

# Capítulo • 1

## Mudanças climáticas e agricultura

*Rubens Sonsol Gondim*

*Maria Cléa Brito de Figueirêdo*

*Aline de Holanda Nunes Maia*

*Marlos Alves Bezerra*

*Cristhyan Alexandre Carcia de Carvalho*

### Introdução

Mudanças climáticas são um conjunto de alterações no estado do clima, que tanto podem ser identificadas por mudanças nas médias das variáveis climáticas quanto na variabilidade das propriedades do clima que persistem por um período extenso, tipicamente décadas ou séculos. Podem ocorrer devido a influências externas, tais como radiação solar e forças internas como o vulcanismo, ocorrendo naturalmente e contribuindo para a variabilidade total natural do sistema climático. Com a Revolução Industrial, ocorreram alterações na composição da atmosfera devido às atividades humanas, as quais passaram a liberar maiores quantidades de gases de efeito estufa (GEE), causadores do aquecimento global. As emissões crescentes de GEE vêm aumentando a temperatura média dos oceanos e do ar, perto da superfície terrestre.

Os principais GEE, em quantidade liberada por atividades humanas, são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ). Esses gases são gerados, principalmente, por atividades ligadas à agricultura, tais como: queima de combustíveis fósseis, rizicultura com irrigação por inundação, mudança no uso da terra (desmatamento), uso de fertilizantes sintéticos e pecuária.

As emissões futuras de GEE são o produto de um sistema dinâmico muito complexo, determinado pelas seguintes forças: crescimento demográfico, desenvolvimento socioeconômico e mudanças tecnológicas. Cenários climáticos são representações do futuro que são consistentes com hipóteses sobre emissões futuras de GEE e outros poluentes, considerando as forças que os influenciam (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER, 2000).



Há um razoável consenso entre os cientistas de que o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera aumenta a temperatura global (CARTER et al., 2007). O aumento da temperatura entre a média do período 1850-1900 e a média do período 2003-2012 foi em média de 0,78 °C. Os oceanos têm acumulado a maior parte do aquecimento, servindo como um amortecedor para o aquecimento da atmosfera, estocando mais de 90% da energia do sistema. No entanto, à medida que o oceano aquece, perde a capacidade de absorver gás carbônico, o que pode acelerar os efeitos atmosféricos, quando o gás atingir a saturação (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER, 2014a).

A previsão é que há pelo menos 66% de chance da temperatura global aumentar, no mínimo, 2,5 °C até 2100, em comparação aos níveis pré-industriais (1850 a 1900), caso a queima de combustíveis fósseis continue no ritmo atual e não sejam aplicadas quaisquer políticas climáticas.

Há razoável confiança acerca do aumento da precipitação média sobre áreas de média latitude do hemisfério Norte, a partir de 1901 e alta confiança, após 1951. Para outras latitudes, entretanto, há pouca confiança sobre aumentos ou reduções de longo prazo.

No Brasil, a tendência é que a temperatura aumente em todos os biomas e que as precipitações pluviométricas diminuam, com exceção dos Pampas e Mata Atlântica. Em 2100, estima-se que a temperatura média do Brasil será de 3 °C a 6 °C mais alta do que no final do século 20. A projeção faz parte do primeiro relatório de avaliação nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC).

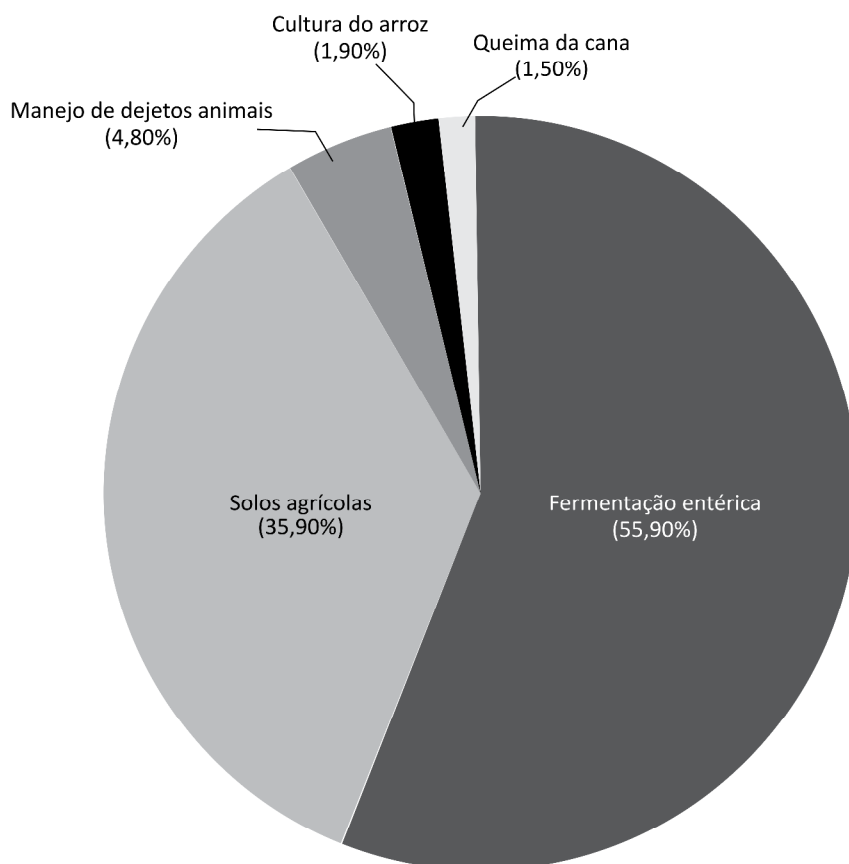
Considerando o Nordeste brasileiro, a variabilidade na precipitação relacionada ao fenômeno *El niño*/Oscilação Sul (ENOS) provavelmente será intensificada (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER, 2013). Moncunill (2006) avaliou que a precipitação nessa região provavelmente sofrerá redução devido ao fato de a Zona de Convergência Intertropical possuir tendência de ficar mais deslocada para o norte, durante a quadra chuvosa do Nordeste.

O objetivo deste capítulo é discutir como a agropecuária contribui para o aquecimento global, as principais práticas relacionadas a uma agricultura de baixo carbono e as principais consequências das mudanças climáticas na atividade agrícola.



## Emissões de GEE relacionadas ao setor agrícola

No Brasil, o setor agrícola foi responsável por 12% das emissões de GEE, em 2010 (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER, 2014a). Em 2012, as emissões de GEE do setor agropecuário representaram 37% das emissões totais, sendo relativas principalmente às emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ) e metano ( $CH_4$ ) (BRASIL, 2014). Nesse ano, as atividades agrícolas que mais geraram emissões de GEE foram o manejo de solos (fertilização e preparo do solo) e a fermentação entérica de animais (Figura 1).



**Figura 1.** Emissões de GEE por atividade agrícola.

Fonte: Brasil (2014).



## **Emissões resultantes da mudança no uso da terra**

A abertura de novas áreas de produção com o desmatamento de áreas florestais resulta na liberação de  $\text{CO}_2$  devido à decomposição do carbono orgânico estocado na biomassa e no solo. A atividade microbiana de degradação da matéria orgânica também libera importante quantidade de  $\text{N}_2\text{O}$ .

A cobertura reduzida do solo amplia sua exposição à radiação solar, aumentando a temperatura e reduzindo a umidade. O preparo do solo, com utilização de aração e gradagem, aumenta a aeração, estimula a atividade microbiana e, conseqüentemente, a liberação de  $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$  para a atmosfera. Quando a retirada da vegetação é seguida de queima da biomassa, ocorre aumento na emissão de GEE.

Devido à mudança no uso da terra, os desmatamentos nos biomas Amazônia e Cerrado são responsáveis pelas maiores emissões de  $\text{CO}_2$ , no Brasil. Em 2005, as emissões líquidas de  $\text{CO}_2$  desses biomas foram de 1.064.490.000 t, de um total de 1.106.120.000 t. Estima-se que, em 2012, as emissões de  $\text{CO}_2$  foram reduzidas para 21.980.000 t, na Amazônia, e para 103.850.000 t, no Cerrado. A quase totalidade das emissões de GEE no bioma Cerrado foram oriundas da transformação de florestas nativas em áreas de pastagem e agrícolas (BRASIL, 2014).

## **Emissões da pecuária**

A criação de animais é a principal fonte de emissões de  $\text{CH}_4$  (Tabela 1), resultantes da fermentação entérica que faz parte do processo digestivo dos animais ruminantes e da fermentação anaeróbica dos dejetos animais, que emite  $\text{CH}_4$  e  $\text{NO}_2$ . A produção brasileira de bovinos, em 2012, foi de 211,38 milhões de cabeças, em fazendas localizadas, principalmente, na região Centro-Oeste (IBGE, 2012).

Em 2012, as emissões devido à fermentação entérica foram estimadas em 11.741.400 t (BRASIL, 2014). Em 2005, as emissões de metano devido a essa atividade foram de 11.487.000 t, e as emissões de  $\text{CH}_4$  devido ao manejo de dejetos de animais foram de 723.000 t. A previsão para essas emissões em 2012 foi de 799.100 t, tendo sido impulsionadas pelo aumento do manejo de dejetos do rebanho de suínos, que passou de 357.700 t para 404.000 t, de 2005 para 2012 (BRASIL, 2014).

**Tabela 1.** Estimativa de emissões de CH<sub>4</sub>, por fermentação entérica do rebanho bovino brasileiro.

Tipo de animal	Emissão de CH <sub>4</sub>				Variação 1990-2005 %	Estimativa 2012 (t)
	1990	1994	2000	2005		
<b>Fermentação entérica</b>						
Gado bovino	8.004.000	8.579.000	9.256.000	11.129.000	39	11.523.300
Gado de leite	1.198.000	1.263.000	1.178.000	1.371.000	14,5	1.566.000
Gado de corte	6.807.000	7.316.000	8.078.000	9.757.000	43,4	9.957.200
Outros animais	415.000	416.000	344.000	358.000	-13,7	353.200
Total	8.419.000	8.995.000	9.599.000	11.487.000	25	11.876.400
<b>Manejo de dejetos animais</b>						
Gado bovino	191.200	204.600	215.900	254.000	75	261.000
Gado de leite	35.900	37.600	34.100	39.700	90	43.700
Gado de corte	155.300	167.000	181.800	214.300	72	217.300
Suínos	373.100	386.800	364.600	357.700	104	404.000
Aves	48.400	61.300	78.100	91.500	53	115.300
Outros animais	22.500	22.600	19.200	19.700	114	18.700
Total	635.200	675.300	677.800	722.900	88	799.100

Fonte: Brasil (2014).

## Emissões da aplicação de fertilizantes sintéticos e calcário

Com a Revolução Industrial e o incremento da produção agrícola, passou-se a utilizar fertilizantes industrializados para suprir as deficiências nutricionais dos solos, principalmente em nitrogênio, que é de grande importância no metabolismo das plantas. Desse modo, aumentou a capacidade de rendimento das culturas, todavia, também aumentaram as emissões de GEE (PES, 2009).

O nitrogênio é um dos principais nutrientes aplicados nas culturas visando promover seu rápido crescimento, sendo fundamental no processo de fotossíntese. Ainda na década de 1960, a disponibilidade de nitrogênio no planeta era controlada por processos naturais, por meio da fixação do elemento pelas plantas. De 1960 a 2000, o consumo de fertilizante nitrogenado cresceu cerca de 30 vezes (COSTA et al., 2009). No Brasil, o uso de fertilizantes sintéticos foi responsável pela emissão de 31.100 t de N<sub>2</sub>O, em 2005, e de 48.600 t de N<sub>2</sub>O, em 2012, representando um aumento de 56% nas emissões de GEE (BRASIL, 2014).



O uso desse nutriente em fertilizantes orgânicos e inorgânicos acarreta liberação direta de  $N_2O$ , além de indireta, devido à liberação de amônia ( $NH_3$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), formação e lixiviação de nitrato ( $NO_3$ ) e posterior transformação desses compostos em  $N_2O$ . O  $N_2O$  é liberado em menor quantidade que o  $CO_2$ ; entretanto, tem um potencial de aquecimento no horizonte de 100 anos, 298 vezes maior que o  $CO_2$  (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER, 2007).

Os processos de nitrificação e desnitrificação estão diretamente relacionados com as emissões de  $N_2O$  e demais compostos de nitrogênio. Na nitrificação, ocorre a oxidação da amônia ( $NH_3^+$ ) em nitrato ( $NO_3^-$ ) e há produção de óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e óxido nitroso ( $N_2O$ ). Esse processo ocorre em condições aeróbicas, necessitando de solos bem drenados, com baixa saturação hídrica. O pH do solo também influencia nesse processo, sendo desejável pH acima de 5, o qual favorece a atividade das bactérias quimioautotróficas que participam do processo (ALVES et al., 2012; COSTA et al., 2009). Já no processo de desnitrificação, o nitrato é reduzido a  $N_2$ ,  $NO_x$  e  $N_2O$ , em condições anaeróbicas, sendo predominantes as emissões de  $N_2O$ . Nesse contexto, o alto índice de saturação do solo influencia a desnitrificação, pois traz o solo para próximo de sua capacidade de campo (ALVES et al., 2012; COSTA et al., 2009).

A aplicação de ureia,  $CO(NH_2)_2$ , libera, além de  $N_2O$ , o  $CO_2$  que foi incorporado ao produto na fase industrial. A ureia é convertida em amônio ( $NH_4^+$ ), hidroxila ( $OH^-$ ) e bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), que, por sua vez, libera  $CO_2$  na presença de água.

A aplicação de carbonatos para correção da acidez em solos agrícolas também libera  $CO_2$ . A adição de calcário (ex.:  $CaCO_3$  ou  $CaMg(CO_3)_2$ ) leva à liberação de  $CO_2$  e água, quando o carbonato se dissolve e libera o bicarbonato. Em 2012, no Brasil, estima-se que as emissões de  $CO_2$  devido à calagem foi de 14.963.000.000 t, oriundas, principalmente, da região Centro-Oeste (BRASIL, 2014).

### **Emissões da queima de restos culturais e combustíveis fósseis**

Em algumas regiões do Brasil, a atividade agrícola ainda utiliza a prática de queimar restos culturais em campo. Essa queima causa emissões, principalmente de  $CH_4$  e  $NO_2$ . A grande quantidade de  $CO_2$  emitido nesse processo não é considerada no cômputo das emissões líquidas, pois, na fotossíntese, a mesma quantidade de  $CO_2$  é absorvida durante a fase de



crescimento da planta. Estima-se que, em 2012, a queima de resíduos da cana-de-açúcar emitiu 185.000 t de  $\text{CH}_4$  e 9.000 t de  $\text{N}_2\text{O}$ , representando 1% das emissões totais desses gases pelo setor agropecuário, no Brasil (BRASIL, 2014).

As práticas de manejo para implantação de culturas utilizando implementos agrícolas acoplados a tratores também contribuem para a emissão de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , por meio da queima de combustíveis fósseis. Entretanto, essas emissões pelo setor agropecuário representam apenas 0,87% das emissões relacionadas à queima de combustíveis dos diversos setores da economia, sendo as principais emissões atribuídas aos setores industrial e da construção civil (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER, 2014a).

### **Emissões do cultivo de arroz irrigado com o método de inundação**

No sistema de cultivo de arroz inundado, realizado em áreas de várzea, onde o fluxo de oxigênio atmosférico para o solo é interrompido, ocorre a decomposição de matéria orgânica de forma anaeróbia, levando à produção de  $\text{CH}_4$ . As emissões de  $\text{CH}_4$  variam em função de fatores como pH do solo, temperatura, radiação solar e manejo (aplicação de fertilizantes), bem como em função da área colhida, nos diferentes sistemas de cultivo.

A região Sul do Brasil possui uma maior contribuição nas emissões de  $\text{CH}_4$ , por solos cultivados com arroz (Tabela 2). Isso por ser a região a maior produtora de arroz no País e por essa produção ser realizada em regime de irrigação contínua ou de várzea. A região Norte também se destaca por ter triplicado sua produção de arroz, no período 1990 a 2005.

**Tabela 2.** Emissões de metano por cultivo de arroz, nas regiões e no País.

Região	Emissão de $\text{CH}_4$				Variação (%) 1990-2005
	1990	1994	2000 (t)	2005	
Centro-Oeste	21.00	14.600	12.400	16.300	-22,4
Nordeste	16.300	18.000	15.400	16.200	-0,2
Norte	8.800	19.400	16.800	23.300	164,1
Sudeste	67.200	56.200	26.600	20.000	-70,2
Sul	249.800	328.200	321.700	349.800	40
Brasil	363.100	436.300	392.900	425.700	17,2

Fonte: Brasil (2010).



## Agricultura de baixo carbono

Embora a atividade agropecuária seja importante fonte de GEE, é importante observar que essas emissões devem ser reduzidas, e o estoque de carbono e a ciclagem de nutrientes, ampliados. De acordo com INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER (2014b), o setor agropecuário pode contribuir com a redução entre 20% e 60% das emissões de GEE, até 2030, com a adoção de práticas de manejo de baixo carbono.

A redução das emissões por quilo de produto agrícola produzido ocorre quando se consegue produzir mais em menor área e com menor uso de insumos externos, como fertilizantes sintéticos, corretores de solo e água de irrigação. Já o acúmulo de carbono no solo pode ocorrer com a diversificação da produção e manutenção da cobertura vegetal.

Em 2009, o Brasil estabeleceu o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura, mais conhecido como plano ABC. As principais ações relacionadas a uma agricultura de baixo carbono, de acordo com esse plano, são: recuperação de pastagens degradadas, integração lavoura-pecuária-floresta, plantio direto na palha, fixação biológica de nitrogênio, plantio de florestas e tratamento de dejetos animais (ASSAD, 2013).

Existe, no Brasil, cerca de 60 milhões de hectares de pastos degradados, que, caso fossem recuperados, ampliariam a capacidade de suporte dessas regiões em termos da quantidade de animais por hectare e reduziriam as pressões para abertura de novas áreas de pastagens (ASSAD, 2013). A recuperação de pastagens degradadas requer semeadura, fertilização e uso de técnicas de conservação do solo.

A integração lavoura-pecuária-floresta é um sistema que busca a intensificação sustentável do uso da terra pela atividade agrosilvipastoril, utilizando técnicas de consorciamento ou rotação de culturas, na mesma área, abrangendo atividades agrícolas, pecuárias e florestais (BALBINO et al., 2011). Esse conjunto de atividades contribui, principalmente, para o aumento do teor de matéria orgânica no solo e estoque de carbono, devido ao maior aporte de resíduos vegetais em uma área, e minimização da ocorrência de pragas e doenças, pela maior biodiversidade por área de solo.

A fixação biológica de nitrogênio resulta do cultivo de leguminosas associadas a microrganismos fixadores de nitrogênio atmosférico, em





consorciamento ou rotação com outras culturas, acarretando na redução do consumo de adubos nitrogenados. De acordo com Boddey et al. (2012), a utilização de sistemas de adubação verde em consorciamento ou rotação com outras culturas permite balancear o sistema com nitrogênio, promovendo a produção primária e acúmulo de carbono no solo.

No sistema de plantio direto, a palhada do cultivo anterior é mantida sobre o solo, que é minimamente revolvido apenas no momento da semeadura da cultura subsequente. Essa técnica aumenta o acúmulo de matéria orgânica e carbono no solo, ao longo do tempo, além de reduzir a ocorrência de processos erosivos e aumentar a retenção de água no solo. O rendimento total das culturas, a quantidade total de resíduos que permanecem no campo e um balanço positivo de nitrogênio no sistema são fatores determinantes para a quantidade de carbono estocada em sistemas de plantio direto (BODDEY et al., 2012).

O plantio de florestas em áreas desmatadas também aumenta o estoque de carbono na planta e no solo. O plantio de espécies florestais de crescimento rápido, como o eucalipto, é preconizada para área agrícolas, pois quando bem manejadas, as áreas florestadas podem servir como fonte de madeira para produtores rurais (ASSAD, 2013).

Por fim, o tratamento de dejetos da criação de animais permite a redução das emissões de metano pela agricultura. Com a utilização de tratamentos com biodigestores, pode-se gerar energia com a queima do metano desse tratamento, reduzindo as emissões de metano na propriedade rural, além das emissões resultantes da produção da energia que deixa de ser demandada.

## Efeitos das mudanças climáticas na agricultura

Considerando o impacto do aquecimento global nas plantas, Droogers et al. (2004) distinguem dois efeitos: fisiológicos e de interação planta-ecossistema. Estes efeitos possuem impactos tanto positivos quanto negativos que precisam ser compreendidos para adequado delineamento de estratégias de adaptação e desenvolvimento de tecnologias mitigadoras das mudanças climáticas.

A previsão é de que o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera afetará a fisiologia das plantas, já que esse gás faz parte do metabolismo vegetal, na assimilação pela fotossíntese com transformação em carboidratos. Assim, diversas pesquisas vêm avaliando os impactos da maior concentração de GEE no desenvolvimento de plantas de interesse agrícola.



De acordo com Tubiello e Ewert (2002), o aumento na concentração de CO<sub>2</sub> pode induzir ao fechamento dos estômatos das plantas e, assim, reduzir perdas de água por transpiração. Os resultados de Hacour et al. (2002), em experimentos com batata (*Solanum tuberosum* L. cv Bintje), sugeriram que o aumento de CO<sub>2</sub> reduziu a altura e acelerou fortemente a senescência das plantas.

Eitzinger et al. (2003) ponderam que incertezas permanecem sobre o efeito do aquecimento do clima nas plantas, devido à falta de conhecimento em modelos de simulação de plantas. Muitos efeitos benéficos da elevada concentração de CO<sub>2</sub>, incluindo aumento de produtividade, melhoria na eficiência no uso de recursos e menor suscetibilidade a alguns patógenos fúngicos, podem ser reduzidos ou até mesmo perdidos em um mundo mais quente. Assim, há necessidade de avaliações da interação entre os fatores temperatura e CO<sub>2</sub> no comportamento das espécies cultivadas para redução das incertezas.

Com relação aos efeitos planta-ecossistema, segundo o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Center (2013), a elevação da temperatura em 1 °C pode causar impacto negativo no cultivo de arroz, trigo e milho em áreas tropicais, como na América do Sul.

Nos trópicos, estudam-se perdas de regiões propícias à prática agrícola, deslocamento dos cultivos e impactos no zoneamento agroclimático, devido a fatores limitantes das temperaturas elevadas ao desenvolvimento das diversas espécies. No Brasil, Assad et al. (2004) e Decanto (2008) avaliaram impactos no deslocamento de cultivos de café, algodão, arroz, feijão, soja, mandioca e girassol, e Hamada et al. (2006) projetaram efeitos das mudanças climáticas no aumento no número de ciclos de pragas e intensidade de doenças.

## **Efeitos das mudanças climáticas na agricultura praticada no Nordeste brasileiro**

A região Nordeste do Brasil é reconhecidamente uma área com elevada variabilidade anual quanto à distribuição e quantidade de chuvas, o que torna a agricultura vulnerável à disponibilidade hídrica para os cultivos. Possivelmente, por essa razão, alguns estudos de impactos das mudanças climáticas têm abordado essa região, prevendo o aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos, sendo necessário aumento da eficiência de uso da água na agricultura.

As mudanças climáticas afetam a demanda de água para a agricultura irrigada, a qual depende de como a temperatura, precipitação e suas interações



irão se comportar. A agricultura irrigada pode aumentar a demanda de água, em virtude da elevação na evapotranspiração e redução na precipitação, mesmo sem considerar o aumento das áreas irrigadas (GONDIM et al., 2008).

Gondim et al. (2012) projetaram aumento na demanda de água para irrigação na bacia do Baixo Jaguaribe, Ceará, entre 7,9% e 9,1% para a climatologia de 2025 a 2055 para os cenários A2 e B2, respectivamente, com relação à climatologia de base de 1961 a 1990. Em estudo específico para a cultura da bananeira no Ceará, foi projetada elevação na necessidade hídrica bruta média anual para o ano de 2040, com relação às condições iniciais (1961 a 1990), de 1.989 mm para 2.536 mm e 2.491 mm (27,50% e 25,24%) para os cenários A2 e B2, respectivamente. Esse estudo foi elaborado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (GONDIM et al., 2011; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER, 2000).

Em estudos no Nordeste brasileiro, Barbieri et al. (2010) concluíram que o setor agrícola da região será severamente impactado, devido à inadequabilidade de terras agrícolas na região, causada pelo aumento de temperaturas, agindo como fator de pressão de migração e vulnerabilidade. A inadequabilidade de terras também foi relatada por Silva et al. (2012) quando estudou o zoneamento do milho na região em cenários de mudanças climáticas. Gondim et al. (2012) projetou aumento de demanda de água para a irrigação de cultura na região do Baixo Jaguaribe, Ceará, devido ao aumento da evapotranspiração de referência e especialmente reduções de precipitações projetadas para a climatologia de 2025 a 2055, em relação a 1961 a 1990.

Entretanto, a vulnerabilidade da produção irrigada pode significativamente mudar com os modelos climáticos aplicados. Döll (2002) projetou uma elevação das necessidades de irrigação de 46 mm para o Nordeste do Brasil, em 2020, em relação ao período de 1960 a 1990. Já Döll e Hauschild (2002) projetaram redução de demanda hídrica em 48%, para a maioria dos municípios com irrigação.

Tal divergência de resultados pode ser atribuída a discordâncias de impactos, projetados por diferentes modelos de mudanças climáticas. Krol et al. (2006) e Krol e Bronstert (2007) verificaram que, para o Semiárido nordestino, as projeções de alterações na precipitação sobre a região divergiram, sendo menos 50% para o modelo climático ECHAM4 e mais 21% para HadCM2.

Diante dos resultados apresentados, pode-se refletir que a água para agricultura irrigada é tema central para geração e aplicação de tecnologias



adaptativas, tanto para a convivência com a seca quanto estratégia para o aumento de demanda por incremento das áreas irrigadas e para os possíveis impactos decorrentes das mudanças do clima, o qual pode passar a ser uma nova fonte de pressão sobre a demanda.

Dessa forma, visando à racionalização do uso da água na agricultura, algumas tecnologias devem ser adotadas:

- Avaliar a uniformidade de aplicação da água periodicamente, realizando a manutenção preventiva do sistema de irrigação para alcance de maior uniformidade de distribuição da água de irrigação.
- Viabilizar a definição, pela pesquisa, das necessidades hídricas das espécies irrigadas, a fim de fornecer adequada quantidade de água, de acordo com o estágio de desenvolvimento das plantas.
- Viabilizar o desenvolvimento e adoção de aplicativos para dispositivos móveis para divulgação diária entre os produtores do quanto irrigar, com base na evapotranspiração de referência, pelo método FAO Penman-Monteith, e nos coeficientes de cultivo das culturas, nos diferentes estágios de desenvolvimento.
- Nos locais onde se irriga com água subterrânea, realizar estudos hidrogeológicos, a fim de permitir a gestão dos recursos hídricos demandados, considerando sua capacidade de recarga.

## Considerações finais

O fenômeno das mudanças climáticas sofre impactos decorrentes da atividade agropecuária e, no caso do Brasil, especialmente pelo desmatamento para abertura de novas áreas para cultivo e pecuária. Por outro lado, a atividade agropecuária pode mitigar os efeitos das mudanças climáticas, por meio do desenvolvimento e adoção de tecnologias adaptativas. A biomassa vegetal e o solo podem potencialmente funcionar como sumidouros de carbono; então, a agricultura exerce importante papel na mitigação da emissão de GEE para a atmosfera.

A atuação do setor agropecuário em conjunto com os demais setores da economia para reduzir o aumento da temperatura do planeta é essencial para a economia rural, uma vez que as mudanças climáticas afetam diretamente



a produção e dinâmica de todos os setores econômicos, em especial, o agropecuário.

Populações de menor renda e regiões agrícolas marginais, como o Semiárido, são mais vulneráveis às mudanças climáticas. Essas regiões também estão sujeitas às forçantes, tais como crescimento populacional e depleção de recursos, o que, somado aos efeitos das mudanças climáticas, amplia os níveis de pobreza e insegurança alimentar.

Políticas públicas que promovam reduzir a pressão sobre os recursos naturais, que melhorem o gerenciamento de riscos ambientais e aumentem o bem-estar dos membros mais pobres da sociedade podem, simultaneamente, avançar na equidade e no desenvolvimento sustentável, fortalecendo a capacidade adaptativa e reduzindo vulnerabilidades ao clima e a outros estresses.

## Referências

ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B.; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F.; CARVALHO, C. J. R. Emissões de óxido nitroso e óxido nítrico do solo em sistemas agrícolas. In: LIMA, M. A. de; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (Ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. p. 159-191.

ASSAD, E. D. **Agricultura de baixa emissão de carbono**: a evolução de um novo paradigma – sumário executivo. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, [2013]. 38 p. Projeto Observatório ABC. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117611/1/sumario-estudo-1.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2015.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p.1057-1064, 2004.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial**: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2011.

BARBIERI, A. F.; DOMINGUES, E.; QUEIROZ, B. L.; RUIZ, R. M.; RIGOTTI, J. I.; CAVALHO, J. A. M.; RESENDE, M. F. Climate change and population migration in Brazil's Northeast: scenarios for 2025-2050. **Population and environment**, v. 31, n. 5, p. 344-370, 2010.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; MARTIN-NETO, L.; MADARI, B. E.; MILORI, D. M. B. P.; MACHADO, P. L. O. de A. Estoques de carbono nos solos do Brasil: quantidade e mecanismos de acúmulo e preservação. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES,



B. J. R.; MACHADO, P. L. O. A.; URQUIAGA, S. (Ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de Baixo Carbono**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>>. Acesso em: 31 ago. 2012.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF, 2014. Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0235/235580.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf). Acesso em: 20 dez. 2014.

CARTER, T. R.; ALFSEN, K.; BARROW, E.; BASS, B.; DAI, X. DESANKER, P.; GAFFIN, S. R.; GIORGI, F.; HULME, M.; LAL, M.; MATA, L. J.; MEARNNS, L. O.; MITCHEL, J. F. B.; MORITA, T.; MOSS, R.; MURDIYARSO, D.; PABON-CAICEDO, J. D.; PALUTIKOF, J. PARRY, M. L.; ROSENZWEIG, C.; SEGUIN, B.; SCHOLLES, R. J.; WHETTON, P. H. **General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment** – Task group on data and scenario support for impact and climate assesement (TGICA) – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. 66 p.

COSTA, A. R.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. de M.; MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M. **Uso do nitrogênio na agricultura e suas implicações na emissão do gás de efeito estufa: óxido Nitroso N<sub>2</sub>O**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 47 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 249). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF-2010/29830/1/doc-249.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

DECANTO, J. G. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa; Campinas: Unicamp, 2008. Disponível em: <[http://www.agritempo.gov.br/climaegricultura/CLIMA\\_E\\_AGRICULTURA\\_BRASIL\\_300908\\_FINAL.pdf](http://www.agritempo.gov.br/climaegricultura/CLIMA_E_AGRICULTURA_BRASIL_300908_FINAL.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2008.

DÖLL, P.; HAUSCHILD, M. Model-based regional assessment of water use – an example for semi-arid Northeastern Brazil. **Water International**, v. 27, n. 3, p. 310-320, 2002.

DÖLL, P. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. **Climatic Change**. v. 54, n. 3, p. 269-293, 2002.

DROOGERS, P.; van DAM, J.; HOOBEVEEN, J.; LOEVE, R. Adaptation strategies to climate change to sustain food security In: AERTS, J. C. J. H.; DROOGERS, P. (Ed.). **Climate change in contrasting river basins: adaptation strategies for water, food and environment**. Cambridge: CABI Publishing, 2004. p. 49-73.

EITZINGER, J.; STASTNÁ, M.; ZALUD, Z.; DUBROVSKY, M. A. Simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. **Agricultural Water Management**, v. 61, n. 3, p. 195-217, 2003.



GONDIM, R. S.; CASTRO, M. A. H. de; EVANGELISTA, S. R. M.; TEIXEIRA, A. dos S.; FUCK, S. C. F. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n.12, dez. 2008.

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

GONDIM, R. S.; CASTRO, M. A. H. de; TEIXEIRA, A. dos S.; EVANGELISTA, S. R. M. Impactos das mudanças climáticas na demanda de irrigação da bananeira na Bacia do Jaguaribe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 594-600, 2011.

HACOUR, A.; CRAIGON, J.; VANDERMEIREN, K.; OJANPERÄ, K.; PLEIJEL, H. ; DANIELSON, H.; HÖGY, P.; FINNAN, J.; BINDI, M. CO<sub>2</sub> and ozone effects on canopy development of potato crops across Europe. **European Journal of Agronomy**, v. 17, n. 4, p. 257-272, 2002.

HAMADA, E.; GHINI, R.; GONÇALVES, R. R. do V. Efeito da mudança climática sobre problemas fitossanitários de plantas: metodologia de elaboração de mapas. **Engenharia Ambiental**. v. 3, n. 2, p. 73-85, 2006.

IBGE. **Pesquisa pecuária municipal**: efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho. Brasília, 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2000**: special report on emission scenarios. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>>. Acesso em: 03 jan. 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER. **Climate Change 2007**: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER. **Climate change 2013**: the physical science basis - summary for policy makers. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. Working Group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <[http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014**: agriculture, forestry and other land use (AFOLU) - mitigation of climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014b. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter11.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf)>. Acesso em: 03 jan. 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CENTER. **Climate Change 2014**: synthesis report. Geneva, 2014a. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate.



KROL, M. S.; BRONSTERT, A. Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resources usage in semi-arid Northeast Brazil. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, n. 2, p. 259-268, 2007.

KROL, M. S.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. Integrated modeling of climate change, water, soil, agricultural and social-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid Northeast of Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 328, n. 3-4, p. 417-431, 2006.

MONCUNILL, D. F. The rainfall trend over Ceará and its implications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY, 8., 2006, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Foz do Iguaçu: INPE, 2006.

PES, L. Z. **Fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de preparo do solo e rotação de culturas no planalto do Rio Grande do Sul**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola-Mecanização Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SILVA, V. de P. R da.; CAMPOS, J. H. B. da; SILVA, M. T. Climate risk in maize crop in the northeastern of Brazil based on climate change scenarios. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 6, p. 1176-1183, 2012.

TUBIELLO, F. N.; EWERT, F. Stimulating the effects of elevated CO<sub>2</sub> on crops: approaches and applications for climate change. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n.1-2, p. 57 -74, 2002.