sua capacidade de tecer grandes redes de colaboração em uma economia cada vez mais aberta e mais competitiva (Brasil, 2018).

## Referências

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A. M. G. K.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; KUMAR, K. R.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, D5, p. 1-22, 2006. DOI:10.1029/2005JD006290.

BERGIER, I.; ASSINE, M. L.; MCGLUE, M. M.; ALHO, C. J. R.; SILVA, A.; GUERREIRO, R. L.; CARVALHO, J. C. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of the Total Environment**, v. 619-620, p. 1116-1125, 2018.

BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 488 p.

BRANDÃO, S. da S.; GIONGO, V.; OLSZEWSKI, N.; SALVIANO, A. M. Coquetéis vegetais e sistemas de manejo alterando a qualidade do solo e produtividade da mangueira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1079-1089, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162557/1/Alessandra-2017.pdf>>. Acesso em: 6 fev. 2018.

BRASIL. **Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010**. Regulamenta os arts. 6, 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. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/decreto/d7390.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/decreto/d7390.htm)>. Acesso em: 7 fev. 2018.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria Geral da Presidência. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Abertura comercial para o desenvolvimento econômico – Relatório de Conjuntura n. 3**. Brasília, DF, 2018. <[http://www.secretariageral.gov.br/assuntos/assuntos-estrategicos/publicacoes-e-analise/abertura\\_comercial\\_para\\_o\\_desenvolvimento\\_economico.pdf](http://www.secretariageral.gov.br/assuntos/assuntos-estrategicos/publicacoes-e-analise/abertura_comercial_para_o_desenvolvimento_economico.pdf)>. Acesso em: 8 mar. 2018.

CAVALCANTI, E. R.; COUTINHO, S. F. S. Desertification in the northeast of Brazil: the natural resources use and the land degradation. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 1, n. 1, p. 891-900, 2005.

CUADRA, S. V.; STEINMETZ, S.; HEINEMANN, A. B.; ALMEIDA, I. R. de. Impacto das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento a produtividade do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 19., 2015, Lavras. **Agrometeorologia no século 21: o desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros: anais**. Lavras: Ed. da Ufla, 2015."

D'ODORICO, P.; LAIO, F.; PORPORATO, A.; RIDOLFI, L.; RINALDO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Ecohydrology of terrestrial ecosystems. **BioScience**, v. 60, n. 11, p. 898-907, Dec. 2010. DOI:https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.11.6

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. Centro de Estudos Avançados em Economia Agrícola. **PIB do agronegócio brasileiro**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 7 fev. 2018.

FLAMMINI, A.; PURI, M.; PLUSCHKE, L.; DUBOI, O. **Walking the nexus talk**: assessing the water-energy-food nexus in the context of the sustainable energy for all initiative. [S.l.]: FAO, 2014. 147 p. (Environment and natural resources management working papers, v. 58). Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i3959e.pdf>>. Acesso em: 7 fev. 2018.

GONDIM, R. S.; CASTRO, M A. H. de; MAIA, A de H. N.; EVANGELISTA, S R. M.; FUCK, S.C. de F. Climate change impacts on irrigation water needs in the jaguaribe river basin. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 48, n. 2, p. 355-365, 2012.

HIJMANS, R. J.; SERRAJ, R. Modeling spatial and temporal variation of drought in rice production. In: SERRAJ, R.; BENNETT, J.; HARDY, B. (Ed.). **Drought frontiers in rice**: crop improvement for increased rainfed production. Singapore: World Scientific Publishing, 2008. p. 19-31. DOI:10.1142/9789814280013\_0002.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: [STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. -K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **Climate change 2013**: the physical science basis: contribution of working group to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

MISSIRIAN, A.; SCHLENKER, W. Asylum applications respond to temperature fluctuations. **Science**, v. 358, n. 6370, p. 1610-1614, 2017. DOI: 10.1126/science.aao0432.

MOORE, F. C.; BALDOS, U.; HERTEL, T.; DIAZ, D. New science of climate change impacts on agriculture implies higher social cost of carbon. **Nature Communications**, v. 8, p. 1-9, 2017. DOI:10.1038/s41467-017-01792-x

MYERS, S. S.; ZANOBETTI, A.; KLOOG, I.; HUYBERS, P.; LEAKEY, A. D. B.; BLOOM, A. J.; CARLISLE, E.; DIETTERICH, L. H.; FITZGERALD, G.; HASEGAWA, T.; HOLBROOK, N. M.; NELSON, R. L.; OTTMAN, M. J.; RABOY, V.; SAKAI, H.; SARTOR, K. A.; SCHWARTZ, J.; SENEWEERA, S.; TAUSZ, M.; USUI, Y. Increasing CO2 threatens human nutrition. **Nature**, v. 510, p. 139-142, 2014. DOI: 10.1038/nature13179.

PEREIRA, A. A. **Aspectos da ecologia de *Boophilus microplus* (CANESTRINI, 1887) (ACARINA: IXODIDAE) no Município de Franca, nordeste de São Paulo**. Jaboticabal, 2008, 113 p. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

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 (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília, DF, 2012. 107 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Plano\\_ABC\\_VERSAO\\_FINAL\\_13jan2012.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Plano_ABC_VERSAO_FINAL_13jan2012.pdf)>. Acesso em: 7 fev. 2018.

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, p. 2959-29791, 2010. DOI:10.1098/rstb.2010.0143.

PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL - PAM. 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 2 mar. 2018.

SACRAMENTO, J. A. A. S.; ARAÚJO, A. C. de M.; ESCOBAR, M. E. O.; XAVIER, F. A. da S.; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. de Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 784-795, 2013.

SCOTT, C. E.; MONKS, S. A.; SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; FORSTER, P. M.; RAP, A.; ÄIJÄLÄ, M.; ARTAXO, P.; CARSLAW, K. S.; CHIPPERFIELD, M. P.; EHN, M.; GILARDONI, S.; HEIKKINEN, L.; KULMALA, M.; PETÄJÄ, T.; REDDINGTON, C. L. S.; RIZZO, L. V.; SWIETLICKI E., VIGNATI E., WILSON C. Impact on short-lived climate forcers increases projected warming due to deforestation. **Nature Communications**, v. 9, p. 1-9, 2018. DOI: 10.1038/s41467-017-02412-4.

SILVA, R. de O.; BARIONI, L. G.; ALBERTINI, T. Z.; EORYD, V.; TOPP, C. F. E.; FERNANDES, F. A.; MORAN, D. Developing a nationally appropriate mitigation measure from the greenhouse gas GHG abatement potential from livestock production in the Brazilian cerrado. **Agricultural Systems**, v. 140, p. 48-55, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2015.08.011>.

STAHEL, W. R. The circular economy. **Nature**, v. 531, n. 7595, p. 435-438, 2016.

STEVANOVIĆ, M.; POPP, A.; LOTZE-CAMPEN, H.; DIETRICH, J. P.; MÜLLER, C.; BONDSCH, M.; SCHMITZ, C.; BODIRSKY, B. L.; HUMPENÖDER, F.; WEINDL, I. The impact of high-end climate change on agricultural welfare. **Science Advances**, v. 2, n. 8, 2016, p. 1-9, DOI: 10.1126/sciadv.1501452.

STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M. M. B.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M.(Ed.). **IPCC, 2013: Climate change 2013: the physical science basis: working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.

ZHAO, C.; LIU, B.; PIAO, S.; WANG, X.; LOBELL, D. B.; HUANG, Y.; HUANG, M.; YAO, Y.; BASSU, S.; CIAIS, P.; DURAND, J.-L.; ELLIOTT, J.; EWERT, F.; JANSSENS, I. A.; LI, T.; LIN, E.; LIU, Q.; MARTRE, P.; MULLER, C.; PENG, S.; PEÑUELAS, J.; RUANE, A. C.; WALLACH, D.; WANG, T.; WU, D.; LIU, Z.; ZHU, Y.; ZHU, Z.; ASSENG, S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 114, n. 35, p. 9326-9331, 2017. DOI: 10.1073/pnas.1701762114. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/114/35/9326.full>>. Acesso em: 7 fev. 2018.

## Capítulo 3

# Resiliência e adaptação da agropecuária às mudanças climáticas

*Santiago Vianna Cuadra*

*Alexandre Bryan Heinmann*

*Patrícia Menezes Santos*

*Patrícia Perondi Anção Oliveira*

*Alexandre Kemenes*

*Lauro José Moreira Guimarães*

*Ciro Augusto de Souza Magalhães*

*Luiz Sergio de Almeida Camargo*

*Francislene Angelotti*

*Vanderlise Giongo Petrere*

*Camilo de Lelis Teixeira de Andrade*

*Luiz Gustavo Ribeiro Pereira*

*Silvio Steinmetz*

*Ana Paula Contador Packer*

*Rosana Clara Victoria Higa*

*Jose Eduardo Boffino de Almeida Monteiro*

*Nilza Patricia Ramos*

*Fernanda Garcia Sampaio*

*Katia de Lima Nechet*

*Cristiano Alberto de Andrade*

*Eunice Reis Batista*

*Giampaolo Queiroz Pellegrino*

## Introdução

Do ponto de vista estratégico, será de extrema importância antever de que maneira os agroecossistemas atenderão ao aumento da demanda mundial por alimentos, fibras e energia de modo sustentável e em um contexto no qual a produtividade agrícola pode apresentar estagnação ou reduções associadas às mudanças climáticas (Challinor et al., 2014; Zhao et al., 2016). A variabilidade climática é responsável por aproximadamente um terço das oscilações da produtividade agrícola em todo o mundo (Ray et al., 2015). As mudanças climáticas devem, portanto, aumentar a variabilidade da produtividade agrícola, a qual poderá ser reduzida drasticamente ao longo da segunda metade deste século na ausência de medidas de adaptação e de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). O 5º Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre

Mudanças Climáticas (IPCC) sugere que a produtividade do arroz tropical provavelmente diminuirá a uma taxa entre 1,3% e 3,5% para cada 1 °C de aquecimento médio global (Porter et al., 2014). O aumento da temperatura média global poderá elevar a ocorrência de estresses térmicos e hídrico e, como consequência, diminuir a produtividade (Zhao et al., 2017). Estima-se que as mudanças climáticas já estejam reduzindo a produção agrícola global de 1% a 5% por década nos últimos 30 anos, e continuarão a representar desafios para a agricultura nas próximas décadas (Challinor et al., 2014, Porter et al., 2014).

Portanto, as mudanças climáticas representam um risco muito elevado para a segurança alimentar sem medidas adequadas de mitigação e adaptação dos agroecossistemas no mundo e no Brasil (Magrin et al., 2014). O presente capítulo trata de como a Embrapa tem contribuído para a meta 13.1 – Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países.

## Adaptação às mudanças climáticas na agropecuária

Para garantir maior resiliência e adaptabilidade aos riscos climáticos, será importante quantificar o risco que os agroecossistemas estarão sujeitos nas diferentes ecorregiões do Brasil. Essa tarefa é extremamente complexa dada a dimensão continental do País, a diversidade de cultivos, de sistemas de produção e de disponibilidade de recursos naturais. Nesse cenário, uma ferramenta que se destaca para avaliar as repostas da produtividade agrícola às condições climáticas são os modelos empíricos (estatísticos) e os modelos baseados em processos biofísicos que simulam a produtividade agrícola e suas interações com o ambiente e práticas de manejo (Lobell et al., 2008; Jones et al., 2017). Os modelos permitem identificar e avaliar as incertezas na produção agrícola decorrentes das condições médias e das variações climáticas, assim como explorar diferentes ações de adaptação, principalmente aquelas referentes às práticas de manejo (Boote et al., 2013; Paixão et al., 2014). Por exemplo, os modelos permitem aperfeiçoar a eficiência do cultivo por meio da análise de desempenho de cultivares em diferentes condições edafoclimáticas, datas de semeadura, populações de plantas, manejos da irrigação e épocas de adubação nitrogenada (Paixão et al., 2014; Heinemann et al., 2017a). Entretanto, apesar dos grandes avanços nas últimas décadas, o desenvolvimento, a parametrização e a validação em escala regional, nacional e global ainda são insuficientes. Iniciativas como [The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project \(AgMIP\)](#) e o projeto Intercomparação, Aprimoramento e Adaptação de Modelos de Simulação de Culturas Agrícolas para Aplicação em

Mudanças Climáticas (AgMIP-BR), coordenado pela Embrapa, têm buscado acelerar os avanços de parametrização e validação desses modelos.

Embora essas iniciativas estejam em curso, a determinação dos potenciais impactos das mudanças climáticas ainda é limitada a um número reduzido de culturas agrícolas no Brasil. Pesquisas de campo e de modelagem têm demonstrado que as mudanças climáticas poderão impactar diversas culturas agrícolas. Estudos de modelagem projetam uma diminuição sistemática da adequação climática para o cultivo de feijão na maior parte da América do Sul (incluindo o estado de Goiás), sendo as altas temperaturas e o estresse hídrico os principais fatores limitantes ao aumento de produtividade (Ramirez-Cabral et al., 2016; Heinemann et al., 2017b). Para o arroz subtropical, cultivado no Sul do Brasil, as principais alterações estão associadas: 1) à diminuição do risco de frio; 2) ao encurtamento do ciclo graças ao aumento da temperatura; 3) ao aumento de produtividade nas regiões mais frias, com menores perdas decorrentes da esterilidade por frio; 4) nas regiões mais quentes, a uma diminuição da produtividade em virtude das mudanças climáticas, para algumas épocas de semeadura e cultivares, por causa da elevação das temperaturas diurnas e noturnas (Marques et al., 2005; Steinmetz et al., 2005; Cuadra et al., 2015).

Os impactos do clima em condições atuais e em projeções de aquecimento global sobre a safra de milho em Minas Gerais também foram estudados por meio de modelos (Amorim et al., 2008). Observou-se que a redução no regime de chuvas e o aumento da temperatura tendem a diminuir substancialmente a duração do ciclo da cultura e o índice de área foliar e, conseqüentemente, a produtividade da cultura do milho. Magalhães et al. (2016), avaliando estratégias mitigadoras para a cultura do milho, em Minas Gerais, constataram que a manutenção da palhada na superfície do solo é mais eficiente que o aprofundamento do sistema radicular para atenuar o aumento dos déficit de precipitação na cultura do milho. Por sua vez, o aprofundamento do sistema radicular do milho, quer seja via uso de cultivar tolerante ao alumínio, quer seja via correção do perfil do solo, foi mais efetivo para atenuar o efeito de temperaturas elevadas do ar. Com relação às medidas de adaptação às mudanças climáticas para o sorgo granífero, Grossi et al. (2013) sugerem que a janela de semeadura dessa cultura seja postergada em Janaúba e Sete Lagoas, MG, e em Rio Verde, GO.

Para a adaptação das pastagens, os resultados obtidos por Santos et al. (2014, 2015) sugerem que as mudanças climáticas terão impactos positivos sobre a produção anual de forragem constituída por capim-tanzânia (*Panicum maximum*) e capim-marandu (*Urochloa brizantha*) na maior parte das regiões Centro-Oeste e Sudeste.

Apesar do aumento da produção anual de forragem destas pastagens, os resultados sugerem que poderá haver uma maior sazonalidade da produção. As áreas mais vulneráveis dessas regiões, para as quais alguns cenários apontam para uma redução da produção anual, estão localizadas entre Minas Gerais e Goiás e em áreas próximas ao Semiárido nordestino. No caso do Pantanal, onde há o predomínio de atividades de cria e recria de bovinos sobre pastagens nativas (Santos et al., 2002, 2015; Abreu et al., 2018), as precipitações de verão têm-se tornado mais extremas ao longo dos últimos 90 anos graças ao aquecimento global (Bergier et al., 2018). As áreas de planícies com pastagens nativas poderão ser afetadas em casos de avulsões seguidas de arrombamentos de diques marginais de rios distributários (Assine et al., 2016), as quais podem ser induzidas por eventos extremos de chuva nas áreas de Cerrado com alto índice de agroecossistemas já desflorestados, e onde se situam as nascentes dos rios pantaneiros (Galdino et al., 2005).

A Embrapa tem buscado incorporar esses conhecimentos para gerar cenários dos impactos das mudanças do clima sobre a produção animal e de pastagens, visando encontrar medidas de adaptação para o setor. Na produção animal, com o auxílio de modelos de aptidão climática e de modelos empíricos de produção, Santos et al. (2014, 2015) analisaram as condições de cultivo no Brasil para capim-marandu (*U. brizantha* cv. Marandu), capim-tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia-1), palma forrageira (*Opuntia* sp.), capim-buffel (*Cenchrus ciliaris*) e azevém-anual (*Lolium multiflorum* Lam.). A Embrapa tem trabalhado em conjunto com as equipes de desenvolvimento das plataformas de [modelos biofísicos DSSAT](#) e [APSIM](#) para adaptação e parametrização de modelos de simulação para pastagens tropicais, de forma a aprimorar os estudos de cenários futuros para produção animal em pastagens no Brasil (FAO, 2009; O'Mara, 2012).

## Tecnologias, produtos e serviços para a adaptação da agropecuária

### *Alternativas de manejo para reforçar a resiliência*

A Embrapa e seus parceiros têm buscado desenvolver novas tecnologias, produtos e serviços para minimizar os riscos de perdas e incrementar os ganhos de produtividade dos agroecossistemas. Como exemplo, citam-se os programas de melhoramento vegetal por meio do desenvolvimento de novos materiais genéticos adaptados aos ambientes de produção, ou da indicação de cultivos alter-

nativos para os locais em que os atuais sistemas de produção vêm se tornando menos sustentáveis. A adoção de boas práticas agropecuárias é considerada um dos métodos mais viáveis de prover resiliência e diminuição da exposição aos riscos climáticos, possibilitando também reduzir as atuais lacunas de produtividade (Cassman, 1999; Ittersum et al., 2016). Por exemplo, o [Zoneamento Agrícola de Risco Climático \(Zarc\)](#) pode contribuir para reduzir os riscos por meio da recomendação de épocas mais favoráveis para a implantação de diversas culturas agrícolas (Santos; Pezzopane, 2010a, 2010b; Santos et al., 2010a, 2010b).

Além das recomendações das melhores épocas para o plantio, é importante que as plantas utilizadas em regiões sujeitas a estresses sejam adaptadas a essas condições. Por exemplo, para pastagens perenes cultivadas em locais sujeitos à deficiência hídrica intensa, muitas vezes é mais importante garantir a sobrevivência do capim do que proporcionar altas produtividades em curto prazo. Nessas situações, é importante que as pastagens perenes sejam capazes de suportar a desidratação por longos períodos para sobreviver e rebrotar até que a disponibilidade de água no solo volte a ser adequada. Esta estratégia de resposta à deficiência hídrica está relacionada a mecanismos que a planta usa para proteger seus pontos de rebrota da desidratação.

Para garantir a competitividade e a sustentabilidade da produção animal em um cenário de mudança do clima, os agroecossistemas no País devem sofrer adaptações tecnológicas. A diversificação do material genético, o uso de alimentação suplementar, a conservação de forragem, a seleção e o melhoramento genético de animais e vegetais, a adequação do manejo do pasto e do solo, a adoção de sistemas integrados e intensivos e o uso da irrigação controlada estão entre as adaptações tecnológicas mais plausíveis. Entre as tecnologias mais indicadas estão a recuperação e a intensificação das pastagens (FAO, 2009; O'Mara, 2012).

### *Melhoramento genético de plantas*

Além da indicação de práticas de manejo e de integração e intensificação, os programas de melhoramento vegetal terão papel fundamental no desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições projetadas de mudanças climáticas (Challinor et al., 2014). Diversos grupos de pesquisa têm concentrado esforços no desenvolvimento de cultivares com maior tolerância ao déficit hídrico, maior eficiência fotossintética e nutricional, e maior resistência à toxicidade de alumínio em solos ácidos. Para reduzir essas limitações, diversas linhas de pesquisa buscam alternativas como a exploração da variabilidade genética das culturas e de espécies relacionadas para a identificação de marcadores moleculares associados

a regiões genômicas (*Quantitative Trait Locus* ou QTLs) ou alelos favoráveis para seleção assistida, seleção genômica ampla, incorporação de caracteres de variabilidade exótica via transformação genética, ou por meio de edição gênica. Por exemplo, a identificação de genes de plantas tolerantes, como algumas espécies nativas do Semiárido – as quais sobrevivem em situações de estresse hídrico e altas temperaturas –, poderá contribuir na geração de alternativas biotecnológicas para o melhoramento de plantas cultivadas (Aidar et al., 2017). Entretanto, maior efetividade e rapidez no desenvolvimento e disponibilização de cultivares mais adaptadas e com maior estabilidade de produção em ambientes com estresses abióticos só será alcançada se houver continuidade no financiamento de pesquisas colaborativas, que agreguem pesquisa básica, pré-melhoramento e o desenvolvimento de cultivares na fase de melhoramento final (Gilliland et al., 2017).

No caso de pastagens perenes, a Embrapa tem avaliado mecanismos de resposta de plantas forrageiras à deficiência hídrica para desenvolver, selecionar e recomendar acessos a diferentes condições de estresse hídrico. Experimentos preliminares em casa de vegetação indicam que, em condições de deficiência hídrica leve e de curta duração, o aprofundamento das raízes, aliado a outros mecanismos de atraso à desidratação, permite que o capim-marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) e o capim-braquiária (*Urochloa decumbens*) continuem crescendo e mantenham boa produtividade. Por sua vez, o capim 'BRS Paiaguás' (*U. brizantha* cv. BRS Paiaguás), além da capacidade de aprofundar as raízes, ativa mecanismos de economia de água que promovem um esgotamento mais lento da água no solo, mantendo a hidratação de partes da planta importantes para a sobrevivência, podendo ser recomendada para regiões com eventos extremos de estresse hídrico por longos períodos (Beloni et al., 2017).

No setor florestal, a vulnerabilidade varia ao longo do tempo de acordo com a sensibilidade das espécies, em função de seus estádios fenológicos e com o agravamento dos fenômenos climáticos extremos de secas prolongadas, temperaturas acima da média. Portanto, cada estágio fenológico deve ser observado para se compreender a sua sensibilidade, e também a sua vulnerabilidade, para melhorar as características que promovam a sua adaptação. Essas observações devem ser incorporadas em programas de melhoramento, especialmente nos monocultivos florestais (Higa; Pellegrino, 2015).

### *Produção animal*

A criação de animais adaptados ao calor e à umidade, em sistemas de produção convencionais ou integrados, contribui para a redução do estresse térmico. Por

exemplo, animais de raças zebuínas (*Bos taurus indicus*) e seus cruzamentos são mais tolerantes ao calor que raças taurinas (*Bos taurus*) de origem europeia, com efeitos positivos na reprodução (Paula-Lopes et al., 2013), apesar de esses animais nem sempre estarem associados à maior produção (Santana Junior et al., 2015). A Embrapa tem procurado marcadores moleculares e genes que possam ser usados na seleção genômica ou na introgressão gênica, de modo que no longo prazo seja possível aumentar a população de animais melhor adaptada ao calor e à umidade, e que apresentem melhores índices reprodutivos e de produtividade. Assim, os programas de melhoramento animal desenvolvidos pela Embrapa e parceiros têm disponibilizado fenótipos adaptados a extremos climáticos, impactando positivamente a resiliência dos agrossistemas (Campos et al., 2017). Hoje o Brasil é referência em genética zebuína, raça conhecida pela rusticidade, tolerância ao calor e parasitas, permitindo a produção sustentável nos trópicos (Santana Junior et al., 2015), seja com animais de raça pura, seja nos cruzamentos com taurinos.

### *Sistemas intensivos e integrados de produção*

A integração de sistemas de produção agrícola, pecuário e florestal (integração lavoura-pecuária-floresta – [ILPF](#)) permite a intensificação do uso da terra para ganhos de produtividade de alimentos, fibras e energia (Cordeiro et al., 2015). A adoção do [ILPF](#) com o componente arbóreo (agrossilvipastoril, lavoura-floresta ou silvipastoril) (Oliveira et al., 2017) contribui para a mitigação de emissões de GEE e para a adaptação dos sistemas agropecuários. Essa mudança de paradigma também contribui para a redução do desmatamento, dado que agroecossistemas improdutivos, como as pastagens degradadas, poderão ser recuperados, diminuindo a pressão por abertura de novas áreas, principalmente na Amazônia, com inúmeros benefícios econômicos e socioambientais. Porém, ainda carecem estudos de longo prazo para melhor avaliar os impactos da intensificação pela integração nos atributos dos solos, recursos hídricos, emissão de GEE, entre outros. A Embrapa tem investido na implantação e manutenção de experimentos de [Unidades de Referência Tecnológicas \(URT\)](#) de larga escala e de longo prazo, com estudos multidisciplinares e interinstitucionais, na busca de mais conhecimento sobre as interações que decorrem da intensificação/integração em agroecossistemas. É senso comum que a ILPF e a integração pecuária-floresta (IPF) são eficientes na mitigação das emissões, uma vez que realizam um maior sequestro de carbono no solo e no fuste das árvores (O'Mara, 2012; Cunha et al., 2016; Figueiredo et al., 2017; Oliveira et al., 2017). Além disso, a Embrapa tem participado

ativamente de iniciativas para o desenvolvimento e a adaptação de modelos para a simulação dos sistemas [ILPF](#) (Bosi, 2017).

Os sistemas ILPF são agroecossistemas que utilizam intensamente uma fração da propriedade rural, a qual é destinada para a produção de alimentos, fibras e/ou energia. Esse modelo permite manter isoladas e sem uso as áreas remanescentes da propriedade para atender à legislação do [Código Florestal](#) em cada bioma. A essa prática agropecuária é também dado o nome de Land Sparing (Green et al., 2005) ou “terras poupadas”. Outros modelos de produção integrada, porém menos intensivos, compartilham os recursos da propriedade sem isolar parte delas. A esse modelo é conferido o nome de Wildlife-Friendly Farming Systems (Green et al., 2005), *Land Sharing*, Sistemas Agroecológicos ou ainda Sistemas Agroflorestais (SAFs) (Phalan et al., 2011).

Em linhas gerais, a [ILPF](#) busca maximizar a produtividade pela integração e intensificação (usos da biotecnologia aliada a recursos não renováveis como agroquímicos) e isolar áreas nativas protegidas por lei. Por sua vez, os SAFs integram produção e conservação dos serviços ecológicos na mesma área, entretanto, com o uso mínimo (ou nulo, a depender das exigências de certificação) de insumos agroindustriais ou biotecnológicos (agroquímicos para fertilização dos solos ou controle de pragas, usualmente consorciados com organismos geneticamente modificados, os chamados OGMs). A certificação deve ser uma declaração formal de comprovação, emitida por quem tenha credibilidade ou autoridade legal/moral, e deve ser feita seguindo protocolos corporificados em um documento.

Em termos de conservação da natureza, alguns estudos retratam que o *Land Sparing* seja mais eficiente (Phalan et al., 2011), enquanto outros sugerem que a escolha entre um desses modelos irá depender, por exemplo, da presença e do tamanho das áreas urbanas (Soga et al., 2014), das condições e/ou restrições ambientais como enchentes (Silva et al., 2016) ou mesmo fatores socioeconômicos (Grau et al., 2013).

### *Sistemas ecológicos*

A vulnerabilidade climática resultante das mudanças globais traz consigo a necessidade de diversificar a produção, aproveitando melhor as oportunidades e aptidões de cada ecossistema. Nesse contexto, os impactos da mudança climática também poderão ser minimizados pelo uso de sistemas ecológicos diversificados ou SAF (International Policy Centre for Inclusive Growth, 2016). A criação desse sistema uti-

lizando os recursos naturais locais disponíveis atende a uma demanda crescente da parcela da população pela produção agroecológica ou estritamente orgânica de alimentos e que preenchem uma série de requisitos ligados a conforto do produtor rural e do bem-estar animal. O SAF é um mecanismo de inclusão social para pequenos produtores de baixa renda por meio da valoração de produtos “naturais”, associada à conservação da biodiversidade e de serviços ambientais.

Uma alternativa é a incorporação da abordagem de paisagem ecológica que faz o uso inteligente das funcionalidades naturais oferecidas pelos ecossistemas (Giongo et al., 2016), com o objetivo de projetar agroecossistemas multifuncionais, incorporando tecnologias desenvolvidas ao longo dos anos, como a seleção de espécies de plantas tolerantes ao estresse térmico, hídrico e salino; o uso de inoculantes; a eficiência simbiótica de bactérias diazotróficas (Marinho et al., 2017); os consórcios de espécies; a adoção do sistema de plantio direto; o plantio de espécies arbóreas nativas; e as tecnologias para coleta, armazenamento e utilização da precipitação com alta eficiência e produtividade para o benefício econômico e ambiental.

Os modelos de agroecossistemas funcionais são sustentáveis e apresentam níveis de complexidade crescentes nas inter e intrarrelações de seus múltiplos componentes como estratégias para aumentar a resiliência e a segurança alimentar. Nesse sentido, a busca de sistemas de cultivo que apresentem maior sustentabilidade pode minimizar a fragilidade dos sistemas de produção tradicionais, aumentando sua resiliência e a capacidade de adaptação da população. Cabe ressaltar que diversos agricultores estão fazendo uso dos sistemas agroflorestais como opções de uso da terra em diversas regiões (Ngegba et al., 2007; Wick; Tiessen, 2008; Martins et al. 2013). O uso de espécies nativas em sistemas agroecológicos e agroflorestais é uma importante ferramenta para conservar áreas degradadas e preservar espécies ameaçadas, agregando mais valor aos produtos locais das comunidades familiares.

## *Piscicultura*

A aquicultura é o ramo da produção animal que mais cresce no Brasil e no mundo. A utilização de grandes volumes de água para a produção de peixes tem sido incentivada por políticas públicas nacionais, por conseguinte, a piscicultura em tanques-rede vem sendo praticada em diversos reservatórios de água brasileiros para geração de energia elétrica. Por se tratar de uma atividade que depende também de outros setores, que compartilha o uso da água para outras finalidades, as avaliações dos impactos das mudanças climáticas sobre essa atividade produtiva

tornam-se de elevada complexidade (Ehsani et al., 2017; Ho et al., 2017). Informações limnológicas e batimétricas de reservatórios em sistemas de informação geográfica serão fundamentais para se identificar as áreas dos reservatórios menos susceptíveis para a aquicultura em termos de quantidade e qualidade de água (Lima et al., 1997).

A aquicultura de tanque escavado está em ascensão no Mato Grosso e no Mato Grosso do Sul, utilizando a água dos aquíferos subterrâneos. O impacto do uso crescente dos aquíferos, aliado às mudanças climáticas, pode comprometer as atividades dependentes de água subterrânea no longo prazo. Nesse sentido, há também bons exemplos de Economia Circular na Embrapa como a adaptação da aquicultura pela integração com a produção vegetal para pequenos produtores (Sistema..., 2012). Este sistema, também chamado de aquaponia ([aquaponics](#), ver Love et al., 2015), permite a limpeza e reúso da água do sistema por meio da remoção de sólidos por filtragem e decantação, e de nutrientes dissolvidos pelo sistema radicular de plantas comestíveis ou para fins de fibra e de bioenergia. A água é assim reciclada e pode retornar limpa ao tanque dos peixes. Esse modelo de alta eficiência econômica e ambiental tem sido melhorado pela automação industrial e [adotado em diferentes escalas de produção no exterior](#). A aquaponia deve ser entendida como um dos mercados de futuro mais promissores em termos socioeconômicos e uma das maiores revoluções de adaptação à mudança do clima para a produção animal e vegetal integrada.

### *Impactos indiretos*

Além dos efeitos diretos das mudanças climáticas sobre o clima e, consequentemente, sobre os agroecossistemas, o aumento da concentração do CO<sub>2</sub> na atmosfera impacta diretamente a eficiência fotossintética. Uma das principais técnicas para se avaliar o efeito do aumento do CO<sub>2</sub> em agroecossistemas é por meio de experimentos com concentração elevada de CO<sub>2</sub> em ambientes abertos denominado Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment (Face), permitindo avaliações in natura dos efeitos do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. O primeiro experimento Face no Brasil foi implantado em 2011 na área experimental da Embrapa Meio Ambiente com a cultura do café e é parte do projeto Climapest (Ghini et al., 2013). Os resultados mostram um incremento na taxa fotossintética da cultivar de café Catuaí Vermelho IAC-144, principalmente nos períodos quentes e úmidos, e uma maior eficiência no uso da água nos tratamentos com aumento do CO<sub>2</sub>

atmosférico. Foram ainda verificados ganhos na altura da planta, diâmetro de caule e produtividade para a cultivar estudada.

Costa et al. (2009) e Heinemann et al. (2016), por meio de simulações para a região Sudeste e para o estado de Goiás, respectivamente, demonstraram que pode haver uma interação positiva entre o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico e o aumento da temperatura do ar, incrementando a produtividade do feijoeiro. A mesma magnitude de resposta não foi, todavia, verificada para a cultura do milho, isso por se tratar de uma planta C4 com maior eficiência energética. Ressalta-se que os efeitos podem ser maiores quando há mais de um fator abiótico comprometendo o desenvolvimento da planta, como a redução da precipitação associada a um aumento da temperatura (estresse hídrico). Cuadra et al. (2015) avaliaram os impactos das mudanças climáticas na cultura do arroz irrigado produzido no estado do Rio Grande do Sul, principal estado produtor, sugerindo que os ganhos de rendimento serão em sua maioria associados aos efeitos de fertilização do CO<sub>2</sub>.

Outros fatores indiretos também poderão afetar significativamente a produção agropecuária, como os riscos associados ao aumento das ocorrências de incêndios e surtos de pragas e doenças (Ghini et al., 2013), os quais merecem ser mais bem quantificados e avaliados.

## Considerações finais

Quantificar os riscos referentes aos impactos das mudanças climáticas na agricultura é de suma importância para a elaboração de estratégias visando aumentar a resiliência e a adaptação da agricultura. Nesse contexto, a Embrapa, juntamente com suas instituições parceiras, vem atuando no desenvolvimento e aplicação de ferramentas e modelos de simulação do crescimento e produtividade de culturas. Além disso, estão sendo desenvolvidas tecnologias, produtos e serviços para subsidiar a transferência de conhecimento e a formulação das políticas voltadas à resiliência e à adaptação da agropecuária. Dentre esses produtos, destacam-se o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) – que contribui para reduzir os riscos por meio da recomendação de épocas mais favoráveis para a implantação de culturas agrícolas; os programas de melhoramento genético e animal – que buscam uma maior adaptação das plantas e animais às condições climáticas adversas; e os sistemas intensivos e integrados de produção, como o ILPF, agroecossistemas funcionais e aquaponia – que integram a aquicultura com a produção vegetal. As mudanças climáticas representam um risco muito elevado para a segurança alimentar sem medidas adequadas de mitigação e adaptação, sendo, portanto,

fundamental desenvolver e aprimorar continuamente as tecnologias, produtos e processos que assegurem a resiliência e adaptação dos agroecossistemas no País.

## Referências

- ABREU, U. G. P. de; BERGIER, I.; COSTA, F. P.; OLIVEIRA, L. O. F. de; NOGUEIRA, E.; SILVA, J. C. B.; BATISTA, D. S. do N.; SILVA JUNIOR, C. **Sistema intensivo de produção na região tropical brasileira: o caso do Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2018. 26 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 155).
- AIDAR, S. de T.; CHAVES, A. R. de M.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; OLIVEIRA, M. S.; COSTA NETO, B. P. da; CALSA JUNIOR, T.; MORGANTE, C. V. Vegetative desiccation tolerance of *Tripogon spicatus* (Poaceae) from the tropical semiarid region of northeastern Brazil. **Functional Plant Biology**, v. 44, n. 11, p. 1124-1133, 2017. DOI: doi.org/10.1071/FP17066.
- AMORIM, A. N. G.; TORRES, L. S., C. A. A.; FONSECA, J. F. da; AMORIM, E. A. M. Relação hormonal entre o ambiente folicular e alimentação com uréia em cabras da raça Saanen. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., 2008, Lavras. **Anais...** Lavras: SBZ, 2008. 2 p.
- ASSINE, M. L.; MACEDO, H. A.; STEVAUX, J. C.; BERGIER, I.; PADOVANI, C. R.; SILVA, A. Avulsive rivers in the hydrology of the Pantanal wetland. In: BERGIER, I.; ASSINE, M. L. (Ed.). **Dynamics of the Pantanal wetland in South America**. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. p. 83-110. (The handbook of environmental chemistry, 37).
- BELONI, T.; PEZZOPANE, C. de G.; ROVADOSCKI, G. A.; FAVERO, A. P.; DIAS-FILHO, M. B.; SANTOS, P. M. Morphological and physiological responses and the recovery ability of *Paspalum* accessions to water deficit and waterlogging. **Grass and Forage Science**, v. 72, n. 4, p. 840-850, Dec. 2017. DOI: 10.1111/gfs.12281.
- BERGIER, I.; ASSINE, M. L.; MCGLUE, M. M.; ALHO, C. J. R.; SILVA, A.; GUERREIRO, R. L.; CARVALHO, J. C. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of the Total Environment**, v. 619-620, p. 1116-1125, 2018. DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.163.
- BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; WHITE, J. W.; ASSENG, S.; LIZASO, J. I. Putting mechanisms into crop production models. **Plant, Cell & Environment**, v. 36, p. 1658-1672, 2013. DOI:10.1111/pce.12119.
- BOSI, C. **Parametrization and evaluation of mechanistic models for estimating *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã productivity under full sun and in silvopastoral system**. 2017. 158 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CAMPOS, B. M.; CARMO, A. S. do; EGITO, A. A. do; MARIANTE, A. da S.; ALBUQUERQUE, M. S. M. do; GOUVEIA, J. J. S. de; MALHADO, C. H. M.; VERARDO, L. L.; SILVA, M. V. G. B. da; CARNEIRO, P. L. S. Genetic diversity, population structure, and correlations between locally adapted zebu and taurine breeds in Brazil using SNP markers. **Tropical Animal and Health Production**, v. 49, n. 8, p.1677-1684, 2017. DOI: 10.1007/s11250-017-1376-7.
- CASSMAN, K.G. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. **Proceedings of the National Academy of Science of the USA**, v. 96, p. 5952-5959, 1999.

CHALLINOR, A. J.; WATSON, J.; LOBELL, D. B.; HOWDEN, S. M.; SMITH, D. R.; CHHETRI, N. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 287-291, 2014. DOI:10.1038/nclimate2153.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 393 p. il. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Disponível em: <<http://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/pdfs/90000033-ebook-pdf.pdf>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

COSTA, L. C.; JUSTINO, F.; OLIVEIRA, L. J. C.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, W. P. M.; LEMOS, C. F. Potential forcing of CO<sub>2</sub> technology and climate changes in maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) yield in southeast Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 4, n. 1, 2009. DOI: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/4/1/014013>.

CUADRA, S. V.; STEINMETZ, S.; HEINEMANN, A. B.; ALMEIDA, I. R. de. Impacto das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento e produtividade do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 19., 2015, Lavras. **Agrometeorologia no século 21: o desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros: anais**. Lavras: Ed. da Ufla, 2015.

CUNHA, C. S.; LOPES, N. L.; VELOSO, C. M.; JACOVINE, L. A. G.; TOMICH, T. R.; PEREIRA, L. G. R.; MARCONDES, M. I. Greenhouse gases inventory and carbon balance of two dairy systems obtained from two methane-estimation methods. **Science of the Total Environment**, v. 571, p. 744-754, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.046>.

EHSANI, N.; VÖRÖSMARTYA, C. J.; FEKETE, B. M.; STAKHIV, E. Z. Reservoir operations under climate change: storage capacity options to mitigate risk. **Journal of Hydrology**, v. 555, p. 435-446, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.008>.

FAO. **Grasslands: enabling their potential to contribute to greenhouse gas mitigation**. Rome: FAO. 2009. 5 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/climate/FinalUNFCCCgrassland.pdf>>. Acesso em: 7 fev. 2018.

FIGUEIREDO, E. B.; JAYASUNDARA, S.; BORDONAL, R. D.; BERCHIELLI, T. T.; REIS, R. A.; WAGNER-RIDDLE, C.; SCALA JUNIOR, N. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, Part 1, p. 420-431, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132>.

GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. (Ed.). **Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari - Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. 356 p. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38652/1/Livro025.pdf>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

GHINI, R.; TORRE NETO, A.; NECHET, K. de L.; MARINHO-PRADO, J. S.; HAMADA, E.; GONÇALVES, J. R. P. **Face climapest (free air carbon-dioxide enrichment): prevendo os impactos das mudanças climáticas na cultura do café**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2013. 1 folder.

GILLIHAM, M.; ABLE, J. A.; ROY, S. J. Translating knowledge about abiotic stress tolerance to breeding programmes. **The Plant Journal**, v. 90, n. 5, p. 898-917, 2017. DOI: 10.1111/tpj.13456.

GIONGO, V.; SANTANA, M. S.; COSTA, N. D.; YURI, J. E. Soil management systems for sustainable melon cropping in the submedian of the São Francisco Valley. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 537-547, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n303rc>.

GRAU, R.; KUEMMERLE, T.; MACCHI, L. Beyond 'land sparing versus landsharig': environmental heterogeneity, globalization and the balance between agricultural production and nature

conservation. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 5, p. 477-483, 2013. DOI:10.1016/j.cosust.2013.06.001.

GREEN, R. E.; CORNELL, S. J.; SCHARLEMANN, J. P. W.; BALMFORD, A. Farming and the Fate of Wild Nature. **Science**, v. 307, n. 5709, p. 550-555, 2005.

GROSSI, M. C.; JUSTINO, F.; ANDRADE, C. de L. T.; SANTOS, E. A.; RODRIGUES, R. AVILA ; COSTA, L. C. Modeling the impact of global warming on the sorghum sowing window in distinct climates in Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 51, p. 53-64, 2013. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.07.002>.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; NASCENTE, A. S.; ZEVIANI, W. M.; STONE, L. F.; SENTELHAS, P. C. Upland rice cultivar responses to row spacing and water stress across multiple environments. **Experimental Agriculture**, v. 53, n. 4, p. 609-626, 2017b. DOI:<https://doi.org/10.1017/S0014479716000612>.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D. Climate change determined drought stress profiles in rainfed common bean production systems in Brazil. **Agricultural and forest Meteorology**, v. 246, p. 64-77, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.06.005>.

HIGA, R. C. V.; PELLEGRINO, G. Q. Adaptação às mudanças climáticas de plantações florestais. **Serie Técnica IPEF**, v. 20, n. 41, p. 24-28, 2015. Edição dos anais da 47ª Reunião Técnico-Científica do Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo "Adaptação genotípica e silvicultural aos estresses abióticos e bióticos", 2013, Montes Claros. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132932/1/2015-R.Higa-RTPCSM-Adaptacao.pdf>>. Acesso em: 7 fev. 2018.

HO, M.; LALL, U.; ALLAIRE, M.; DEVINENI, N.; HAN KWON, H.; PAL, I.; RAFF, D.; WEGNER, D. The future role of dams in the United States of America, **Water Resources Research**, v. 53, n. 2, p. 982-998, 2017.

INTERNATIONAL POLICY CENTRE FOR INCLUSIVE GROWTH. **Activity report 2015**. Brasília, DF, 2016. 50 p.

ITTERSUM, M. K. van; VRIES, S. de; OORT, P. A. J. van; GRASSINI, P. **Estimation of global yield gaps and implications from their analysis**. Colchester: International Fertiliser Society, 2016. 20 p.

LIMA, I. B. T.; NOVO, E. M. L. M.; CORDEIRO, J. P. Localização de áreas adequadas para implantação de tanques-rede na UHE Barra Bonita através de um SIG. In: SIMPÓSIOBRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4., 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Ed. da USP, 1997. p. 309-325.

LOBELL, D. B.; BURKE, M. B.; TEBALDI, C.; MASTRANDREA, M. D.; FALCON, W. P.; NAYLOR, R. L. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. **Science**, n. 319, p. 607-610, 2008.

LOVE, D. C.; FRY, J. P.; LI, X.; HILL, E. S.; GENELLO, L.; SEMMENS, K.; THOMPSON, E. Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey. **Aquaculture**, v. 435, p. 67-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023>.

MAGALHÃES, B. G.; ANDRADE, C. L. T.; SILVA, P. P. G.; LOPES, D. C.; MELO, B. F.; GARCIA, A. G. Y.; GONTIJO NETO, M. M. **Avaliação, empregando modelagem, de estratégias de manejo para incrementar a produtividade de milho na segunda safra**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 28 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 204).

MAGRIN, G. O.; MARENGO, J. A. (Coord.). Central and South America. In: CLIMATE Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group

II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge United Kingdom; New York: Cambridge University Press, 2014.

MARINHO, R. de C. N.; FERREIRA, L. de V. M.; SILVA, A. F. da; MARTINS, L. M. V.; NÓBREGA, R. S. A.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Symbiotic and agronomic efficiency of new cowpea rhizobia from Brazilian Semi-Arid. **Bragantia**, v. 76, p. 273-281, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.003>.

MARQUES, J. R. Q.; STEINMETZ, S.; DINIZ, G.; SIQUEIRA, O. J. W. de; WREGGE, M. S.; HERTER, F. G.; REISSER JÚNIOR, C. Aumento da temperatura mínima do ar no Rio Grande do Sul, sua relação com o aquecimento global e possíveis impactos no arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., Santa Maria. **Anais...** Santa Maria Ed. da Universidade Federal de Santa Maria, 2005. p. 224-226.

MARTINS, J. C. R.; MENEZES R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SANTOS A. F. dos; NAGAI, M. A. Produtividade de biomassa em sistemas agroflorestais e tradicionais no Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 581-587, 2013.

NGEGBA, M. S.; MUGASHA, A. G.; CHAMSHAMA, S. A. O.; KIMARO, A. A. Tephrosia biomass yield and soil fertility in one season relay intercropping with maize in semiarid Gairo, Tanzania. **Discovery and Innovation**, v. 19, p. 25-35, 2007.

OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; MEO FILHO, P. de; BERNDT, A.; PEDROSO, A. de F.; BERNARDI, A. C. de C. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1.; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4., 2017 Pato Branco. Palestras: intensificação com sustentabilidade. Pato Branco: UTFPR, 2017. p. 23-32.

O'MARA, F. P. The role of grasslands in food security and climate change. **Annals of Botany**, v. 110, n. 6, p.1263-1270, 2012. DOI:<https://doi.org/10.1093/aob/mcs209>.

ONES, J. W.; ANTLE, J. M.; BASSO, B.; BOOTE, K. J.; CONANT, R. T. FOSTER, I.; GODFRAY, H. C. J.; HERRERO, M.; HOWITT, R. E.; JANSSEN, S.; KEATING, B. A.; MUNOZ-CARPENA, R.; PORTER, C. H.; ROSENZWEIG, C.; WHEELER, T. R. Brief history of agricultural systems modeling. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 240-254, 2017. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.014>.

PAIXÃO, J. de S.; ANDRADE, C. de L. T. de; GARCIA Y GARCIA, A.; AMARAL, T. A.; STEIDLE NETO, A. J.; MARIN, F. R. An alternative approach to the actual brazilian maize crop zoning. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 3, p. 347-363, 2014.

PAULA-LOPES, F. F.; LIMA, R. S.; SATRAPA, R. A.; BARROS, C. M. Physiology and endocrinology symposium: influence of cattle genotype (*Bos indicus* vs. *Bos taurus*) on oocyte and preimplantation embryo resistance to increased temperature. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 3, p. 1143-1153, 2013. DOI: 10.2527/jas.2012-5802.

PHALAN, B.; ONIAL, M.; BALMFORD, A.; GREEN, R. E. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. **Science**, v. 333, n. 6047, p. 1289-1291, 2011. DOI:10.1126/science.1208742.

PORTER, J. R.; XIE, L.; CHALLINOR, A. J.; COCHRANE, K.; HOWDEN, S. M.; IQBAL, N. M.; LOBELL, D. B.; TRAVASSO, M. I. Food security and food production systems. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Cambridge: University Press, 2014. p. 485-533. 2014. Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report.

RAMIREZ-CABRAL, N. Y. Z.; KUMAR, L.; TAYLOR, S. Crop niche modeling projects major shifts in common bean growing areas. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 218-219, p. 102-113, 2016.

RAY, D. K.; GERBER, J. S.; GRAHAM; MACDONALD, K.; WEST, P. C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, v. 6, n. 5989, 2015.

SANTANA JUNIOR, M. L.; ELER, J. P.; BIGNARDI, A. B.; MENÉNDEZ-BUXADERA, A.; CARDOSO, F. F.; FERRAZ, J. B. Multi-trait linear reaction norm model to describe the pattern of phenotypic expression of some economic traits in beef cattle across a range of environments. **Journal of Applied Genetics**, v. 56, n. 2, p. 219-29, 2015. DOI: 10.1007/s13353-014-0242-9.

SANTOS, P. M.; EVANGELISTA, S. R. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; DIAS-FILHO, M. B.; GOMIDE, C. A. M.; CAVALCANTE, A. C. R.; VOLTOLINI, T. V.; SANTOS, R. M.; ANGELOTTI, F.; MOURA, M. S. B.; MITTELMANN, A.; OLIVEIRA, P. P. A.; SOUZA, F. H. D.; VINHOLIS, M. B.; BETTIOL, G. M.; GALHARTE, C. A.; ALMEIDA, I. R.; BOSI, C.; CRUZ, P. G.; ANDRADE, A. S.; ARAUJO, L. C.; PELLEGRINO, G. Q. **Cenários futuros para pastagens no Brasil**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2014 (Documentos, 114).

SANTOS, P. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; BETTIOL, G. M.; MENDONÇA, F. C.; SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F. R.; SANS, L. M. A.; MARTINS, C. E. **Zoneamento de riscos climáticos para a implantação do consórcio milho-capim Marandu em municípios do Estado de Minas Gerais**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2010b. 41p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 96).

SANTOS, P. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; BETTIOL, G. M.; LOPES, T. S. de S.; MARIN, F. R.; SILVA, S. C. da. **Zoneamento de riscos climáticos para o consórcio milho x capim-marandu no Estado de São Paulo**: períodos favoráveis para a implantação por município. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2010a. 40 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 97).

SANTOS, P. M.; VINHOLIS, M. de M. B.; DIAS FILHO, M. B.; VOLTOLINI, T. V.; MITTELMANN, A.; PEZZOPANE, J. R. M.; EVANGELISTA, S. R. M.; MOURA, M. S. B. de; GOMIDE, C. A. de M.; CAVALCANTE, A. C. R.; CORRÊA, C. G.; BETTIOL, G. M.; SANTOS, R. M.; ANGELOTTI, F.; OLIVEIRA, P. P. A.; SOUZA, F. H. D. de; ALMEIDA, I. R. de; BOSI, C.; CRUZ, P. G. da; ANDRADE, A. S.; ARAUJO, L. C. de; PELLEGRINO, G. Q. **Produção animal no Brasil**: caracterização, simulação de cenários para pastagens e alternativas de adaptação às mudanças climáticas. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2015. 99 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 119).

SANTOS, S. A.; PELLEGRIN, A. O.; MORAES, A. S.; BARROS, A. T. M.; COMASTRI FILHO, J. A.; SERENO, J. R. B.; SILVA, R. A. M. S.; ABREU, U. G. P. **Sistema de produção de gado de corte do Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. 80 p.

SILVA, A. P. S.; BERGIER, I.; ABREU, U. G. P. de; NOGUEIRA, E.; OLIVEIRA, L. O. F. de; URBANETZ, C.; SILVA, J. C. B.; SILVA JUNIOR, C. **Metodologia espaço-temporal aplicada ao mapeamento de paisagens em fazendas de gado de corte no Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2016. 20 p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 129). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/145873/1/BP129.pdf>>. Acesso em: 6 fev. 2018.

SISTEMA integrado alternativo para produção de alimentos: agricultura familiar: manutenção das motobombas submersas. Parnaíba: Embrapa Meio-Norte, 2012. 1 folder. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84164/1/agricfamiliar-sistintegrado-bombas.pdf>>. Acesso em: 6 fev. 2018.

SOGA, M.; YAMAURA, Y.; KOIKE, S.; GASTON, K. J. Land sharing vs. land sparing: does the compact city reconcile urban development and biodiversity conservation? **Journal of Applied Ecology**, v. 51, p. 137-1386, 2014.

STEINMETZ, S.; WREGE, M. S.; PINHEIRO, M. J.; FERREIRA, J. S. A. Impacto do aquecimento global na redução do risco de frio em arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., Santa Maria. **Anais...** Santa Mari: Ed. Universidade Federal de Santa Maria, 2005. p. 247-250.

WICK, B.; TIESSEN, H. Organic matter turnover in light fraction and whole soil under silvopastoral land use in semiarid Northeast Brazil. **Rangeland Ecology and Management**, v. 61, n. 3, p. 275-283, 2008. DOI:<https://doi.org/10.2111/07-038.1>.

ZHAO, C.; LIU, B.; PIAO, S.; WANG, X.; LOBELL, D. B.; HUANG, Y.; HUANG, M.; YAO, Y.; BASSU, S.; CIAIS, P.; DURAND, J.-L.; ELLIOTT, J.; EWERT, F.; JANSSENS, I. A.; LI, T.; LIN, E.; LIU, Q.; MARTRE, P.; MULLER, C.; PENG, S.; PEÑUELAS, J.; RUANE, A. C.; WALLACH, D.; WANG, T.; WU, D.; LIU, Z.; ZHU, Y.; ZHU, Z.; ASSENG, S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 114, n. 35, p. 9326-9331, 2017. DOI: 10.1073/pnas.1701762114.

ZHAO, C.; PIAO, S.; WANG, X.; HUANG, Y.; CIAIS, P.; ELLIOTT, J.; HUANG, M.; JANSSENS, I. A.; LI, T.; LIAN, X.; LIU, Y.; MÜLLER, C.; PENG, S.; WANG, T.; ZENG, Z.; PEÑUELAS, J. Plausible rice yield losses under future climate warming. **Nature Plants**, v. 19, n. 3, 16202, Dec. 2016. DOI: 10.1038/nplants.2016.202.



## Capítulo 4

# Políticas, planos e estratégias nacionais para combate às mudanças climáticas

*Aryeverton Fortes de Oliveira*

*Giampaolo Queiroz Pellegrino*

*Santiago Vianna Cuadra*

*Luis Gustavo Barioni*

*Daniel de Castro Victoria*

## Introdução

A transformação da agricultura acontece em um ambiente de mudança de paradigma tecnológico e evolução institucional, no qual a Embrapa contribui com a aplicação do conhecimento científico, tanto nos processos tecnológicos quanto na promoção das políticas públicas e seus instrumentos. Escolhas públicas assertivas devem ser buscadas para promover com eficácia o desenvolvimento sustentável, implicando em uma transformação tecnológica da agropecuária brasileira que visa assegurar a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e promover a adaptação eficiente de suas práticas e sistemas frente à mudança do clima. O presente capítulo trata de como a Embrapa tem contribuído para a meta 13.2 – Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais.

As inovações tecnológicas e organizacionais para lidar com as vulnerabilidades da agricultura frente ao clima são parte significativa do desenvolvimento do agro-negócio, e, portanto, objeto importante dos trabalhos da Embrapa. A Empresa e seus parceiros contribuem singularmente para a inovação tecnológica e formulação de políticas públicas. A compreensão e redução da susceptibilidade das culturas ao clima, a identificação da exposição dos diferentes sistemas de produção aos eventos climáticos e o reforço da capacidade adaptativa da agricultura são sistematicamente abordados nos programas de pesquisa da Embrapa. Estudos consistentes sobre a vulnerabilidade (Deconto, 2008) e o apoio à elaboração de cenários de gestão de riscos são oferecidos à sociedade e continuamente atualizados, consolidando e transferindo conhecimento em diferentes escalas para todo o território nacional.

A Embrapa prioriza áreas de pesquisa e promove a capacitação e transferência de tecnologia nos diferentes tópicos das mudanças climáticas. A Empresa desenhou um portfólio de projetos de pesquisa com sete vertentes e temas principais e mais de 45 linhas de pesquisa, desenvolvimento e inovação para os quais se estimula a submissão de projetos competitivos. Aproximadamente 150 projetos e resultados estão associados a essas vertentes. Três grandes projetos em rede, com abrangência nacional, focam a análise de vulnerabilidade e adaptação (Programa 7 do [Plano ABC](#)), sejam eles: Simulação de Cenários Agrícolas Futuros ([Scaf](#)), que analisa a vulnerabilidade das culturas agrícolas; Impactos das Mudanças Climáticas Globais sobre Problemas Fitossanitários ([Climapest](#)), que analisa a influência das mudanças climáticas sobre os problemas fitossanitários; e [Rede AgroHidro](#), que analisa a relação entre a agricultura, os recursos hídricos e as mudanças climáticas.

## Desenvolvimento e mudanças no clima

O desenvolvimento da agricultura revela que os agentes econômicos têm encontrado meios para inovar e transformar processos de produção. Com papel ativo nesse curso de desenvolvimento, a Embrapa oferece tanto soluções tecnológicas para os produtores quanto conhecimento técnico para a formulação e execução de políticas públicas. Informações básicas, sistemas de informação e de apoio aos tomadores de decisão da empresa têm promovido a boa governança e o equilíbrio de interesses públicos e privados. Sob a pressão da mudança do clima, os interesses se voltam para inúmeras negociações globais e locais, muitas das quais são assessoradas pela Embrapa.

As condições de incerteza e complexidade que cercam a agricultura criam desafios que ultrapassam a capacidade inerente dos produtores em avaliar suas condições de produção. A Embrapa, em sua missão de gerar conhecimento e informação, interpreta os sinais das mudanças do clima e a sensibilidade da exposição de sistemas produtivos em cada localidade do País, para que os desafios técnico-científicos sejam coerentes às demandas. A promoção da competitividade do agronegócio, da eficiência técnica e econômica do uso de recursos naturais e financeiros, a equidade social e a segurança e a qualidade alimentar devem estar em equilíbrio, muito embora isso tenha sido um dos seus maiores desafios da agricultura nacional (Alves, 2014).

Destarte, a adaptação da agricultura deverá passar, nos próximos anos, pela utilização de tecnologias da informação em processos de planejamento, gerenciamento, monitoramento e avaliação de ações. A transformação digital das cadeias

agroindustriais e do campo ampliará as possibilidades de transferência e gestão de riscos. A antevisão da necessidade dessa adaptação tecnológica levará a Embrapa e instituições parceiras a desenvolver tecnologias e inovações que irão naturalmente ao encontro da mitigação de emissões de GEE e controle de riscos.

Os processos biofísicos serão conhecidos em profundidade e controlados como nunca antes na produção de alimentos. Riscos e oportunidades serão conhecidos com menor incerteza, e processos decisórios serão conduzidos pelo conhecimento a priori das externalidades da produção. Um exemplo de produto que integra informações sobre o clima, o solo, as cultivares e o manejo é o [Zoneamento Agrícola de Risco Climático \(Zarc\)](#). Iniciado há mais de 20 anos e conduzido com apoio da Embrapa, tem sido um dos mais importantes instrumentos de estímulo à sustentabilidade da agricultura e da segurança alimentar brasileira. Por trás das informações de riscos disponibilizadas para mais de 44 culturas agrícolas, há uma grande articulação entre conhecimentos empíricos, monitoramento meteorológico, bem como validação e aproximação de modelos, os quais são contrastados com dados observados em cada município brasileiro.

Ademais, a Embrapa tem atuado diretamente no suporte das principais ações governamentais de mitigação e adaptação do setor agropecuário às mudanças climáticas, por exemplo, por meio do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – [Plano ABC](#) (Brasil, 2016a) e do [Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima](#) – PNA (Brasil, 2016b). A Embrapa tem sido consultada e contribuído com informações técnicas, dados experimentais e estudos de simulação e otimização para a definição de propostas brasileiras para a mitigação das emissões de GEE.

No âmbito internacional, as principais propostas brasileiras para a mitigação das emissões de GEE são os Compromissos Voluntários do Brasil (NAMAs, do inglês Nationally Appropriate Mitigation Actions) e as Contribuições Nacionalmente Determinadas ([NDC](#), do inglês Nationally Determined Contributions). Em ambos, a Embrapa contribuiu, por exemplo, com números e estimativas da área de pastagens degradadas a ser recuperada por integração lavoura-pecuária-floresta – [ILPF](#) (Brasil, 2013) ou pastagens cultivadas, bem como nos cálculos dos custos diretos da adoção da tecnologia e do potencial de mitigação de emissões. Os estudos da Embrapa foram também essenciais para a definição do [Plano ABC](#), a principal política do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) com foco nas questões ambientais alinhadas à gestão territorial dos recursos naturais.

## Informações críticas para a formulação de políticas públicas

Quais sistemas agropecuários podem se tornar mais resilientes, mitigadores de emissões de GEE e que devem ser fortalecidos no Plano Nacional de Adaptação (PNA)? Qual o desempenho das diferentes culturas e cultivares em condições climáticas adversas? Quais avanços tecnológicos devem ser buscados como forma de adaptação às situações de elevada vulnerabilidade climática?

Novas informações que ajudem a responder a essas questões têm por característica o custo elevado de produção e baixo custo de cópia e distribuição. A primeira versão é custosa, e a recuperação do investimento para produzi-la costuma ter elevado tempo de retorno ou mesmo ser impossível. Desse modo, a informação climática, agrônômica e socioeconômica para o agronegócio deverá ser fomentada por políticas de estado, a exemplo das Políticas Nacionais de Biocombustíveis – RenovaBio (Brasil, 2017a) e de [ILPF](#) (Brasil, 2013). A ação transversal das informações em políticas públicas se estende às decisões do setor privado, contribuindo sempre para a implantação de sistemas produtivos adequados para a quebra de velhos paradigmas em razão da necessidade de respostas à mudança do clima.

### *Políticas públicas para adaptação*

Políticas públicas promovem o bem-estar social e econômico pela efetividade de suas ações. Para lidar com as questões da mudança do clima, a Embrapa deverá concentrar esforços na identificação, desenvolvimento e adaptação de práticas agropecuárias; no desenvolvimento e caracterização de novas cultivares agrícolas (para uma ampla gama de culturas); no desenho e recomendação de novos sistemas integrados de produção animal e vegetal; na avaliação de alternativas de manejo de reciclagem e adubação dos solos; no uso inteligente da irrigação e dos solos; no controle de pragas e doenças; e na introdução de novas tecnologias, especialmente, no contexto de automação e agricultura de precisão. A Embrapa tem papel de relevo no fomento às políticas públicas, uma vez que está presente nas mais diversas ecorregiões do País, dispondo de conhecimento regional, estrutura e logística de laboratórios para a configuração de Unidades de Referência Tecnológica (URTs) com tecnologias particulares a cada polo de desenvolvimento ecorregional.

## *Monitoramento e avaliação de programas públicos e privados*

A ação governamental passa pela operacionalização integrada de grandes planos e políticas em programas e projetos, os quais subsidiam a formulação de políticas públicas de apoio à definição dos [NAMAs](#), do [Plano ABC](#) e das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NCD) do Brasil (Oliveira et al., 2018), bem como pela participação do País em importantes estudos, como o do Banco Mundial (Gouvello et al., 2010).

A Empresa tem contribuído de forma efetiva nas comunicações nacionais de emissões e remoções e em diversos estudos quantitativos das emissões de sistemas agropecuários, demonstrando, via de regra, menores emissões de nossos sistemas produtivos em relação ao estimado por análises com modelos e fatores *tier 1* ou *default*. Os trabalhos da Embrapa concentram-se especialmente em:

- Recuperação de pastagens degradadas.
- Integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais.
- Implantação e fortalecimento de sistemas de plantio direto.
- Tratamento de dejetos animais.
- Adaptação às mudanças climáticas e ações transversais.

Merecem destaque as ações de monitoramento do [Plano ABC](#). Para apoiar as ações de mitigação de emissões em sistemas pecuários, florestais e graníferos nos diversos biomas brasileiros, a Embrapa tem fomentado projetos em rede como [Pecus](#), [Saltus](#) e [Fluxus](#). Para aprofundar o entendimento da relação entre pecuária e mudanças climáticas, foi desenhado o projeto internacional FP7 Animal Change, cofinanciado pela União Europeia.

A Embrapa mantém um número significativo de projetos dedicados à adaptação genética de culturas agrícolas para as mudanças climáticas. Devem ser ressaltadas as iniciativas corporativas como o Zoneamento Agrícola de Risco Climático e o Projeto Especial sobre a Governança da Plataforma ABC, bem como citam-se projetos dos diversos portfólios e arranjos correlatos, como [ILPF](#), Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), Pastagem, Sucroalcooleiro Energético, Agricultura Irrigada, Convivência com a Seca, Recursos Florestais Nativos, Recursos Genéticos e Engenharia Genética no Agronegócio, para listar apenas os portfólios mais relevantes para a temática.

Nos projetos de mudanças climáticas, a Empresa investe também em projetos para desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto e mapeamento das culturas e de áreas degradadas no País. Atua na capacitação e transferência de tecnologia por meio de dias de campo, palestras, seminários, oficinas, visitas técnicas de agricultores em áreas de recuperação de pastagem, fazendas, eventos em 79 Unidades de Referência Tecnológica (URTs) e/ou em Unidades de Teste e Demonstração (UTDs), em centros de pesquisa, etc., entre outras estratégias como um canal dedicado no Youtube.

As análises de vulnerabilidade e resiliência da agricultura devem nortear a identificação de áreas e alternativas de adaptação da produção. A gestão de riscos é uma das áreas mais relevantes de atuação estratégica da Embrapa, a qual deverá ser fortalecida nos próximos anos. Também, o fomento à agregação de valor da produção integrada validada por normas de certificação de redução de emissões. Os projetos da Empresa aprimoram as Análises de Ciclo de Vida (ACV) dos produtos da pecuária, fortalecendo a comunicação efetiva nos mercados interno e externo. A Embrapa desenvolve ferramentas que aprimoram as análises da eficiência técnica e econômica nos sistemas produtivos incentivados pelo plano, que auxiliam seu direcionamento e que promovem o cumprimento de metas ampliadas pelas [NDC](#), desde a ratificação do [Acordo de Paris](#).

## **Negociações e capacidade institucional para a adaptação**

A Embrapa tem contribuído ativamente em negociações internacionais, as quais levaram à construção de planos e programas como o Plano ABC, Carne Carbono Neutro (Suleiman, 2016) e do PNA. Especificamente, neste último, duas estratégias nacionais para adaptação da agricultura brasileira às mudanças climáticas contaram com apoio singular da Embrapa. Tomando como pressuposto de que as ações do PNA estabeleçam sinergias entre as políticas e as estratégias de mitigação das emissões, duas metas estratégicas devem estar presentes na agenda da Embrapa: a) o desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento e Simulação de Risco e Vulnerabilidade Agrícola; b) Núcleo de Inteligência Climática da Agricultura para Gestão do Risco Climático na Política Agrícola Brasileira.

Essas metas melhoram a adaptação dos sistemas agroindustriais, reforçando a capacidade e a competitividade do setor em termos biotecnológicos, novos insumos, tecnologias de reciclagem e de culturas e integrações de processos com

maior potencial de agregação de valor, como por meio da certificação, gestão e transferência de riscos.

A operacionalização de políticas e estratégias setoriais de adaptação às mudanças do clima requer a modernização, a elevação da competitividade, a gestão integrada de riscos e a agregação de valor. Promove-se a segurança alimentar e a qualidade nutricional dos alimentos, garantindo a produção em escala e qualidade adequadas para o desenvolvimento sustentável em suas distintas dimensões. Tais esforços devem ocorrer simultaneamente em níveis local, regional e nacional. O entendimento deve ser sistêmico e deve estimular redes de Ciência & Tecnologia que facilitem a integração e o compartilhamento de informações. Em forte sintonia com a gestão de políticas, é preciso fomentar a transformação digital em curso na agricultura com a introdução de novos meios para a aquisição, processamento, compartilhamento e segurança de dados e metadados entre as iniciativas privada e pública, bem como entre usuários e empresas.

Algumas das principais linhas técnicas de interesse são:

- O desenvolvimento de sistemas de armazenamento, recuperação, análise e síntese de massas de dados (*Big Data*) (Crawford, 2011).
- A organização e catalogação de dados e de seus respectivos metadados.
- A modelagem, simulação e otimização de agroecossistemas.
- O monitoramento por meio de sensores remotos e orbitais.
- A integração de informações ambientais, socioeconômicas, jurídicas, tecnológicas, dentre outras.
- O desenvolvimento de aplicações em “Internet das Coisas” (Santos et al., 2016) (interligação entre dispositivos/sensores autônomos e pessoas), “Inteligência Artificial” (Byrum, 2017) (solução de problemas complexos) e *Blockchain* (Ge et al., 2017) (transações jurídicas e comerciais mais seguras).

Os principais produtos deverão ser:

- Sistema de Monitoramento, Avaliação de Risco e Vulnerabilidade Agrícola: visa à produção de indicadores, integração de informações, simulação de resultados e análise de cenários. Deverá ser um banco de informação por meio da integração e síntese de massas de dados de escalas distintas, referenciando programas e ações locais, regionais e nacionais. As informações estarão disponíveis e serão especialmente relevantes para a

comunicação e visualização de resultados, a exemplo da plataforma interativa [MapBiomass](#).

- Algoritmos computacionais: visam à avaliação técnica e econômica de agroecossistemas em diferentes cenários e regiões. Essas soluções, implementadas por meio de técnicas de simulação, otimização, assimilação de dados e inteligência artificial, permitirão analisar estratégias de mitigação e adaptação, bem como apoiar a formulação de políticas públicas.
- Sistema de comunicação e visualização (Data visualization, 2018) de resultados: visa disponibilizar para diferentes atores dos setores público e privado informações úteis para suporte à tomada de decisão com relação à mudança do clima, em particular no que se refere à indicação de modelos de produção agropecuária e à avaliação do impacto da adoção desses modelos para a reformulação de políticas públicas. As informações geradas deverão fornecer subsídios para políticas públicas em negociações internacionais, induzir a demanda pela produção de dados científicos relevantes e, por fim, auxiliar na discussão de contenciosos comerciais ou barreiras não tarifárias de ordem técnica.
- Infraestrutura de armazenamento, curadoria, processamento de dados e recuperação da informação: visa estabelecer regras de segurança, controle de acesso e uso da informação. Esta infraestrutura deverá utilizar-se de meios de comunicação e troca de informação modernos que permitam a integração com outras redes de pesquisa e bases de dados, de modo a garantir amplo acesso à informação e de forma segura por meio de colaboração nas escalas individual e institucional.

## Considerações finais

Diversas transformações vêm afetando a agricultura, seja no âmbito tecnológico, na percepção e exigência dos consumidores, seja nas alterações causadas pelas mudanças climáticas. Nesse cenário, o conhecimento científico é imprescindível para a tomada de decisões nos setores público e privado, a formulação de políticas de indução e de fomento, visando ao desenvolvimento de novas práticas e tecnologias que garantam a sustentabilidade da agricultura.

A Embrapa tem forte atuação em questões relacionadas às mudanças climáticas e tem contribuindo significativamente para a inovação tecnológica e a produção de conhecimentos. Por meio de seus projetos de pesquisa, a Empresa fornece à

sociedade estudos consistentes sobre as vulnerabilidades da agricultura e produz conhecimentos para ampliar a sua capacidade adaptativa. Assim, a Embrapa cumpre seu papel de consolidar e transferir conhecimento para os mais diversos produtores rurais distribuídos em praticamente todos os municípios dos estados da federação brasileira.

O conhecimento gerado pela Embrapa afeta a tomada de decisão do produtor e vem promovendo inúmeras inovações nas áreas de tecnologia da informação, simulação computacional, *Big Data*, “Internet das Coisas”, inteligência artificial, dentre outras. A política agrícola brasileira conta com o apoio da Embrapa para manter a ligação entre seus planos, programas e projetos com a realidade produtiva e o estímulo da sustentabilidade e da segurança alimentar. A interação da Embrapa com os quadros técnicos governamentais é essencial para o sucesso da formulação e gestão do [Plano ABC](#) e do [Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima \(PNA\)](#). As negociações internacionais e a formulação das propostas brasileiras para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa – [NAMAs](#) (Compromisso..., 2014) e [NDC](#) (Brasil, 2017b) – são apoiadas diretamente pelas quantificações, modelagem e análises dos fatores de emissão geradas pela Empresa.

## Referências

ALVES, E. Classes de renda na agricultura. **Revista Agro DBO**, v. 11, n. 63, p. 48-52, 2014.

BRASIL. Lei nº 13.576 de 26 fevereiro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2017a. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Atos2015-2018/2017/Lei/L13576.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Atos2015-2018/2017/Lei/L13576.htm)>. Acesso em: 8 fev. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.805, de 29 de abril de 2013. Institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e altera a Lei no8.171, de 17 de janeiro de 1991. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/atos2011-2014/2013/Lei/L12805.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/atos2011-2014/2013/Lei/L12805.htm)>. Acesso em: 8 fev. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano ABC - Agricultura de baixa emissão de carbono**. Brasília, DF, 2016a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC**. Brasília, DF, 2017b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/10570-indc-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação**. Brasília, DF, 2016b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

BYRUM, J. A conversation with Joseph Byrum, PhD, MBA, PMP. **Industrial Biotechnology**, v. 13, n. 3, p. 101-102, 2017. DOI: 10.1089/ind.2017.29082.jby.

COMPROMISSO voluntário do Brasil. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2011/11/o-compromisso-voluntario-do-brasil>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

CRAWFORD, K. Six provocations for Big Data. In: SYMPOSIUM ON THE DYNAMICS OF THE INTERNET AND SOCIETY, 2011, New York. [Anais...]. New York: Data & Society Research Institute: Microsoft Research. 2011. 17 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.192643>.

DATA VISUALIZATION. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_visualization](https://en.wikipedia.org/wiki/Data_visualization)>. Acesso em: 8 fev. 2018.

DECONTO, J. G. (Coord.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. [Brasília, DF]: Embrapa; [Campinas]: Ed. da Unicamp, 2008. 82 p.

GE, L.; BREWSTER, C.; SPEK, J.; SMEENK, A.; TOP, J. **Blockchain for Agriculture and Food**: findings from the pilot study. Wageningen: Wageningen Economic Research, 2017. 40 p. (Report 112). Disponível em: <[https://www.wur.nl/upload\\_mm/d/c/0/b429c891-ab94-49c8-a309-beb9b6bba4df\\_2017-112%20Ge\\_def.pdf](https://www.wur.nl/upload_mm/d/c/0/b429c891-ab94-49c8-a309-beb9b6bba4df_2017-112%20Ge_def.pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2018.

GOUVELLO, C. de; SOARES FILHO, B. S.; NASSAR, A. (Coord.). **Estudo de baixo carbono para o Brasil**: uso da terra, mudanças do uso da terra e florestas: relatório de síntese técnica. Washington, DC: World Bank, 2010. 288 p.

OLIVEIRA, J. de M.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. de M.; ASSIS, P. C. R.; SILVEIRA, A. L. R.; LIMA, M. de L.; WRUCK, F. J.; MEDEIROS, J. C.; MACHADO, P. L. O. de A. Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 105-116, 2018. DOI: 10.1007/s10113-017-1146-0.

SANTOS, B. P.; SILVA, L. A. M.; CELES, C. S. F. S.; BORGES NETO, J. B.; PERES, B. S.; VIEIRA, M. A. M.; VIEIRA, L. F. M.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. A. F. Internet das coisas: da teoria à prática. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES E COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 34., 2016, Salvador. **Livro de minicursos**. Porto Alegre: SBC, 2016. p. 1-50. Disponível em: <<http://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

SULEIMAN, K. **Pesquisa desenvolve conceito carne carbono neutro para produção bovina**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/13239171/pesquisa-desenvolve-conceito-carne-carbono-neutro-para-producao-bovina>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

## Capítulo 5

# O papel da agricultura na mitigação das emissões de gases de efeito estufa

*Beata Eموke Madari*

*Santiago Vianna Cuadra*

*Patrícia Perondi Anchão Oliveira*

*Rosana Clara Victoria Higa*

*Nilza Patricia Ramos*

*Cristiano Alberto de Andrade*

*Alexandre Kemenes*

*Rubens Sonsol Gondim*

## Introdução

A agropecuária não deverá ser apenas afetada pelas mudanças climáticas, mas desempenhará papel central na redução das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) e, conseqüentemente, na atenuação dos impactos da mudança do clima. As ações mitigadoras indicadas para agropecuária também consistem em importantes ações de adaptação às mudanças climáticas, uma vez que o aumento do sequestro de carbono depende fundamentalmente da diminuição das perdas de nutrientes nos agroecossistemas e do aumento do estoque de carbono nos solos e no componente arbóreo (Oliveira et al., 2014), os quais contribuem para manter altos índices de produtividade e melhor aproveitamento dos recursos naturais, especialmente solo e água. A mitigação das emissões reflete em balanços de GEE mais favoráveis nos agroecossistemas, os quais podem eventualmente se comportar como sistemas neutros ou até sumidouros de GEE, em que a redução das emissões de GEE e o aumento do sequestro de carbono, principalmente do carbono orgânico, são um dos objetivos principais na transição para uma produção agropecuária de baixa emissão de carbono.

## Agricultura e pecuária

A Embrapa tem executado diversos projetos em rede para desenvolver práticas e tecnologias de mitigação de emissões de GEE em sistemas pecuários, florestais e graníferos, nos diversos biomas brasileiros, com destaque para os [projetos em rede Pecus](#), [Saltus](#) e [Fluxus](#), respectivamente. A Empresa tem identificado estratégias relevantes para a mitigação das emissões de GEE pela agricultura. Na pro-

dução de grãos, por exemplo, a biomassa não aproveitada para alimentação é mantida na lavoura cujo solo não deve ser revolvido por implementos agrícolas. A este processo se convencionou chamar de Sistema Plantio Direto (SPD), que deve ser associado à rotação de culturas, inclusive leguminosas, uso de plantas de cobertura, adubação verde e práticas de manejo e conservação do solo. O SPD aumenta as taxas de produtividade, o sequestro de carbono orgânico do solo (Madari et al., 2005; Corbeels et al., 2016) e é benéfico à saúde dos solos cultivados (Salton et al. 1998). Além de contribuir com a mitigação das emissões de GEE, o SPD melhora as condições biofísicas do solo, previne processos de salinização, reduz a amplitude de variação de temperatura e evaporação, conferindo, assim, maior resiliência aos agroecossistemas (Giongo et al., 2014). Incrementar a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) por leguminosas é crucial porque o ciclo do carbono é intimamente ligado ao do nitrogênio e outros nutrientes (Sisti et al., 2004).

Na agricultura de sistemas aeróbios (sem lâmina d'água), o mais importante gás de efeito estufa é o óxido nitroso ( $N_2O$ ) graças principalmente à aplicação de fertilizantes inorgânicos nitrogenados (Brasil, 2014). Tecnologias que promovam o uso eficiente desses fertilizantes, por exemplo, por meio de nanotecnologia para a liberação lenta (Kottegoda et al., 2017), ou que evitem parcial ou integralmente sua aplicação pelo estímulo à FBN, podem reduzir sensivelmente as emissões de  $N_2O$ . Em agroecossistemas anóxicos de arroz irrigado, a emissão do gás metano ( $CH_4$ ) pode ser reduzida com o manejo intermitente da irrigação por inundação ou ainda com o uso adequado de cultivares de arroz para esse fim (Scivittaro et al., 2014, 2015). A aplicação de biocarvão ou *biochar* pode contribuir tanto para o sequestro de carbono quanto para a mitigação das emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  em agroecossistemas aeróbios e anóxicos (Karhu et al., 2011; Han et al., 2016; Sun et al., 2017).

Uma das tecnologias mais indicadas para a mitigação das emissões na pecuária é a recuperação e intensificação de pastagens (FAO, 2009; O'Mara, 2012; Oliveira, 2015), com grande potencial de sequestro de carbono no solo, dada a grande quantidade de terras destinadas a esta atividade no Brasil. Outra importante tecnologia é a redução da emissão de  $CH_4$  entérico. As tecnologias mais indicadas e impactantes para esse objetivo são a melhoria dos índices zootécnicos e a eficiência de produção (diminuição da idade de abate, do intervalo entre partos, do desempenho dos animais). Projetos da Embrapa nessa linha em destaque são o Novilho Precoce e a Inseminação Artificial em Tempo Fixo – IATF (Melo Filho; Queiroz, 2011). De forma complementar, o uso de dietas balanceadas e de melhor qualidade (pastagens e forrageiras bem manejadas, uso de suplementação mine-

ral, proteica e energética), bem como de aditivos moduladores de fermentação ruminal, pode também contribuir para a mitigação da emissão de CH<sub>4</sub> entérico (Oliveira et al. 2015; Moura et al., 2017). Importante linha de pesquisa para auxiliar na mitigação da emissão de GEE na agropecuária é a modelagem biofísica. Projetos desenvolvidos na Embrapa têm mostrado que os modelos de simulação e cenários das emissões de GEE atualmente disponíveis não apresentam resultados satisfatórios pela falta de parametrização para as condições brasileiras. Dessa forma, estão sendo construídos novos modelos a partir do banco de dados gerado pela [Rede Pecu](#) da Embrapa, que agrega um conjunto de dados obtidos nos biomas brasileiros.

A vinculação da produção agrícola ao setor florestal e à produção animal tem sido estimulada visando a resultados ainda mais satisfatórios para a mitigação das emissões de GEE pela agropecuária. A produção agropecuária de baixa emissão de carbono deverá estar calcada em sistemas integrados de pecuária-floresta (IPF), lavoura-floresta (ILF) e pecuária-lavoura-floresta ([ILPF](#)), bem como conciliar processos de reciclagem com o mínimo revolvimento do solo e conservação da vegetação nativa (Sacramento et al., 2013). Os modelos integrados de produção permitem sequestrar ainda mais carbono nas árvores, as quais, por sua vez, conferem maior conforto térmico animal (Lemes et al., 2015; Botta et al., 2017), contribuindo para ganhos nos índices zootécnicos produtivos e reprodutivos. Estudos de vinculação entre sistemas [ILPF](#) com o manejo sustentável da suinocultura (biodigestores, geração de energia renovável e fertirrigação) no Mato Grosso do Sul mostraram resultados promissores, tanto do ponto de vista da mitigação das emissões de GEE quanto do ponto de vista socioambiental (Buller et al., 2015). Já a adoção de sistemas intensivos ILF que integram o componente arbóreo e o plantio direto (Figueiredo et al., 2017; Oliveira et al., 2018) tem o potencial de incrementar o sequestro de carbono orgânico e mitigar as emissões de GEE. A Empresa tem proposto iniciativas importantes para a pecuária, como a produção de carne e leite carbono neutro, em que a carne e o leite bovino são produzidos tendo seus volumes de emissão de GEE neutralizados por sequestro de carbono paralelo ao processo de produção. A mitigação decorre em essência da presença de árvores nos sistemas de integração e por meio de certificação.

O manejo integrado de agroecossistemas, incorporando e combinando tecnologias certificadas de variadas áreas do conhecimento (manejo integrado de pragas, uso racional de insumos e da água, etc.), pode reduzir ainda mais a pegada hídrica e de carbono dos sistemas produtivos (Carmo et al., 2016). O principal desafio tem sido o arranjo econômico para fornecimento de bônus aos produtos com emissão

de GEE reduzida ou neutralizada ou por carbono orgânico sequestrado no solo, por exemplo, na forma de crédito de carbono, importante mecanismo para a garantia da sustentabilidade da agropecuária em longo prazo.

## Culturas energéticas

As culturas energéticas são alternativas viáveis do ponto de vista econômico e ambiental para uso complementar às fontes fósseis. O potencial de produção de biomassa varia conforme a cultura, assim como o tipo de biocombustível produzido, podendo ser desde etanol de cana-de-açúcar ou de milho, biodiesel de soja, até energia elétrica a partir da biodigestão de resíduos (Bergier et al., 2012). As emissões evitadas pela queima de combustíveis fósseis por si já justificam o uso destas culturas na matriz energética mundial. Porém, a adoção de sistemas de produção mais eficientes em termos de produtividade e com práticas mais ajustadas, como, entre outras, SPD, uso de inoculantes para otimizar [FBN](#), manejo da palhada e reciclagem de efluentes, também contribui para mitigar as emissões de GEE. Considerando que entre 60% e 85% das emissões da produção de biocombustíveis decorrem da fase agrícola, ou estão associadas a ela, quaisquer alterações nas práticas envolvidas nesta fase são significativas para melhorar o balanço final de carbono. Portanto, a automação e a integração de processos nos agroecossistemas serão cruciais para que seja efetivo o refinamento na aplicação, nas doses e fontes de corretivos e fertilizantes, visando mitigar sensivelmente as emissões e maximizar a produtividade. Na adubação da cana-de-açúcar, por exemplo, tem-se observado que a substituição da ureia pelo nitrato de amônio reduz as emissões de  $N_2O$ , cuja taxa de redução depende do solo, da época do ano da aplicação e da região. O uso da FBN como inovação pode contribuir ainda mais na mitigação das emissões das culturas energéticas, pois poderá tornar as emissões de  $N_2O$  equivalentes àquelas da respiração de solos sem aplicação de fertilizantes. Para a soja, o uso de inoculante em substituição ao fertilizante nitrogenado mineral já é rotina e contribui significativamente para a mitigação das emissões de GEE. No manejo da cultura, outro fator que contribui para mitigação é o uso do plantio direto durante a reforma do canavial, que mitiga de 11% a 20% as emissões de  $CO_2$ , comparado ao preparo convencional.

## Setor florestal

O setor florestal tem grande potencial na redução de emissões de GEE. As plantações de árvores, especialmente aquelas destinadas ao setor moveleiro, e as

áreas de vegetação nativa em Reservas Legais (RLs), Áreas de Proteção Permanente (APPs) e Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RRPNs) contribuem para a manutenção de carbono, água e da biodiversidade em agroecossistemas. As Nações Unidas lançaram em 2008 um programa de mitigação das emissões por desflorestamento e degradação florestal, também chamado de [REDD](#). Outro importante benefício do setor é o uso de produtos de base florestal para manter o carbono estocado por longo período de tempo ou ainda substituir o uso de combustíveis fósseis. Além disso, solos florestais livres de inundação são sumidouros de  $\text{CH}_4$ . Há observações, no Sul do Brasil, de que a oxidação de  $\text{CH}_4$  em solos sob plantios de *Pinus taeda*, mesmo sendo de menor grandeza quando comparado à floresta nativa adjacente (estágio intermediário de sucessão), é significativa (Higa et al., 2017).

## Sistemas ecológicos

O estímulo à adoção de sistemas produtivos mais diversificados e orgânicos (certificados) atende a uma clara demanda da sociedade por alimentos saudáveis e que mitiguem os impactos do aquecimento global. Os modelos dos agroecossistemas funcionais sustentáveis utilizarão níveis de complexidade crescentes das inter e intrarrelações de seus múltiplos componentes. O uso dos sistemas agroflorestais como opções de uso da terra por meio de interações do solo e das espécies vegetais em diferentes magnitudes apresenta grande potencial de mitigação, sendo uma importante medida de adaptação aos riscos climáticos, atribuindo maior resiliência, segurança alimentar, energética e hídrica. O uso de espécies nativas é uma importante ferramenta para conservar áreas degradadas e espécies ameaçadas, agregando ainda mais valor aos produtos locais; o que pode trazer à tona a discussão sobre políticas públicas ligadas ao pagamento pela prestação de [serviços ambientais](#), e, em particular, os serviços de regulação climática (Anderson-Teixeira et al., 2012), que podem compor a matriz de medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

## Piscicultura

De modo geral, as represas de água são fontes de  $\text{CH}_4$  (Deemer et al., 2016) e também estocam carbono nos sedimentos (Mendonça et al., 2017). A adição de ração em tanques-rede deve ter impactos diretos no balanço de carbono desses ambientes aquáticos represados, dado que a produtividade primária, ligada com o uso e ocupação, é determinante sobre as emissões (Bergier et al., 2014;

Deemer et al., 2016). São necessários estudos adicionais para determinar se a piscicultura de tanques-rede em grande escala pode resultar em anoxia e elevação das emissões de  $\text{CH}_4$ , *bloom* de cianobactérias ou macrófitas aquáticas e os consequentes riscos à vida aquática. Estudos preliminares realizados pela Embrapa Meio Ambiente forneceram um primeiro indício da influência da aquicultura na emissão de GEE. No reservatório de Furnas, Minas Gerais, foram monitoradas três áreas com produção de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede, sendo observado que a emissão de  $\text{CH}_4$  foi significativamente maior quando comparada com uma área sem a produção aquícola. Amostragens também foram realizadas em áreas de criação de peixes em tanques-rede no Açude Padre Cícero, conhecido como Castanhão, Ceará, e no reservatório de Chavantes, na calha do Rio Paranapanema, São Paulo-Paraná. Em ambos os casos, foi observada a emissão significativa de  $\text{CH}_4$  na área de influência dos tanques-rede. Por sua vez, não foi verificada diferença de emissão de  $\text{CO}_2$  entre áreas cultivadas e não cultivadas em um mesmo reservatório. Os resultados preliminares sugerem que a matéria orgânica proveniente da criação de peixes promove a metanogênese e a consequente emissão de  $\text{CH}_4$  para a atmosfera, enquanto a emissão/remoção de dióxido de carbono está mais associada ao grau de eutrofização do reservatório.

Portanto, é imprescindível caracterizar melhor os sistemas de aquicultura, monitorar a qualidade da água e melhor avaliar as emissões de  $\text{CH}_4$  em tanques-rede. Mais que isso, e análogo ao que vem sendo feito nos agroecossistemas mais sustentáveis, é preciso, a depender da escala, integrar a aquicultura com a hidropônia (aquaponia) e/ou com a geração de energia elétrica fotovoltaica. Há iniciativas muito interessantes na Ásia na área de integração das indústrias fotovoltaica e da aquicultura, os quais podem ser replicados no Brasil como adaptação do setor energético e da aquicultura para adaptação e mitigação às mudanças climáticas. A presença de painéis solares na superfície de reservatórios, além de gerar energia renovável, aumenta o albedo e reduz o calor sensível e latente, minimizando as perdas de água por evaporação.

## Considerações finais

A Embrapa, com seus parceiros, vem atuando no desenvolvimento de soluções para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na agropecuária e, conseqüentemente, para a atenuação dos impactos da mudança do clima. Algumas tecnologias, como recuperação de pastagens degradadas, integração lavoura-pecuária-floresta, sistema plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, florestas plantadas e sistemas agroflorestais, bem como manejo de dejetos animais,

já fazem parte de políticas públicas nacionais, como o [Plano ABC](#), as quais são alinhadas a iniciativas e políticas internacionais para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Entretanto, ainda há necessidade de estudos de caracterização do impacto dos sistemas agropecuários para identificar problemas e cobrir lacunas do nosso conhecimento desse aspecto dos sistemas produtivos. Há espaço também para o desenvolvimento ou aperfeiçoamento de tecnologias já reconhecidas como mitigadores. Foram identificadas áreas de produção, como no caso da piscicultura, em que ações devem ser tomadas para desenvolver ou adaptar tecnologias para a redução da emissão de GEE. Entre os futuros desafios, ainda podemos mencionar que há falta de incentivo para que o setor produtivo adote em grande escala as tecnologias mitigadoras de emissão de GEE. É também um desafio grande desenvolver mecanismos para incentivar a adoção de tais tecnologias por longos períodos (20 anos ou mais), tempo necessário para alcançar as metas sugeridas de redução na emissão de GEE do País em acordos internacionais. Além disso, o monitoramento da adoção das tecnologias mitigadores é, em si, um desafio complexo. A adoção de tecnologias mitigadores, em longo prazo, seria também desejável para evitar um possível ressalto nas emissões de GEE, acentuando as mudanças climáticas. Entretanto, os desafios de adoção das tecnologias e sua permanência no campo requerem soluções que vão além da problemática de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico, pois permeiam especialmente questões políticas e econômicas que viabilizem e estimulem os mais variados processos de mitigação das emissões de GEE e combate às mudanças climáticas.

## Referências

- ANDERSON-TEIXEIRA, K. J.; SNYDER, P. K.; TWINE, T. E.; CUADRA, S. V.; COSTA, M. H.; DELUCIA, E. H. Climate-regulation services of natural and agricultural ecoregions of the Americas. **Nature Climate Change**, v. 2, p. 177-181, 2012.
- BERGIER, I.; GOULART, T.; FRANCO, E.; RECH, R.; SILVA, D. S. da.; OLIVEIRA, G. S. de.; ALVES, L. F.; MORAES, A.; KOSOSKI, A. R.; SANTOS, K.; BULLER, L. S.; ORTEGA, H.; FERNANDES, C.; SILVA, R.; SILVA, P.; GABAS, S. G.; LASTORIA, G.; MORAES, O.; RAMOS, F. M.; TOMICH, T. R. **Fertirrigação e agricultura de baixa emissão de carbono**: resultados do projeto CNPq/REPENSA em São Gabriel do Oeste. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2012. 30 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 116).
- BERGIER, I.; RAMOS, F. M.; BAMBACE, L. A. W. Dam reservoirs role in carbon dynamics requires contextual landscape ecohydrology. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 10, p. 5985-5988, Oct. 2014.
- BOTTA, D.; ARRUDA, R. P. de; CARVALHO, C. P. T. de; ROMANELLO, N.; PANTOJA, M. H. de A.; BARRETO, A. do N.; LEMES, A. P.; GIRO, A.; MOURA, A. B.; GARCIA, A. R. Categorização computadorizada da motilidade de espermatozoides criopreservados de touros compostos após desafio térmico in vitro. In: REUNIÃO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ANDROLOGIA ANIMAL, 2.,

2017, Uberlândia, MG. **Anais...** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2017. p. 86-89 (Embrapa Pantanal. Documentos, 146).

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF, 2014. 161 p.

BULLER, L. S.; BERGIER, I.; ORTEGA, E.; MORAES, A.; BAYMA-SILVA, G.; ZANETTI, M. R. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop-livestock systems: case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 137, p. 206-219, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.11.004>.

CARMO, H. F. do; MADARI, B. E.; WANDER, A. E.; MOREIRA, F. R. B.; GONZAGA, A. C. de O.; SILVEIRA, P. M. da; SILVA, A. G.; SILVA, J. G. da; MACHADO, P. L. O. de A. Balanço energético e pegada de carbono nos sistemas de produção integrada e convencional de feijão-comum irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1069-1077, 2016.

CORBEELS, M.; MARCHÃO, R. L.; SIQUEIRA NETO, M.; FERREIRA, E. G.; MADARI, B. E.; SCOPEL, E.; BRITO, O. R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific Reports**, v. 6, n. 21450, 2016. .

DEEMER, B. R.; HARRISON, J. A.; LI, S.; BEAULIEU, J. J.; SONTRO, T. del; BARROS, N.; BEZERRA-NETO, J. F.; POWERS, S. M.; SANTOS, M. A. dos; VONK, J. A. data from: greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: a new global synthesis. **BioScience**, v. 66, n. 11, p. 949-964, 2016.

FAO. GRASSLANDS: enabling their potential to contribute to greenhouse gas mitigation. Rome. [2009]. 5 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/climate/FinalUNFCCCgrassland.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2010.

FIGUEIREDO, E. B. de; JAYASUNDARA, S.; BORDONAL, R. de O.; BERCHIELLI, T. T.; REIS, R. A.; WAGNER-RIDDLE, C.; LA SCALA JÚNIOR, N. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, n. 1, p. 420-431, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132>.

GIONGO, V.; BRANDÃO, S. da S.; SANTANA, M. da S.; COSTA, N. D.; MENDES, A. M. S.; YURI, J. E.; PETRERE, C. **Sistema plantio direto de meloeiro com coquetéis vegetais em vertissolo no Semiárido**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2014. 26 p. (Embrapa Semiárido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 117).

HAN, X.; SUN, X.; WANG, C.; WU, M.; DONG, D.; ZHONG, T.; THIES, J. E.; WU, W. Mitigating methane emission from paddy soil with rice-straw biochar amendment under projected climate change. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1-10, 2016. DOI: 10.1038/srep24731.

HIGA, R. C. V.; ZANATTA, J. A.; RACHWAL, M. F. G. Plantações florestais comerciais e a mitigação na mudança do clima. In: OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (Ed.). **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 67-112.

KARHU, K.; MATTILA, T.; BERGSTRÖMA, I.; REGINA, K. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity – results from a short-term pilot field study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 140, n. 1-2, p. 309-313, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.005>.

KOTTEGODA, N.; SANDARUWAN, C.; PRIYADARSHANA, G.; SIRIWARDHANA, A.; RATHNAYAKE, U. A.; ARACHCHIGE, D. M. B.; KUMARASINGHE, A. R.; DAHANAYAKE, D.; KARUNARATNE, V.; AMARATUNGA, G. A. J. Urea-hydroxyapatite nanohybrids for slow release of nitrogen. **ACS NANO**, v. 11, n. 2, p. 1214-1221, 2017. DOI: 10.1021/acs.nano.6b07781.

LEMES, A. P.; GIMENES, L. U.; PEZZOPANE, J. R. M.; BOSI, C.; ESTEVES, S. N.; PEDROSO, A. F.; OLIVEIRA, P. P. A.; MARCONDES, C. R.; BERNDT, A.; MAHLMEISTER, K.; BERNARDI, A. C. C.; ALVES, T. C.; GARCIA, A. R. Thermal comfort of composite beef heifers (*Bos taurus* vs *Bos indicus*) raised in livestock-forest systems in Southeastern Brazil. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 1 p.

MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; ANDRADE, A. G.; VALENCIA, L. I. O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 80, p. 185-200, 2005.

MELO FILHO, G. A. de.; QUEIROZ, H. P. de (Ed.). **Gado de corte**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: 2011. 261 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Disponível em: <<http://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/pdfs/90000017-ebook-pdf.pdf>>. Acesso em: 7 fev. 2018.

MENDONÇA, R.; MÜLLER, R. A.; CLOW, D.; VERPOORTER, C.; RAYMOND, P.; TRANVIK, L. J.; SOBEK, S. Organic carbon burial in global lakes and reservoirs. **Nature Communications**, v. 8, Article 1694, 2017. DOI:10.1038/s41467-017-01789-6.

MOURA, A. M.; TOMICH, T. R.; PEREIRA, L. G. R.; TEIXEIRA, A. M.; PACIULLO, D. S. C.; JAYME, D. G.; MACHADO, F. S.; GOMIDE, C. A. M.; CAMPOS, M. M.; CHAVES, A. V.; GONÇALVES, L. C. Pasture productivity and quality of *Urochloa brizantha* cultivar Marandu evaluated at two grazing intervals and their impact on milk production. **Animal Production Science**, v. 57, n. 7, p. 1384-1391, 2017. DOI: 10.1071/AN16715.

O`MARA, F. P. The role of grasslands in food security and climate change. **Annals of Botany**, v. 110, n. 6, p. 1263-1270, 2012. .

OLIVEIRA, J. de M.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. de M.; ASSIS, P. C. R.; SILVEIRA, A. L. R.; LIMA, M. de L.; WRUCK, F. J.; MEDEIROS, J. C.; MACHADO, P. L. O. de A. Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 105-116, 2018. DOI: 10.1007/s10113-017-1146-0.

OLIVEIRA, P. P. A. Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de carbono para a preservação ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 623-634, 2015. Número especial, IV SMUD.

OLIVEIRA, P. P. A.; BERNARDI, A. C. C.; ALVES, T. C.; PEDROSO, A. de F. Evolução na recomendação de fertilização de solos sob pastagens: eficiência e sustentabilidade na produção pecuária. In: VALADARES FILHO, S. de C.; PAULINO, M. F.; CHIZZOTTI, M. L.; PAULINO, P. V. R.; SILVA, A. G. da; ZANETTI, D.; MOURA, F. H. de; PRADOS, L. F.; BARROS, L. V. de; SILVA, L. H. P.; MANSO, M. R.; PACHECO, M. V. C.; BENEDETI, P. D. B. (Ed.). SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 9.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF BEFF CATTLE PRODUCTION, 5., 2014, Viçosa. **O encontro do boi verde**: anais. Viçosa: Ed. da UFV, 2014. p. 289-344.

OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; MEO FILHO, P. de; BERNDT, A.; PEDROSO, A. de F.; BERNARDI, A. C. de C. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1.; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4., 2017 Pato Branco. **Palestras**: intensificação com sustentabilidade. Pato Branco: UTFPR, 2017. p. 23-32.

OLIVEIRA, P. P. A.; RODRIGUES, P. H. M.; AZENHA, M. V.; LEMES, A. P.; SAKAMOTO, L. S.; CORTE, R. U.; PRAES, M. F. F. M. Emissões de GEE e amônia em sistemas pastoris: mitigação e boas práticas

de manejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 27., 2015, Piracicaba. **Sistemas de produção, intensificação e sustentabilidade da produção animal**: anais. Piracicaba: Fealq, 2015. p. 179-223.

SACRAMENTO, J. A. A. S.; ARAÚJO, A. C. de M.; ESCOBAR, M. E. O.; XAVIER, F. A. da S.; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. de. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 784-795, 2013.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (Org.). **Sistema plantio direto**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1998. 248 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500perguntassistemaplantiodireto.pdf>>. Acesso em: 7 fev. 2018.

SCIVITTARO, W. B.; BUSS, G. L.; FARIAS, M. de O.; CORRÊA G. da S.; LACERDA, C. L.; SILVEIRA, A. D.; SOUSA, R. O. de.; PARFITT, J. M. B. **Emissões de metano e de óxido nitroso em planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e aspersão**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. 26 p. (Embrapa Clima Temperado, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 208).

SCIVITTARO, W. B.; BUSS, G. L.; SOUSA, R. O. de; SILVEIRA, A. D.; FARIAS, M. de O. **Emissões anuais de metano e de óxido nitroso em terras baixas**: efeito do método de irrigação para o arroz. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 32 p. (Embrapa Clima Temperado, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 236).

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 76, p. 39-58, 2004.

SUN, Z.; SANGER, A.; REBENSBURG, P.; LENTZSCH, P.; WIRTH, S.; KAUPENJOHANN, M.; MEYER-AURICH, A. Contrasting effects of biochar on N<sub>2</sub>O emission and N uptake at different N fertilizer levels on a temperate sandy loam. **Science of the Total Environment**, v. 578, p. 557-565, 2017.

## Capítulo 6

# Desafios e soluções para o combate às mudanças climáticas

*Santiago Vianna Cuadra*

*Alexandre Bryan Heinmann*

*Beata Eموke Madari*

*Aryeverton Fortes de Oliveira*

*Patricia Menezes Santos*

*Patrícia Perondi Anção Oliveira*

*Alexandre Kemenes*

*Gustavo Barbosa Mozzer*

*Luis Gustavo Barioni*

## Introdução

As mudanças climáticas constituem uma grande ameaça, o que reforça a importância dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Caso esses objetivos não sejam alcançados, amplia-se os riscos à saúde, o suprimento de água, a produção de alimentos, a nutrição, a biodiversidade e a segurança energética das sociedades humanas em todo o mundo, especialmente as que vivem em adensamentos urbanos e áreas vulneráveis. A Embrapa tem buscado evidenciar a dimensão dos desafios impostos pela mudança do clima, que vem reduzindo a produtividade agrícola nas últimas décadas em diversas regiões, e propor estratégias para promoção do desenvolvimento sustentável, investindo no desenvolvimento de novas tecnologias e planejamento estratégico para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e garantir a adaptação dos agroecossistemas do País. A universalização da compreensão dos riscos impostos pela mudança do clima e uma conscientização social sobre o tema serão primordiais. Nesse contexto, a Embrapa, com sua capilaridade nacional e capacidade de produzir e adaptar tecnologias para as mais variadas realidades, será fundamental para a sustentabilidade da agropecuária brasileira.

## A Embrapa

A Embrapa é referência nacional na quantificação de emissões de GEE e na condução de estudos de mitigação em virtude de possuir um arcabouço de dados experimentais, conhecimento organizado e de ferramentas de análise para o planeja-

mento estratégico e a construção de cenários capazes de quantificar os efeitos da adoção de tecnologias. A Empresa tem sido atuante nas comunicações nacionais das emissões de GEE do setor agropecuário e em diversos estudos quantitativos das emissões de sistemas agropecuários, demonstrando, via de regra, menores emissões dos agroecossistemas nacionais em relação ao estimados por análises com modelos e fatores *default* produzidos fora do País. Ela destaca-se, também, no apoio para formulação de políticas públicas, tendo subsidiado a definição das Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas ([NAMAs](#)), do [Plano ABC](#) e das Contribuições Nacionalmente Determinadas ([NDC](#)) do Brasil, e na participação em importantes estudos coordenados pelo Banco Mundial. A ampliação e a adoção de soluções tecnológicas preconizadas nessas políticas poderão conferir aos agroecossistemas tanto o incremento da capacidade adaptativa aos impactos da mudança do clima quanto à redução das emissões de GEE. O monitoramento da efetividade de longo prazo dessas ações é também fundamental, uma vez que as variações dos estoques de carbono são mensuráveis no horizonte de décadas. O incremento dos estoques de carbono é uma das principais bases da contribuição da agropecuária no [NDC](#) brasileiro. Para apoiar essas iniciativas, em 2016 foi inaugurada a Plataforma Multi-institucional de Monitoramento das Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa, na Embrapa Meio Ambiente em Jaguariúna, SP, a qual tem como objetivo monitorar a redução das emissões de GEE na agropecuária brasileira, bem como a dinâmica de estoque de carbono no solo.

Promover a resiliência e a adaptabilidade aos riscos climáticos requer planejamento e o desenvolvimento de recursos humanos, além de ferramentas tecnológicas capazes de produzir conhecimento e estimativas acerca dos riscos a que estão sujeitos os distintos agroecossistemas nas diferentes regiões do País. Essa tarefa é extremamente complexa, dada a dimensão continental do Brasil e a diversidade de cultivos e de sistemas produtivos. Embora estejam em curso iniciativas nacionais e internacionais de pesquisa, a capacidade nacional de determinação dos potenciais impactos da mudança climática ainda é limitada a um número reduzido de culturas agrícolas. A ampliação das culturas contempladas pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc), assim como o desenvolvimento e parametrizações de novos modelos biofísicos serão centrais nesse processo. Entretanto, a carência de dados experimentais para parametrização dos modelos para diversas culturas agrícolas constitui-se, ainda, em um importante gargalo para a redução das incertezas decorrentes de tais modelos. Para acelerar os avanços nessa área, faz-se necessário ampliar os investimentos em pesquisas de base, na organização de redes de experimentação de Unidade de Referência Tecnológica (URT) de longo prazo – com parceiros públicos e privados –, considerando o monitoramento

das condições ambientais (experimentos agro/micrometeorológicos); expandir a capacidade das plataformas de fenotipagem; avançar com os experimentos *Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment (Face)*, considerando também os efeitos do aquecimento concomitantemente ao enriquecimento do CO<sub>2</sub> (*Free-Air Warming and CO<sub>2</sub> Enrichment*) e contemplando outras culturas agrícolas e diferentes ambientes de produção. Por meio dessas ações, será possível melhor compreender e modelar as interações crescimento/productividade, fatores abióticos e práticas de manejo nos agroecossistemas.

## Avanços e desafios

Uma vez identificados e quantificados os riscos climáticos aos sistemas de produção agrícola adotados, tecnologias, produtos e serviços serão adaptados para minimizar a exposição a esses riscos e, ao mesmo tempo, conferir resiliência aos agroecossistemas frente às mudanças climáticas. Além da adoção de práticas de manejo de integração e intensificação, os programas de melhoramento vegetal e animal terão papel fundamental no desenvolvimento de genótipos adaptados às condições climáticas futuras. Na produção vegetal, grupos de pesquisa têm concentrado esforços buscando avanços no conhecimento e geração de práticas e processos agrícolas para o desenvolvimento de cultivares com tolerância ao déficit hídrico, eficiência fotossintética e nutricional, e resistência à toxicidade do alumínio em solos ácidos. Para isso, é fundamental a continuidade do financiamento de pesquisas básica, pré-melhoramento e o desenvolvimento de cultivares na fase de melhoramento final.

O melhoramento genético animal, particularmente o de zebuínos e seus cruzamentos, deverá gerar animais mais tolerantes ao estresse térmico e mais resistentes a parasitas associados a temperaturas elevadas, ao mesmo tempo que elevar a qualidade de carne e a produtividade a esses animais. Ganhos relacionados à microbiologia do solo e do rúmen, particularmente com relação à fixação biológica não simbiótica de nitrogênio, reduzindo o aporte de fontes sintéticas, e redução das emissões de metano entérico são importantes fronteiras do conhecimento em que a Embrapa deve fazer investimentos e são promissoras em termos de potencial de contribuição futura. Hoje, o Brasil é referência em genética zebuína, conhecida pela rusticidade, tolerância ao calor e parasitas, permitindo a produção sustentável nos trópicos.

Avanços na adoção de sistemas integrados e intensivos de produção (integração lavoura-pecuária-floresta – [ILPF](#)) deverão contribuir significativamente na

mitigação das emissões e na adaptação da agricultura brasileira para as mudanças climáticas. A continuidade de pesquisas e estudos em URTs de longo prazo será necessária para subsidiar políticas públicas dedicadas à adoção de sistemas integrados e intensivos. A Empresa tem buscado a implantação e manutenção de URTs multidisciplinares com experimentos interinstitucionais, em colaboração com diversas universidades e com o setor privado, de modo a contribuir para o melhor entendimento da integração e da intensificação nos agroecossistemas. A diversificação da produção e o melhor aproveitamento das aptidões locais contribuirão para adaptação regional do setor agropecuário às mudanças climáticas. A adoção de sistemas agroflorestais e a manutenção de espécies nativas em agroecossistemas são importantes para a recuperação de áreas degradadas e para a conservação da biodiversidade e dos [serviços ambientais](#), o que pode trazer à tona a discussão sobre políticas públicas ligadas ao pagamento pela prestação de [serviços ambientais](#), e, em particular, os serviços de regulação climática.

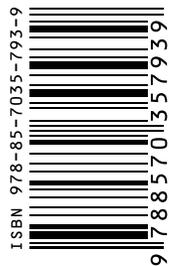
Sistemas produtivos em aquicultura (maricultura, piscicultura, etc.), tanto em ambientes de água doce, como em salobra ou salgada, têm a grande vantagem de serem mais eficientes energeticamente que os setores de produção de carne. No Brasil, há grandes áreas disponíveis e não ocupadas pela atividade. Entretanto, existem poucos estudos sobre o balanço de emissões de GEE para esses sistemas. A integração entre produção aquícola e vegetal (aquaponia) apresenta-se como grande oportunidade de adaptação às mudanças climáticas para a produção sustentável de alimentos com baixo impacto nas emissões de GEE no Brasil.

## Considerações finais

A transformação sustentável da agropecuária brasileira deverá estar cada vez mais alinhada a ações de adaptação aos impactos das mudanças do clima e também capazes de mitigar as emissões ou aumentar as remoções de GEE. Em virtude das características de abrangência espaço-temporal do problema, os avanços de conhecimento obtidos pela Embrapa nas últimas décadas e a interação com a sociedade e instituições de ensino e pesquisa assumem um papel primordial no apoio à formulação de políticas públicas que visem ao desenvolvimento de alternativas viáveis nos meios de produção no País. Essas políticas serão decisivas para ampliar a capacidade de adaptação da sociedade e da economia frente aos riscos climáticos, criando condições e oportunidades para negócios ligados à resiliência climática.

A Embrapa exercerá um papel de relevo no apoio à evolução e formulação de novas políticas setoriais, que deverão, no futuro próximo, progredir para programas e projetos apoiados por análises sistêmicas, cientificamente embasadas e integradas, que permitam o acompanhamento quantitativo contínuo e transparente dos resultados. O agronegócio brasileiro deverá encontrar nos resultados de pesquisa inovações e tecnologias que permitam a gestão eficiente dos recursos naturais com vistas à demanda por melhoria das condições socioeconômicas e maior equidade social. Suas ações deverão ser coerentes e integradas com os ODS e com os objetivos de múltiplas políticas públicas, nas quais a governança dos temas de mudanças climáticas será sinérgica com a aplicação eficiente de recursos públicos e privados para o desenvolvimento sustentável nas variadas realidades locais do País.

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



CGPE 14439