



# MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AGRICULTURA

## UMA ABORDAGEM AGROCLIMATOLÓGICA

---

*Eduardo Delgado Assad*  
*Hilton Silveira Pinto*  
*Jurandir Zullo Junior*  
*Fábio Marin*

Que cenários poderão configurar-se em decorrência da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, notadamente o dióxido de carbono? O que está acontecendo e o que poderá acontecer na agricultura, se ocorrer aumento de temperatura e mudanças na precipitação pluviométrica no Brasil? Essas questões traduzem a inquietação da sociedade brasileira contemporânea no que diz respeito aos reflexos sociais e econômicos das mudanças em curso. Para tentar respondê-las, é preciso resgatar primeiramente certas informações sobre a evolução do clima; em segundo lugar, não se pode deixar de referir algumas análises de longas séries de dados de temperatura, bem como de evidências de efetivas mudanças climáticas; por fim, com o auxílio de modelos meteorológicos, será possível avaliar os efeitos da elevação de temperatura na produção agrícola e seus reflexos no zoneamento de riscos climáticos que se faz no Brasil.

## Introdução

A discussão sobre as mudanças climáticas tem reflexo em toda sociedade. Afirma-se que a terra está aquecendo, que a chuva está diminuindo, que o inverno é mais intenso e que determinados fenômenos, como vendavais, furacões, chuvas de granizo “nunca dantes vistos”, acontecem com maior frequência. Algo mudou? O que mudou? É verdade que a capacidade do homem de poluir a atmosfera aumentou e muito, desde o início da revolução industrial nos idos de 1780. É evidente que as florestas e outros tipos de vegetação natural têm sido derrubadas em ritmo acelerado e substituídas por áreas agricultáveis. Somente nos cerrados brasileiros, nos últimos 25 anos, 45 milhões de hectares de vegetação natural foram substituídos por culturas intensivas ou pastagens.<sup>1</sup> Atualmente o Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), indica que as taxas de desmatamento na Amazônia são muito altas, da ordem de 24.865Km<sup>2</sup> em 2002-2003, 27.361Km<sup>2</sup> entre 2003-2004 e 18.900Km<sup>2</sup> entre 2004-2005. Na maioria dos casos as florestas são substituídas por pastagens ou agricultura, após a queimada.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> EMBRAPA. *Embrapa Cerrados e a região dos Cerrados*. Informações básicas e dados estatísticos. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. 24p.

<sup>2</sup> Ver [www.obt.inpe.br/prodes/index.html](http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html).

Aliado a esses fatos, vem o avanço tecnológico e a capacidade do homem, cada vez mais impressionante, de coletar, armazenar e analisar as informações do ambiente.

Por que a meteorologia, nas últimas duas décadas, tem estado em evidência?

Em um primeiro momento, porque a capacidade de se coletarem dados climáticos aumentou exponencialmente. Segundo, porque o desenvolvimento e os produtos de modelos de previsão têm oferecido às sociedades, informações importantes de amplo espectro, desde o turismo, passando pela aviação, agricultura, defesa civil etc. Determinados *vilões climatológicos*, como o “El niño” ou a “La niña”, apesar da sua difícil previsão, são bem conhecidos no que diz respeito aos seus efeitos, sendo também possível minimizá-los. A mídia divulga periodicamente a previsão do tempo e faz alertas climáticos, fundamentados em pesquisas e modelos meteorológicos. Bolsas de cereais têm as atenções voltadas para os possíveis “*sinistros climáticos*”, que podem ocorrer alterando significativamente os mercados de importação e exportação de alimentos. Portanto, quando se fala em mudanças climáticas, toda a sociedade é afetada e a correta informação deve ser repassada, procurando-se evitar tumultos desnecessários e incertezas que podem ter reflexos econômicos e sociais incalculáveis.

## Evolução do clima e mudanças globais

Para abordar as questões referentes à evolução do clima, poder-se-ia discorrer sobre teorias conhecidas ou procurar buscar na literatura informações já amplamente veiculadas. Nesse sentido decidiu-se pela segunda opção e selecionou-se parte do texto de Guyot:

*Os resultados de análise de calotas de gelo da Groenlândia e da Antártica mostram que as flutuações do clima que se produziram ao longo dos 160.000 últimos anos estão estreitamente ligadas aos teores da atmosfera em gás, notadamente o gás carbônico e o metano.<sup>3</sup>*

<sup>3</sup> GUYOT, G. *Climatologie de l'environnement. De la plante aux écosystèmes*. Paris: Masson, 1997. 505 p.

<sup>4</sup> LORIUS, C. Climat et gaz à l'effet de serre: les données des archives glaciaires. *CR. Acad. Sci. La vie des Sciences*, 8:108-124, 1991.

<sup>5</sup> PETIT-MARIE, N. L'avenir dans les archives géologiques. *La recherche*, 23(243):566-569, 1992.

<sup>6</sup> DUPLESSY, J. C. Les certitudes des paleoclimatologues. *La Recherche*, vol 23, 243:558-565, 1992.

<sup>7</sup> LE TREUT, H. & KANDEL, R. Que nous apprennent les modèles de climats? *La Recherche*, vol. 23, n. 243, 572-583, 1992.

<sup>8</sup> DUPLESSY, J. C. *Op. cit.*

Atualmente, todos os resultados obtidos tanto pelos glaciólogos<sup>4</sup>, como pelos geólogos<sup>5</sup> e paleoclimatólogos<sup>6</sup>, ou os especialistas da modelagem do clima<sup>7</sup>, confirmam que as flutuações climáticas que se produziram nos últimos milhões de anos são principalmente devidas às variações de insolação. A origem dessas variações é puramente astronômica, conforme a proposição feita pelo geofísico Milutin Milankovich, citado por Duplessy<sup>8</sup>. Como todas as teorias inovadoras, elas foram objeto de controvérsias, mas agora são plenamente validadas graças ao desenvolvimento recente da análise isotópica dos sedimentos marinhos. As flutuações climáticas observadas são então explicadas pela combinação de dois fatores:

1. O primeiro corresponde à variação da inclinação do eixo da terra sobre o plano da sua órbita, de mais ou menos 1°30' em torno de um valor médio de 23°30' com uma periodicidade de 41.000 anos. Quando a inclinação é forte, as zonas de altas latitudes recebem mais energia no verão e menos no inverno, o que amplifica os contrastes sazonais. O fenômeno inverso também aparece em períodos de pequena inclinação.

2. O segundo fator é a posição da terra sobre sua órbita em torno do sol, numa determinada data que varia com uma pseudoperiodicidade, que compreende os períodos dominantes entre 19.000 e 23.000 anos. Assim, a terra está mais próxima atualmente do sol durante o inverno boreal do que durante o verão. Esta configuração provoca verões mais quentes e invernos mais frios. Vivemos neste período há alguns milhares de anos.

As variações astronômicas da insolação provocam uma série de outros fenômenos que tem por efeito amplificar as modificações climáticas. Neste caso, evidências sobre as atividades solares começam a ser comprovadas.

Trabalhos desenvolvidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM)<sup>9</sup> mostram um crescimento da temperatura no hemisfério norte da ordem de 0,5°C. Este aumento não é contínuo, mas concentrado principalmente em dois períodos: o primeiro de 1920 a 1940 e o segundo a partir de 1976, com um aquecimento rápido que culmina em 1990. Por outro lado, observa-se um resfriamento após 1940, sobretudo durante os anos 60 e 70.

No hemisfério sul, a série temporal indica um aquecimento mais progressivo após 1930, com aumento mais forte até os anos 70.

Guyot<sup>10</sup> apresenta com clareza a teoria em que se baseiam as afirmações das alterações climáticas globais. Entretanto, fica evidente que *mudanças climáticas significativas* foram observadas na escala de tempo geológico e que, no último século, foram observadas *flutuações climáticas* comprovadas pelos dados das séries históricas analisadas. Está provado que houve aquecimento e resfriamento, para períodos diferentes, nos últimos 150 anos, o que é bem diferente das claras mudanças climáticas identificadas no espaço de tempo geológico.

Trabalhos similares foram feitos no Brasil. Salgado Laboriau *et al.*<sup>11</sup>, analisando as mudanças climáticas e a vegetação no final do quaternário no cerrado e veredas do Brasil central, observam que a vegetação antes de 32.400 anos era similar à atual com clima sub-úmido; entre 32.400 e 20.000 anos predominou a vegetação rasteira, sugerindo que a umidade aumentou, mas que a temperatura provavelmente diminuiu; a fase úmida foi consistente no Pleniglacial médio, que terminou em 28.000 anos nos Andes tropicais; começando a decrescer a partir de 18.500 anos; houve um período muito seco entre 18.500 e 11.000, mas, entre 6.500 e 5.000 anos a umidade retornou, coincidindo com o aumento da precipitação em outras partes do Brasil central. Em outro artigo, Salgado Laboriau *et al.*<sup>12</sup> constatam que de 4.600 anos até o presente, na região do Brasil central, as diversidades palinológicas atuais não evidenciaram mudanças climáticas.

Fica então a questão: é real ou não o aquecimento da atmosfera? As séries da OMM<sup>13</sup> indicam um aumento de 0,5°C no planeta, desde o início da revolução industrial, ou seja, numa série de 130 anos, observa-se uma elevação de

<sup>9</sup> OMM. Organisation Meteorologique Mondiale. *The global climate system monitoring*. December 1988/may 1991. Genève: OMM, 1992. 110 p.

<sup>10</sup> GUYOT, G. *Op. cit.*

<sup>11</sup> SALGADO-LABORIAU, M. L.; CASSETI, W.; FERAZ-VICENTINI, K. R.; MARTIN, L.; SOUBIÉS, F.; SUGUIO, K. & TURCQ, B. Late quaternary vegetational climatic changes in cerrado and palm swamp from central Brazil. *Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology*, 128:215-226, 1997.

<sup>12</sup> SALGADO-LABORIAU, M. L.; BARBERI, M.; FERAZ-VICENTINI, K. R. & PARIZZI, M. G. A dry climatic event during the late quaternary of tropical Brazil. *Review of paleobotany and Palynology*, 99:115-129, 1998.

<sup>13</sup> OMM. Organisation Meteorologique Mondiale. *Op. cit.*

temperatura. Grandes flutuações inter-anuais acontecem, com aquecimento e resfriamento em períodos diferentes. Como é feita essa determinação? Recupera-se uma série histórica de dados de temperatura obtidos por estações climatológicas localizadas em várias partes do globo e determina-se a média anual da temperatura de cada estação. De posse da temperatura média anual de cada estação em vários pontos, calcula-se o valor médio da temperatura da Terra. A questão é que 0,5°C é um valor muito inferior ao desvio padrão da média da série histórica. Fica, portanto, uma dúvida: existe realmente um aquecimento do planeta devido às ações antrópicas (desmatamento, queimadas, emissão de gases etc.) ou esse aumento de temperatura pode ser explicado como fenômeno normal atrelado aos desvios de origem estatística no pequeno intervalo de tempo analisado?

Portanto, antes de se afirmar que o planeta está aquecendo, é importante verificar se, no período atual, o possível aquecimento médio de 0,5°C, não está ligado às flutuações de insolação, conforme apresentado por Guyot<sup>14</sup>, ou procurar verificar quantitativamente se a emissão de gases de diversas origens tem provocado essas alterações. Um exemplo representativo de tal hipótese pode ser obtido analisando-se a série histórica de dados de temperatura de Campinas, São Paulo. Nesse sentido, o relatório do IPCC<sup>15</sup>, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, é incontestável. As mudanças estão ocorrendo, as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera cresceram e a contínua emissão de gases de efeito estufa tem promovido um aumento na temperatura mínima, com fortes evidências como o degelo da Groenlândia, a redução das neves eternas do Kilimanjaro, a incontestável redução das geleiras na Patagônia e as fortes ondas de calor que nos últimos anos assolaram a Europa.

Quando se analisa a temperatura média, como é o caso da figura 1, essa evidência não é clara. Percebe-se uma flutuação oscilando entre 20,0 e 21,0°C.

A análise dessa série mostra algumas flutuações interessantes. No período de 1930 a 1937, a temperatura média anual esteve abaixo de 20,5°C. Entre 1938 e 1941, houve um aquecimento e a temperatura média anual ficou acima de 20,5°C. Novamente no período de 1942 a 1954, houve um novo resfriamento e a temperatura média anual ficou abaixo de 20,5°C. Após esse período observou-se uma tendência de elevação de temperatura entre os anos de 1952 a 1960, chegando a 22°C. Finalmente, de 1960 a 1987, a temperatura oscilou entre 20°C e 21°C. Nesse caso, como em vários outros, o desvio padrão das temperaturas máximas

<sup>14</sup> GUYOT, G. *Op. cit.*

<sup>15</sup> IPCC. *Climate Change 2001: Working Group II: Impacts, adaptations and vulnerability*. Disponível em [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg2/005.html](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/005.html) >acesso em: julho 2006.

anuais é da ordem de 2,0°C, e das temperaturas médias anuais, entre 1,5 e 2,0°C, o que é pelo menos 4 vezes superior ao aumento da temperatura média do globo. Não foram verificadas nessas séries tendências contínuas de aquecimento, mas sim flutuações normais associadas aos valores absolutos observados. É difícil afirmar, analisando séries históricas da temperatura média como a de Campinas, que houve tendência de aquecimento na região.

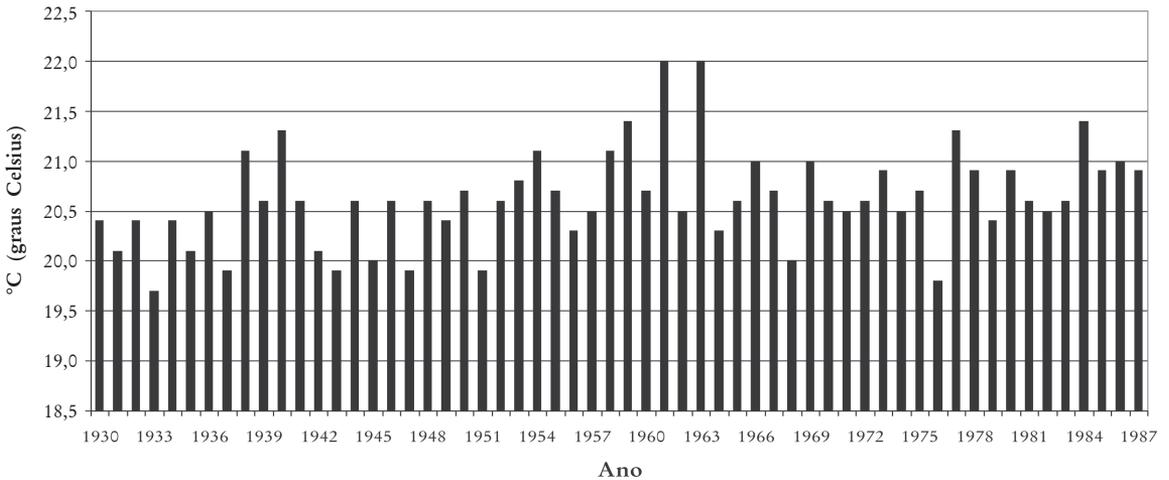


Figura 1: Variação da temperatura média anual de Campinas. Período 1930-1987. Fonte: IAC e CEPAGRI/UNICAMP

Entretanto, quando se analisa a temperatura mínima média nos últimos 115 anos, na mesma região (figura 2) percebe-se uma forte tendência de elevação, da ordem de 2,5°C.

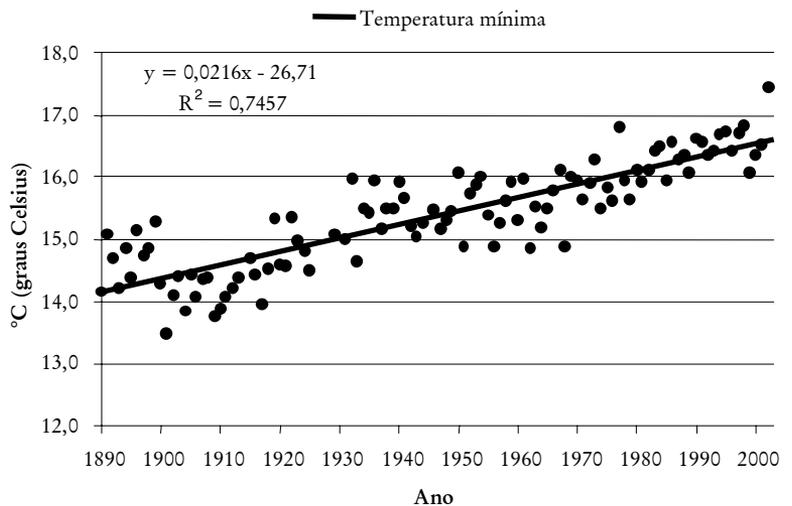


Figura 2: Variação da temperatura mínima média anual de Campinas. Período de 1890 a 2002. Fonte: IAC e CEPAGRI/UNICAMP

Para evitar os problemas de análise induzidas por crescimento de área urbana, maior impermeabilização do solo provocando forte influência nas medições de temperatura, etc, a mesma verificação foi feita em Passo Fundo e Pelotas, no Rio Grande do Sul, e em Sete Lagoas, Minas Gerais, em áreas rurais. A tendência é a mesma. A explicação mais plausível, apesar de algumas controvérsias, aceita pela maioria dos cientistas do globo, é que a concentração dos gases de efeito estufa está aumentando, provocando essa nítida elevação de temperatura mínima.

## Efeito do aumento do dióxido de carbono na atmosfera

O efeito do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera tem sido intensamente estudado pelos especialistas em fisiologia vegetal. O seu funcionamento é bem conhecido, no que diz respeito à atividade fotossintética e a sua ação no crescimento das plantas. A concentração do  $\text{CO}_2$  na atmosfera, sendo próxima de 300 ppm, está bem abaixo da saturação para a maioria das plantas. Essa concentração, quando em níveis excessivos (próximos de 1.000 ppm), passa a ser fitotóxica. A atividade fotossintética é maior nas plantas tipo  $\text{C}_3$ <sup>16</sup> do que nas  $\text{C}_4$ <sup>17</sup>. Altas concentrações de  $\text{CO}_2$  podem aumentar a fotorrespiração nas plantas  $\text{C}_3$ . Conseqüentemente, a taxa fotossintética, especialmente nos experimentos que procuram enriquecer o ambiente com  $\text{CO}_2$ , pode ter uma resposta maior nas plantas  $\text{C}_3$  do que nas plantas  $\text{C}_4$ . Nesses mesmos experimentos, não se observam evidências de aumento de produtividade. Da mesma maneira, a transpiração (diretamente relacionada com a temperatura), tende a ser mais reduzida nas plantas  $\text{C}_4$  do que nas plantas  $\text{C}_3$ . O fato deixa evidente que existe uma maior eficiência no uso da água, nas plantas  $\text{C}_4$  do que nas plantas  $\text{C}_3$ .

Para entender o funcionamento combinado do aumento da temperatura e da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, utilizam-se modelos que tentam explicar os possíveis incrementos ou reduções de produtividade, provocados por esses dois fatores, diretamente ligados à atividade fotossintética.

Assad & Luchiari<sup>18</sup>, utilizando modelos fisiológicos simplificados, mostraram que tais variações são significativas nos cerrados brasileiros. Por exemplo, a temperatura média durante a estação chuvosa nessa região (outubro a abril) é de 22°C, tendo um máximo de 26,7°C e um mínimo de 17,6°C. Considerando uma variação térmica regional, foram simulados dois cenários:

<sup>16</sup> Plantas  $\text{C}_3$  – A denominação  $\text{C}_3$  advém do fato de a maioria das plantas verdes formarem como primeiro produto estável da cadeia bioquímica da fotossíntese o ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA), uma molécula com 3 carbonos. De forma bastante simplificada, a fotossíntese  $\text{C}_3$  envolve a adição de uma molécula de  $\text{CO}_2$  – reação de carboxilação – em uma molécula acceptora constituída de 5 carbonos e dois átomos de fósforo, a ribulose 1,5 bisfosfato (RUBP). A Rubisco ou seja, a ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase-oxigenase é a enzima responsável pela carboxilação no ciclo  $\text{C}_3$  também conhecido como “ciclo de Calvin-Benson”. A maioria das leguminosas é classificada como plantas  $\text{C}_3$ .

<sup>17</sup> Plantas  $\text{C}_4$  – As plantas  $\text{C}_4$  são assim chamadas por formarem como primeiro produto da fotossíntese o ácido oxalacético (4C), o qual é rapidamente reduzido a ácido málico e ácido aspártico, ambos com 4 carbonos, porém mais estáveis. A maioria das gramíneas se encontra nessa categoria.

<sup>18</sup> ASSAD, E. D. & LUCHIARI Jr. A. Future scenarios and agricultural strategies against climatic changes: the case of tropical savannas. In: *Mudanças Climáticas e estratégias futuras*. USP, 30-31 de outubro de 1989. São Paulo, SP.

1. Aumento de 5°C na temperatura média. Nesse caso, para as plantas C<sub>4</sub> (milho e sorgo) haveria um incremento potencial de pelo menos 10 Kg/ha/dia de grãos secos na produtividade média observada hoje. Para as plantas tipo C<sub>3</sub> (soja, feijão, trigo) esse aumento seria menor, da ordem de 2 a 3 Kg/ha/dia de grãos secos.

2. Redução média de 5°C. A perda de produtividade nas plantas tipo C<sub>4</sub> seria da ordem de 20 Kg/ha/dia e nas plantas tipo C<sub>3</sub>, da ordem de 10 kg/ha/dia.

Tabela 1: Comparação entre as plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>.

Parâmetros	C <sub>3</sub> (soja, feijão)	C <sub>4</sub> (milho, cana, sorgo)
Anatomia	Células esponjosas e paliçádicas	Mesófilo e células da bainha do feixe vascular
Taxa de crescimento (g.dm <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	1	4
Estômatos	Abertos durante o dia e fechados à noite	Abertos durante o dia e fechados à noite
Eficiência do uso da água (gCO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O)	1-3	2-5
Taxa fotossintética ótima (mgCO <sub>2</sub> dm <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )	30	60
Temperatura ótima	20-30°C	30-45°C
Ponto de compensação de CO <sub>2</sub>	50 ppm	5 ppm
Fotorrespiração	Alta	Baixa

<sup>19</sup> GODWIN, R. B.; RITCHIE, J. & SINGH, U. *A user Guide to CERES wheat v.2.10*. Muscle Shoals, ALA, USA / Michigan State University/IFDC/IBSNAT, 1989. 86 p.

<sup>20</sup> JONES, C. A. & KINIRY, J. R. *Ceres-Maize: a simulation model of maize growth and development*. Texas: University Press, 1989. 194p.

<sup>21</sup> JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; JAGTAP, S. S. & SOYGRO, V. 5.41: Soybean crop growth simulation user's guide. *Agriculture Experimental Station Journal*, Gainesville, Florida, n. 8304, 1988.

<sup>22</sup> JONES, J. W.; JAGTAP, S. S. & HOOGENDOORN, G. The structure and function of DSSAT. In: IBSNAT SYMPOSIUM, 1989, Las Vegas, Nevada. *Proceedings*. Honolulu: University of Hawaii/IBSNAT, 1990. p. 1-14.

Neste tipo de abordagem, ficou claro que um aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, em níveis não superiores a 1.000 ppm, provocando um aumento de temperatura de até 5°C na atmosfera, resultaria num aumento de produtividade nas plantas C<sub>4</sub> (da ordem de 20%) e nas plantas C<sub>3</sub> (da ordem de 10%).

Posteriormente, alguns modelos mais precisos foram desenvolvidos, como é o caso do CERES-WHEAT versão 2.10<sup>19</sup>, CERES MAIZE<sup>20</sup> e SOYGRO-SOYBEAN<sup>21</sup>. Esses modelos foram utilizados pelo IBSNAT, *International Benchmark Sites Network for Agrotechnology*,<sup>22</sup> e permitiram considerar, de forma integrada, fatores do solo, da planta e do clima para verificar as variações de produtividade em diversas condições ambientais. No modelo desenvolvido pelo IBSNAT, existe uma opção de simular os efeitos fisiológicos provocados pela variação na concentração de CO<sub>2</sub> da atmosfera.

<sup>23</sup> SIQUEIRA, O. J. F.; FARIAS, J. R. B. & SANS, L. M.<sup>a</sup> Potential effects of global climate change for Brazilian agriculture and adaptive strategies for Wheat, Maize and Soybean. *Revista Brasileira de Agroclimatologia*, Santa Maria, v. 2. p. 115-129, 1994

<sup>24</sup> ASSAD, E. D. & LUCHIARI Jr. *Op. cit.*

<sup>25</sup> SIQUEIRA, O. J. F.; FARIAS, J. R. B. & SANS, L. M.<sup>a</sup> *Op. cit.*

Modelos como esses são testados em diversas regiões do globo e têm servido de orientação para suporte à decisão na agricultura. No Brasil, Siqueira *et al.*<sup>23</sup>, utilizando esses modelos e trabalhando com vários cenários diferentes, em 13 locais, desde baixas latitudes, como Manaus, até latitudes altas, como Pelotas, encontraram respostas bem próximas e mais exatas do que aquelas propostas por Assad & Luchiarri<sup>24</sup>. Trabalhando com os modelos de equilíbrio atmosférico conhecidos com GISS, GFDL e UKMO associados aos modelos do IBSNAT, Siqueira *et al.*<sup>25</sup> mostraram que todas as simulações projetavam aumento na temperatura, algumas mudanças de precipitação e efeitos menores na radiação solar. Em decorrência da elevação de temperatura, foram verificados encurtamentos nos ciclos fenológicos do milho e do trigo e aumentos nas produtividades de milho, soja e trigo, quando aumentos nas concentrações de CO<sub>2</sub> passaram dos atuais 330 ppm para 550 ppm. Em alguns casos foram projetados ganhos superiores a 500 kg/ha para o milho e trigo e mais de 1.000 kg/ha para a soja.

O que é importante destacar em todos esses modelos, com maior ou menor detalhamento, é que, havendo aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, fica evidente um aumento de produtividade tanto para as plantas C<sub>3</sub> como para as C<sub>4</sub>, até o nível de fitotoxicidade. Ou seja, até uma determinada concentração o efeito é positivo, depois as plantas morrem. A questão é saber como será o comportamento dessas plantas com relação ao fator hídrico, uma vez que o aumento de temperatura provocará um aumento na eficiência fotossintética, com reflexos no consumo de água e maior vulnerabilidade aos estresses hídricos, comuns em regiões tropicais, durante o período das chuvas.

### **Possíveis efeitos das mudanças climáticas na agricultura brasileira**

No início dos anos 90, o Ministério da Agricultura solicitou ao Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) do Ministério do Desenvolvimento, um estudo que pudesse identificar as principais causas das perdas na agricultura brasileira. Os números indicaram que 95% das perdas eram por seca ou excesso de chuva. A partir dessas indicações e fundamentado nos resultados da pesquisa agropecuária brasileira, foi implantado o Zoneamento Agrícola do Brasil, nome adotado pelos estudos de riscos climáticos que hoje orientam parte da liberação dos créditos agrícolas, responsáveis atualmente por 95 bilhões de dólares/ano,

referentes ao PIB da agricultura brasileira. Na verdade, trata-se de indicações de datas de plantio, para vários tipos de solos e várias culturas em 21 estados do país, atingindo anualmente em torno de 5.300 municípios. Essas indicações são baseadas nas análises de séries históricas de chuva e de temperatura, que variam entre um mínimo de 20 anos de dados diários até as séries mais longas com 100 anos.

Para indicação das datas de plantio, com pelo menos 80% de probabilidade de sucesso (ou seja, no máximo 20% de ocorrência de seca ou de excesso de chuvas), são consideradas a capacidade de retenção de água nos solos, a profundidade das raízes das plantas cultivadas, a duração do ciclo, a chuva e a variação desse conjunto de dados no período. Na região nordeste do Brasil, as datas de plantio variam de novembro a junho e no sul do Brasil, de julho a dezembro. Assim, as indicações do zoneamento são feitas para as condições climáticas de cada município, para as culturas de arroz, feijão, milho, trigo, soja, café, algodão e, mais recentemente, caju, mamona, mandioca e maçã.

O princípio para determinação do risco climático é simples. As áreas de menor risco são aquelas onde não há deficiência hídrica, o que garante a germinação e, principalmente, a fase de floração-enchimento de grãos, que reúne as condições fenológicas referentes (condicionantes da produtividade das culturas). Esse risco não deve ultrapassar 20% (figura 3).



*Figura 3:* Na fase de germinação (A) e no início do período de florescimento (B), o risco de faltar água deve ser inferior a 20%. Cultura de milho. Fonte: EMBRAPA/CNPMS

Para definir os riscos, são utilizados índices agrometeorológicos determinados no balanço hídrico, calculados a partir da evapotranspiração das culturas, que é a soma entre a transpiração das folhas e a evaporação do solo. Também pode ser definida como a quantidade total de água perdida de uma superfície coberta com vegetação, através da evaporação direta da água de interceptação e da superfície do solo. Cada planta tem sua condição ótima de consumo de água, regulada pela fotossíntese, que depende diretamente da quantidade de água e da temperatura do ar. Sendo satisfeitas essas condições, o plantio é recomendado.

Por esses critérios é então conhecida a área em que se pode, potencialmente, plantar qualquer cultura no território nacional, com riscos determinados. A pergunta que se faz é: o que aconteceria com o atual zoneamento agrícola e conseqüentemente com a agricultura, havendo aumento de temperatura nos patamares indicados pelo IPCC<sup>26</sup>, com um mínimo de 1,4°C e um máximo de 5,8°C na temperatura média do globo em 100 anos?

<sup>26</sup> IPCC. *Op. cit.*

A primeira conseqüência é o aumento nas taxas evapotranspirativas, promovendo maior consumo de água das plantas e, portanto, esvaziando o reservatório “solo” mais rapidamente. A segunda conseqüência seria a redução do ciclo das culturas, principalmente nas plantas C<sub>4</sub>, tornando-as mais eficientes em termos de assimilação e transformação energética, porém mais sensíveis à deficiência hídrica. A análise dos impactos do aumento da temperatura e da chuva na agricultura deve, então, ser feita no tempo e no espaço.

Tomando como exemplo o caso da soja no Brasil, e considerando que a maioria dos plantios é feita entre os meses de outubro e dezembro, os impactos esperados para o aumento de 1,4 e 5,8°C são consideráveis. O exemplo da figura 4 refere-se ao plantio no mês de novembro.

Nesse mês, considerado o de menor risco para o plantio das culturas de sequeiro, há uma redução média de 60% na área favorável para cultivo da soja. Mantido o calendário agrícola atual, a região sul do Brasil sofreria o maior impacto, com forte redução de produção. Por outro lado, havendo aumento da temperatura, o calendário de plantio nas altas latitudes tenderá a se deslocar, sendo possível o plantio de soja e milho até o final do mês de janeiro com colheita em junho. No caso das regiões com baixas latitudes, haverá redução de área, sem opções de deslocamento de calendário.

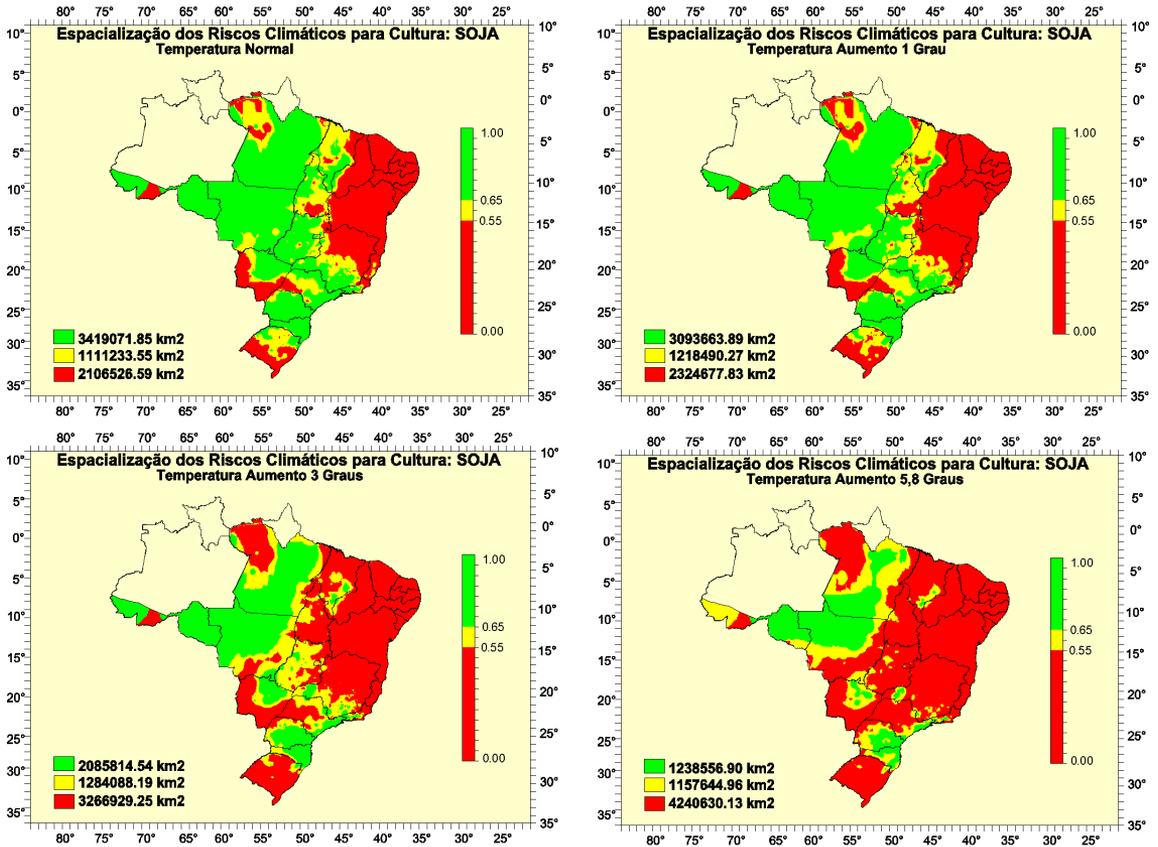


Figura 4: Impacto do aumento da temperatura nas áreas potencialmente favoráveis (verde) para cultivo de soja no Brasil. Quanto mais próximo de 1,0 menor o risco de plantio.

A mesma análise para os três cenários é feita para várias culturas indicando redução na produção e na área plantada.

No caso específico do café arábica, são considerados os riscos de geadas, de abortamento de flores (sob temperatura maior que 34°C) e de deficiência hídrica. A elevação na temperatura reduziria o risco de geadas, mas cresceriam os riscos de abortamento de flores. Quanto maior a temperatura, maior será o deslocamento da cultura do café em direção ao sul do país. Essas mesmas observações são válidas para a cultura de citrus. Considerando os resultados do primeiro cenário, com aumento de 1,0°C e redução das áreas cultivadas com café nos Estados de Minas Gerais, Paraná e São Paulo, o impacto econômico previsto é estimado em US\$ 375 milhões por ano, equivalente à redução de 4 milhões de saca de café/ano.

Tabela 2: Áreas atuais e futuras de cultivo de grãos no Brasil de acordo com o acréscimo das temperatura previsto pelo IPCC e conseqüente redução das produções.

Cultura	Potencial atual área Km <sup>2</sup>	Área após T+1°C Km <sup>2</sup>	Área após T+3°C Km <sup>2</sup>	Área após T+5,8°C Km <sup>2</sup>	Redução da produção	Produção atual e futura
Arroz	4.755.204	4.560.347	3.875.734	2.792.430	41%	13 milhões/tons. 7,7 milhões/tons.
Feijão	5.141.047	4.992.366	4.575.250	3.972.723	23%	2,8 milhões/tons. 2,2 milhões/tons.
Soja	3.419.072	3.093.664	2.085.815	1.238.557	64%	60 milhões/tons. 22 milhões/tons.
Milho	5.169.034	5.079.497	4.808.833	4.421.934	15%	39 milhões/tons. 33 milhões/tons.
Café Arábica	904.971	698.720	381.414	73.915	92%	30 milhões/sacas 2,4 milhões/sacas
População Brasil	165 milhões em 2000	190 milhões em 2020	300 milhões em 2050	400 milhões em 2100		

No caso do milho, há uma possibilidade de redução de produção de 39 para 33 milhões de toneladas, com impacto de US\$ 900 milhões ao ano. Porém, o maior impacto seria na produção da soja, com redução de 38 milhões de toneladas/ano, o que significaria uma perda de cerca de US\$ 8.5 bilhões/ano, aos preços atuais.

As considerações feitas a partir de simulações de riscos climáticos de longo prazo, levam em conta os principais efeitos com possibilidade de mensuração e com reflexos na agricultura, ou seja, aumento da temperatura, com observações mais freqüentes de dias quentes e ondas de calor; aumento na temperatura mínima, e observação de eventos de precipitação mais intensos.

## Conclusões

A análise dos cenários foi feita com intenção de identificar a vulnerabilidade multidimensional do sistema agrícola brasileiro e sua fragilidade diante das mudanças climáticas. É fundamental construir a capacidade de adaptação à mudança global do clima utilizando-se “novos princípios”, que basicamente seriam: a adoção do princípio da precaução, evitando-se risco de dano sério e irreversível, mesmo na ausência de completa certeza científica; a adoção do desenvolvimento econômico sustentável, e, no caso brasileiro, adoção do comércio de emissões de carbono como base de discussões comerciais.

### Bibliografia consultada:

- ASSAD, E. D. *Chuva nos Cerrados*. Análise e espacialização. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 424 p.
- ASSAD, E. D. Novas técnicas de zoneamento agrícola no Brasil. In: *I Simpósio internacional de Securidade e Zoneamento Agrícola do Mercosul*. Brasília, 5 e 6 de março de 1998. p. 29-31.

**Eduardo Delgado Assad** é agrometeorologista, doutor em Hidrologia e Matemática e pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, São Paulo.

[assad@cnptia.embrapa.br](mailto:assad@cnptia.embrapa.br)

**Fábio Marin** é agrometeorologista, doutor em Agronomia e pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, São Paulo.

[marin@cnptia.embrapa.br](mailto:marin@cnptia.embrapa.br)

**Hilton Silveira Pinto** é agrometeorologista, doutor em Agronomia e pesquisador do Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura (Cepagri) da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

[hilton@cpa.unicamp.br](mailto:hilton@cpa.unicamp.br)

**Jurandir Zullo Junior** é agrometeorologista, doutor em Engenharia Elétrica e pesquisador do Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura (Cepagri) da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

[jurandir@cpa.unicamp.br](mailto:jurandir@cpa.unicamp.br)

O potencial de absorção de gases de efeito estufa por comunidades agrícolas é grande e, no Brasil, esses sistemas têm escala, como por exemplo, as técnicas de plantio direto, reflorestamentos e a integração pecuária-lavoura. Somente o incentivo à adoção dessas práticas de maneira integrada, permitirá a absorção de 10,55 milhões de toneladas de carbono ao ano e um crescimento da produção agrícola em pelo menos 50%, sem haver necessidade de expansão de área. Essas medidas devem ser incentivadas para minimizar, no curto e médio prazos, o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Mantido o cenário atual, a adaptabilidade das atuais culturas deve ser perseguida nos seguintes aspectos: tolerância ao calor, para todo o Brasil; tolerância à seca, para as Regiões Sul e Nordeste, e manejo de solos buscando aumentar a capacidade de conservação de água. No caso específico de adaptação aos estresses ambientais, tolerância à seca e ao calor, o país tem ainda uma situação privilegiada, que é sua grande biodiversidade. Certamente na biodiversidade dos Cerrados e da Amazônia é que se encontram os genes necessários que permitirão a adaptação das atuais culturas exóticas às mudanças climáticas, mantendo-se o mesmo nível de produção agrícola.