

# **Cenários de Mudanças Climáticas para o Semiárido brasileiro**



## **Capítulo 5**

**Francislene Angelotti  
Vanderlise Giongo Petrere  
Antonio Heriberto de C. Teixeira  
Iêdo Bezerra Sá  
Magna Soelma B. de Moura**



## Introdução

O aquecimento global, provocado pelo aumento da concentração dos gases do efeito estufa, é, hoje, um dos maiores desafios da pesquisa agropecuária. Atualmente, busca-se o entendimento de como será o impacto da elevação da temperatura sobre atividades agrícolas, diversidade ambiental e segurança alimentar para o desenvolvimento de ações de mitigação e adaptação, principalmente no que se refere à conservação dos recursos naturais, produtividade agrícola e qualidade de vida.

O dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso são os principais gases de efeito estufa. Entretanto, atenção maior tem sido dada ao dióxido de carbono, vez que o volume de suas emissões para a atmosfera representa em torno de 60% do total das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nos últimos 250 anos, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentou de 290 para 379 ppm (partes por milhão), com previsão de chegar a 580 ppm em 2100, o que seria o dobro da concentração existente na atmosfera antes da industrialização (IPCC, 2007).

Os aumentos globais da concentração de dióxido de carbono se devem, principalmente, ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. Já os aumentos da concentração de metano e de óxido nitroso são devidos, principalmente, à agricultura (IPCC, 2007). De acordo com o Inventário Brasileiro sobre os gases do efeito estufa, as queimadas e desmatamentos no Brasil respondem por 75% das emissões de CO<sub>2</sub>, enquanto a utilização de combustíveis pela indústria e transporte responde por 25% (MMA, 2008).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) concluiu no seu Quarto Relatório (IPCC, 2007), que o aumento da concentração dos GEE na atmosfera pode elevar a temperatura média do ar no planeta entre 1,8 e 6,4°C nos próximos 100 anos. Observou-se que durante o século 20 a temperatura média da atmosfera aumentou em torno de 0,6°C ± 0,2°C. A década de 1990 foi a mais quente desde que as primeiras aferições foram efetuadas no final do século 19.

A previsão de impactos econômicos e socioambientais decorrentes do aquecimento global indica que todas as regiões do mundo serão afetadas (IPCC, 2007). Caso não sejam tomadas medidas necessárias para reverter o processo

atualmente em curso, o futuro do planeta pode estar ameaçado. O aumento da temperatura do ar nos últimos anos, juntamente com o derretimento de geleiras nos pólos e a elevação do nível do mar são algumas das conseqüências do aquecimento global.

As primeiras projeções de clima para o Brasil usando modelos regionais sugerem a possibilidade de eventos climáticos extremos mais frequentes. Secas ocasionais e secas severas de longos períodos podem ser causadas ou agravadas pela influência humana sobre o meio ambiente (redução da cobertura vegetal, mudança de albedo, mudanças climáticas locais, efeito estufa, etc.). Os cenários futuros utilizando estes modelos devem ser abordados na pesquisa para estratégias de mitigação e adaptação aos impactos das mudanças climáticas.

Diante do grande desafio exposto, a Embrapa propôs, em janeiro de 2007, a criação de uma rede de pesquisa visando analisar de maneira integrada os impactos das mudanças climáticas globais na agricultura brasileira, por meio de modelagem matemática e elaboração de propostas de mitigação e adaptação, como ferramenta de suporte à decisão. A esta rede, foi dado o nome de Plataforma em Mudanças Climáticas (Figura 1), na qual estão inseridos diversos pesquisadores da região semiárida.

As ações de pesquisa da Plataforma contemplam o monitoramento dos indicadores das mudanças climáticas globais, atividades de modelagem matemática dos sistemas produtivos e simulação de cenários, permitindo uma melhor compreensão dos efeitos das alterações climáticas que já possam ser detectadas para o Semiárido brasileiro. Estão sendo realizadas análises de tendência da temperatura, precipitação e eventos climáticos extremos e o monitoramento de sua evolução ao longo dos próximos anos. Embora essas análises dependam de séries longas de dados, com auxílio das informações disponíveis no sistema Agritempo ([www.agritempo.gov.br](http://www.agritempo.gov.br)) e de outros bancos de dados meteorológicos, será possível selecionar estações meteorológicas com número de anos suficiente para serem representativas da região semiárida. Um ponto essencial para estudos futuros é a integração entre diversas entidades para a concentração e a geração de conhecimento sobre os efeitos das mudanças climáticas no Semiárido brasileiro. A geração de cenários futuros servirá para avaliar o impacto das mudanças no desenvolvimento das culturas ou animais,

na ocorrência de pragas, doenças, microorganismos do solo, etc. Estes estudos poderão propiciar a análise de medidas de mitigação ou adaptação, dando suporte na tomada de decisões.

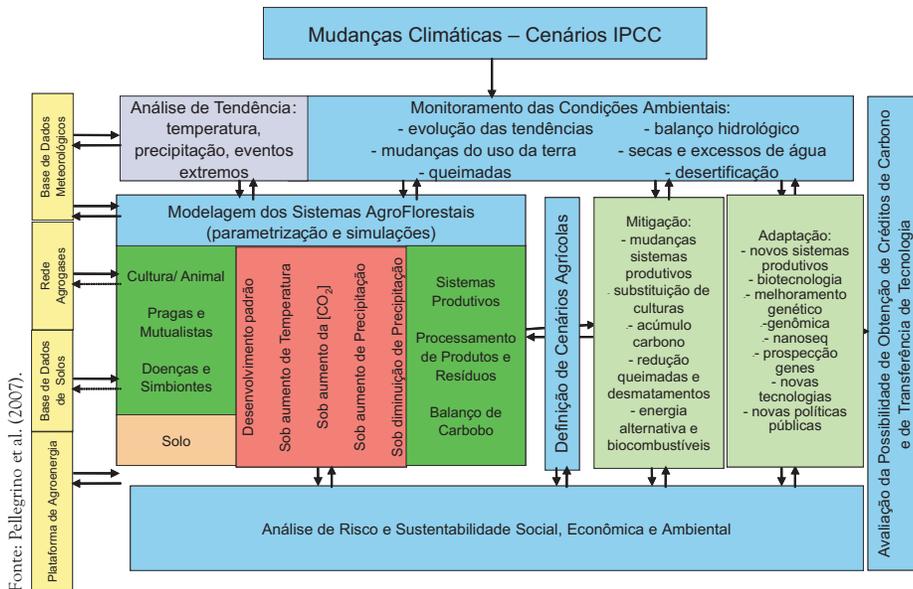


Figura 1. Representação esquemática da Plataforma em Mudanças Climáticas da Embrapa.

## Monitoramento das condições climáticas

O monitoramento climático é essencial para a geração contínua de dados agrometeorológicos e a composição de séries históricas utilizadas nos estudos do clima passado, presente e futuro. Para o monitoramento das condições climáticas na região semiárida do Brasil, a Embrapa Semiárido instalou uma rede com sete estações agrometeorológicas, das quais, duas contam com registros de mais de trinta anos. As estações agrometeorológicas estão equipadas com sensores (convencionais e/ou automáticos) para monitorar a temperatura e a umidade relativa do ar, a velocidade e a direção do vento, a radiação solar incidente, o número de horas de brilho solar, a evaporação do tanque Classe A e a precipitação. Além disso, a Embrapa Semiárido, em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), realiza o monitoramento dos

componentes micrometeorológicos em uma área de caatinga nativa desde o ano de 2003. Para isso, foi instalada uma torre micrometeorológica de 9,0 m de altura, equipada com sensores automáticos para realizar medidas dos elementos do tempo e clima e parâmetros de solo (Figura 2). Os dados medidos são organizados no INPE e disponibilizados para realização de pesquisas com foco da caatinga. Assim, esses dados estão sendo usados para desenvolvimento de vários trabalhos sobre o Bioma Caatinga, principalmente no que se refere à calibração de modelos atmosféricos que usam dados de albedo da superfície. Além disso, a parceria com o INPE permitiu a obtenção de informações essenciais sobre emissão e consumo de gás carbônico deste importante bioma brasileiro.



Fotos: Magna Soelma Beserra de Moura.

**Figura 2.** Torre micrometeorológica e sensores para medições de elementos do tempo e clima em área de caatinga no Semiárido brasileiro.

Dando continuidade a esses estudos, a Embrapa Semiárido participa de um novo projeto, em parceria com o Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (LAMEPE), do Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP) e INPE. Esse estudo pretende reinstalar esta torre micrometeorológica em uma nova área de caatinga mais representativa dos padrões de vegetação nativa, e equipá-la com outros sensores capazes de realizar amostragens de CO<sub>2</sub> do ar em perfil sobre a superfície e obter informações sobre a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pela vegetação. Da mesma forma, também será monitorada uma área de caatinga degradada no município de Araripina-PE. Com isso, será possível obter importantes informações sobre os componentes do balanço de radiação, de energia e de CO<sub>2</sub>, perfil de CO<sub>2</sub>, temperatura do ar e do solo, calor armazenado no solo e umidade do solo da caatinga sob diferentes padrões de conservação.

### **Tendências climáticas no Semiárido brasileiro**

Toda a sociedade da região semiárida brasileira pode ser afetada pelas mudanças climáticas. Como os parâmetros que compõem o clima são descritos por meio de parâmetros estatísticos, séries de dados com períodos mínimos de trinta anos são usadas nas análises de tendências, utilizando-se de regressões lineares dos parâmetros climáticos com os anos.

Os riscos associados com o aquecimento e outras conseqüências das mudanças climáticas, incluindo eventos extremos, são pouco conhecidos ou não considerados propriamente no planejamento socioeconômico. Para as adaptações às novas condições serem efetivas, tanto o setor público, como o setor privado, precisam de informações sobre as condições atuais e históricas dos parâmetros climáticos e da variabilidade destes parâmetros no tempo, para projeções das condições futuras.

Evidências indicam que as atividades humanas estão causando mudanças no clima em escalas locais e mundiais, particularmente resultando em aumento das temperaturas da superfície e do ar (IPCC, 2007). Estas elevações de temperatura na região semiárida brasileira podem levar a um aumento das deficiências hídricas como uma conseqüência de maiores taxas evaporativas em conjunto com baixa quantidade pluviométrica.

Diante deste contexto de mudança climática e da necessidade de informações do comportamento de parâmetros climáticos como condição básica para adaptação às novas condições na região semiárida do Nordeste do Brasil, analisou-se a tendência dos parâmetros climáticos de duas estações meteorológicas representativas em Juazeiro, BA (09°24' S; 40°26' W) e em Petrolina, PE (09°09' S; 40°22' W), localizadas, respectivamente, às margens direita e esquerda do Rio São Francisco, com ênfase nas alterações das deficiências hídricas, as quais se destacam como maior problema climático na região.

Para as análises das tendências dos parâmetros climáticos envolvidos neste processo, foram feitas análises da evaporação, radiação solar global, insolação, temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e dos elementos do balanço hídrico climático individualmente nas duas localidades de referências situadas nas margens esquerda e direita do Rio São Francisco (Figura 3).

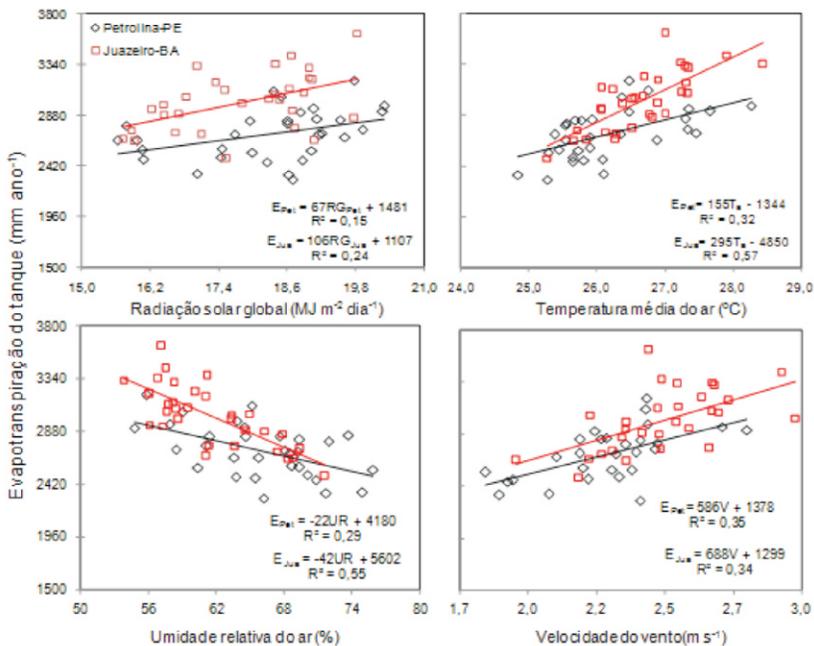
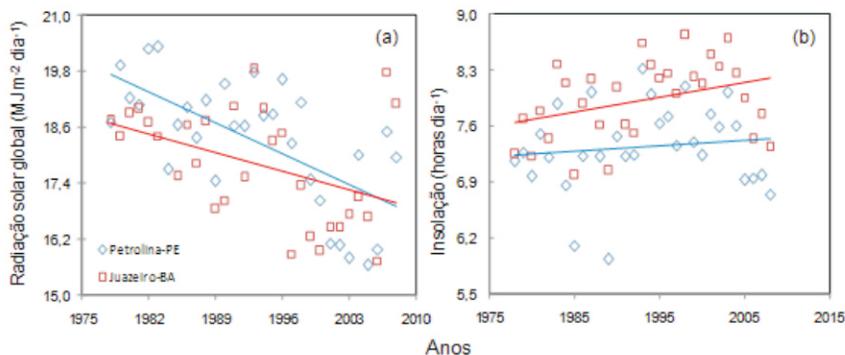


Figura 3. Relação da evaporação do tanque “Classe A” com os parâmetros meteorológicos representativos da demanda atmosférica para o período de 1978-2008 em Petrolina, PE.

Observando-se a tangente das equações das retas que relacionam a evaporação com os diferentes parâmetros influenciadores, percebe-se que nas regiões referidas, destacam-se a temperatura e a umidade relativa do ar. Em Juazeiro, BA, são observadas maiores inclinações de todos estes parâmetros do que em Petrolina-PE, resultado influenciado pelo transporte de ar seco para a primeira localidade e de ar úmido para a segunda, devido ao posicionamento com relação ao rio São Francisco e à direção predominante sudeste do vento.

### Radiação solar global e insolação

Na Figura 4 observa-se o comportamento ao longo dos anos da radiação solar global incidente e da insolação em Petrolina, PE e Juazeiro, BA.



**Figura 4.** Comportamento da radiação solar global e da insolação no período de 1978/2008 nas estações meteorológicas de Petrolina, PE e de Juazeiro, BA.

De acordo com a Figura 4, há uma redução na radiação solar global de  $0,09 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$  em Petrolina, PE e de  $0,06 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$  em Juazeiro, BA. Para saber se esta redução teria sido causada pelo aumento de nebulosidade na região, o comportamento da insolação também foi analisado. De acordo com este comportamento (Figura 4), uma redução deste último parâmetro não aconteceu, constatando-se uma tendência de aumento de  $0,001$  e  $0,012$  hora. $\text{dia}^{-1}$ , respectivamente, em Petrolina, PE e Juazeiro, BA, o que descarta a possibilidade de a consequência da redução da radiação ter sido um aumento da nebulosidade na região.

## Temperatura do ar

As análises das tendências da temperatura do ar ao longo do período de 1978 a 2008 foram realizadas para os valores extremos (temperatura do ar máxima e mínima) e para a média (Figura 5).

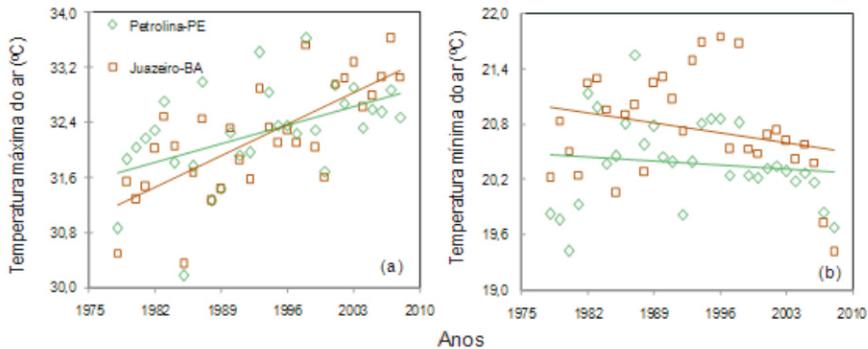


Figura 5. Tendências da temperatura máxima e mínima do ar no período de 1978/2008 nas estações meteorológicas de Petrolina-PE e de Juazeiro-BA.

Na Figura 5 percebe-se um aumento da temperatura máxima do ar ao longo do período analisado, com tendências de 0,04 e 0,07°C para Petrolina-PE e Juazeiro-BA. Com relação à temperatura mínima do ar, constata-se uma redução ao longo dos anos com taxas de 0,01 e 0,02°C, respectivamente.

No caso da temperatura média do ar, esta pode ser calculada de duas maneiras diferentes. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, os valores médios diários são obtidos por meio da seguinte expressão:

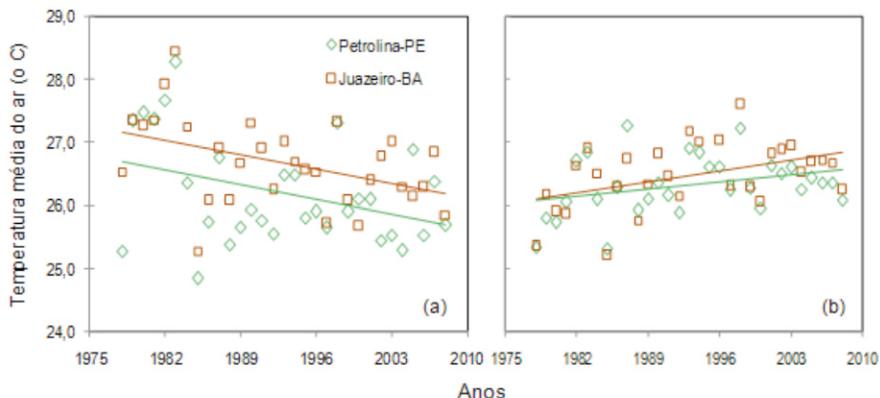
$$T_a = \frac{T_{12} + 2T_{24} + T_{\max} + T_{\min}}{5} \quad (1)$$

onde:

Ta é a temperatura média diária (°C); T12 é a temperatura observada às 12:00 horas TMG (°C); T24 é a temperatura observada à 0 hora TMG (°C); Tmax é a temperatura máxima diária (°C) e Tmin é a temperatura mínima diária (°C).

Por outro lado, alguns registros de temperatura média diária disponíveis referem-se à média aritmética entre Tmax e Tmin. A Figura 6 mostra as

diferentes tendências dependendo do método usado para a obtenção dos valores médios diários de temperatura do ar.



**Figura 6.** Tendências da temperatura média do ar no período de 1978/2008 nas estações meteorológicas de Petrolina, PE e de Juazeiro, BA. (a) aplicando-se a equação 1; (b) usando-se a média aritmética das temperaturas máximas e mínimas do ar.

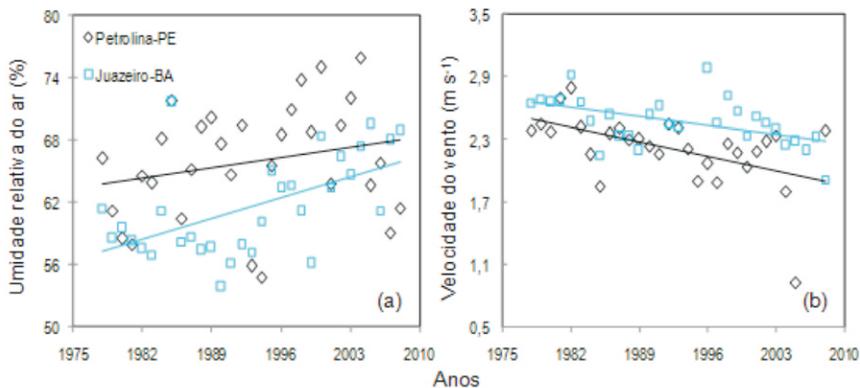
Devido a um peso maior para a temperatura da noite ( $T_{24}$ ) e à inclusão dos valores de 12 TMG na equação (1), a tendência é de redução dos valores médios diários ao longo dos anos (Figura 6), enquanto que a situação inversa de aumento destes valores ocorre apenas com a utilização de temperaturas máximas e mínimas do ar (Figura 5), o que torna importante o conhecimento do método de obtenção nas análises das tendências climáticas. No primeiro método de cálculo, há uma redução de  $0,03^{\circ}\text{C}$  tanto em Petrolina, PE como em Juazeiro-BA, sendo que na segunda localidade, a advecção de ar seco da caatinga promove valores mais elevados de temperatura do ar. No segundo método de cálculo, observam-se aumentos de  $0,01$  e  $0,02$  o C para a primeira e a segunda localidade, respectivamente. A maior inclinação para Juazeiro, BA é decorrente de uma tendência maior na elevação da temperatura máxima (Figura 5).

Visando estudar mais detalhadamente a tendência das séries de temperaturas do ar de cada mês nas estações de Petrolina e Juazeiro, foram também realizadas as seguintes análises dos dados históricos para o período de 1965 a 2007: avaliou-se a tendência das temperaturas máxima, mínima e média. A temperatura média do ar foi calculada com os valores de temperatura máxima +

temperatura mínima divididos por dois. Todas as análises e séries confirmaram a existência de tendência positiva para todos os meses, trimestres e anos, porém com intensidades variáveis, sendo mais intensas em abril e maio e menos intensas em agosto e setembro (ANGELLOTTI, et al., 2007).

## Umidade relativa do ar e velocidade do vento

A umidade do ar e a velocidade do vento também influenciam fortemente na quantidade do vapor d'água que é transferida para a atmosfera, e o comportamento destes parâmetros também é relevante para a avaliação das disponibilidades hídricas no futuro. Os comportamentos médios diários ano a ano no período de 1978 a 2008 são apresentados na Figura 7.



**Figura 7.** Tendências da umidade relativa do ar e da velocidade do vento a 2 m de altura no período de 1978/2008 nas estações meteorológicas de Petrolina-PE e de Juazeiro-BA.

Elevações na umidade relativa do ar e reduções na velocidade do vento ao longo dos anos, como apresentadas na Figura 7, reduzem os efeitos da elevação da temperatura do ar no aumento da evaporação ao longo dos anos.

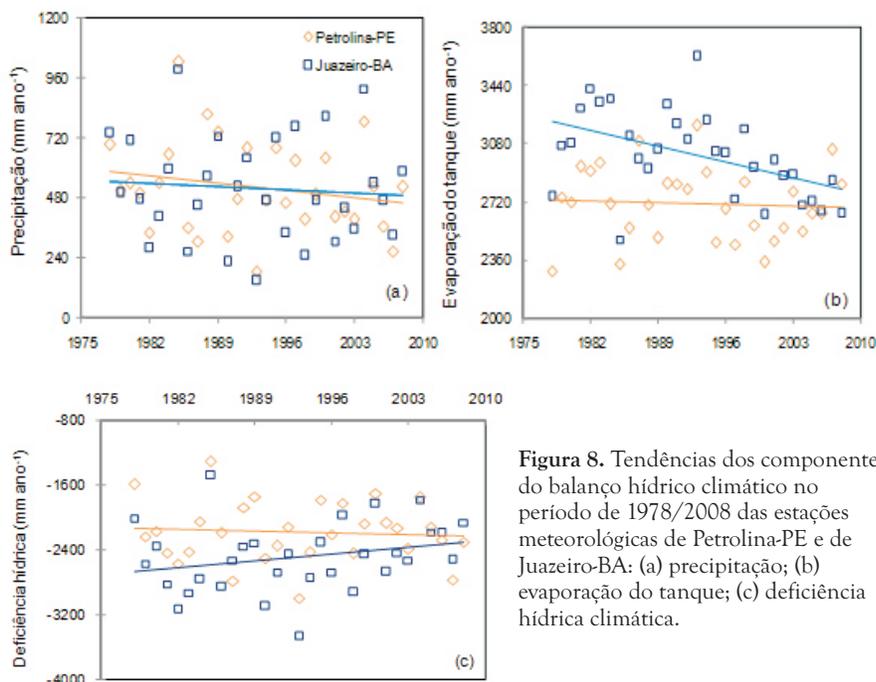
As taxas de aumentos na umidade relativa do ar, evidenciadas na Figura 7a, foram 0,01 e 0,29% ano<sup>-1</sup> para Petrolina-PE e Juazeiro-BA, respectivamente. A maior tendência de aumento de umidade na segunda localidade está relacionada com a dispersão maior da área irrigada durante o período na região semiárida do Estado da Bahia. Já no caso do comportamento da velocidade do vento, observam-se reduções de 0,02 e 0,01 m/s.dia<sup>-1</sup> nas respectivas localidades,

o que, também, pode estar relacionado com o aumento de áreas com fruteiras irrigadas pelo aumento da rugosidade do terreno próximo das estações.

Como não é constatado um aumento da nebulosidade nas localidades referências pelo comportamento da insolação (Figura 4), o aumento da concentração de vapor d'água ao longo dos anos pode ser a causa da redução da radiação solar incidente (Figura 4) pela absorção no espectro da radiação solar.

### Precipitação, evaporação e deficiência hídrica.

Para se ter uma ideia das disponibilidades hídricas no futuro na região semiárida do Brasil, deve-se considerar as tendências dos fluxos hídricos de entrada e de saída. A precipitação representa a fonte natural da água na superfície, enquanto que a saída pode ser representada pela evaporação. A diferença entre estas variáveis hídricas fornece a deficiência hídrica climática na escala de tempo considerada. A Figura 8 apresenta as tendências dos valores anuais destes parâmetros hídricos em duas localidades da região semiárida do Nordeste do Brasil.



**Figura 8.** Tendências dos componentes do balanço hídrico climático no período de 1978/2008 das estações meteorológicas de Petrolina-PE e de Juazeiro-BA: (a) precipitação; (b) evaporação do tanque; (c) deficiência hídrica climática.

Com relação à precipitação (Figura 8), há uma tendência de redução de 4 e de 2 mm.ano<sup>-1</sup> em Petrolina, PE e em Juazeiro, BA, respectivamente. É importante salientar que no Semiárido há grande variabilidade espacial da precipitação, e que embora as duas estações sejam próximas, pode-se observar diferenças nos valores de chuva ao longo dos anos analisados. Por outro lado, uma pequena redução na evaporação, de 1 mm.ano<sup>-1</sup>, é constatada para a primeira localidade, enquanto que para a segunda, esta foi de 14 mm.ano<sup>-1</sup> (Figura 7). Estes valores medidos no tanque Classe A recebem influência da disponibilidade de energia, velocidade do vento e demanda atmosférica (umidade do ar), sendo que este último apresenta-se com maior influência das condições locais, com menor contribuição de vapor d'água das culturas irrigadas e sujeita à advecção de calor do vento de sudeste, que se desloca sobre uma grande área de caatinga. Como resultado da contabilidade hídrica, a tendência das deficiências hídricas foi obtida (Figura 8) em função da diferença entre a precipitação e a evaporação do tanque Classe A. Em Petrolina, PE, um aumento de apenas 3 mm.ano<sup>-1</sup> foi observado, enquanto que, ao contrário, em Juazeiro-BA houve uma redução destas deficiências de em torno 12 mm.ano<sup>-1</sup>, o que está relacionado a um maior aumento da concentração de vapor d'água na baixa atmosfera, devido a um rápido aumento da área irrigada sobre a caatinga, o que promove uma redução na evaporação (Figura 3). Salienta-se que esses valores anuais de tendência são muito pequenos quando se trata de deficiência hídrica em ambientes semiáridos, representando, muitas vezes, o valor equivalente a evaporação de um dia.

### **Cenários climáticos futuros**

Segundo o relatório do IPCC (2007), no Brasil, a região semiárida será uma das mais afetadas pelas mudanças climáticas globais. Os impactos devido ao aumento de temperatura e anomalias na precipitação poderão afetar a produção das culturas, os recursos hídricos, o manejo de irrigação, a biodiversidade, o Bioma Caatinga e acelerar o processo de desertificação. Principalmente no que se refere às atividades agrícolas e ao manejo dos recursos hídricos, o uso de dados gerados com melhor resolução espacial, ou seja, regionalizados, poderá resultar em diferenças significativas nos impactos esperados do aquecimento, quando comparados com dados obtidos a partir de

modelos globais. Assim, pesquisadores do INPE têm utilizado modelos climáticos regionais para projeções de clima futuro usando as saídas do IPCC AR4 para cenários futuros de emissão de gases do efeito estufa. Estes cenários climáticos são baseados em diferentes projeções futuras de emissões de gases do efeito estufa e suas interações com o aumento populacional e o desenvolvimento socioeconômico e são classificados em A1, A2, B1 e B2 (Quadro 1).

**Quadro 1.** Cenários Climáticos do IPCC.

**Cenário A1:** descreve um futuro de crescimento econômico muito rápido, onde a globalização é dominante, com a introdução de tecnologias novas e mais eficientes. Há três cenários: A1, A1F (máximo uso de combustível fóssil) e A1T (mínimo uso de combustível fóssil);

**Cenário A2:** descreve um mundo heterogêneo onde a regionalização é dominante, crescimento populacional alto e menos preocupação com desenvolvimento rápido;

**Cenário B1:** descreve uma mudança rápida na estrutura econômica mundial, com a introdução de tecnologias limpas. A ênfase está em soluções globais e sustentabilidade social e ambiental;

**Cenário B2:** descreve um mundo em que a ênfase está nas soluções locais, sustentabilidade econômica, social e ambiental, com iniciativas comunitárias e inovação social em lugar de inovações globais.

Fonte: IPCC (2007).

### Cenário A2 - Temperatura média

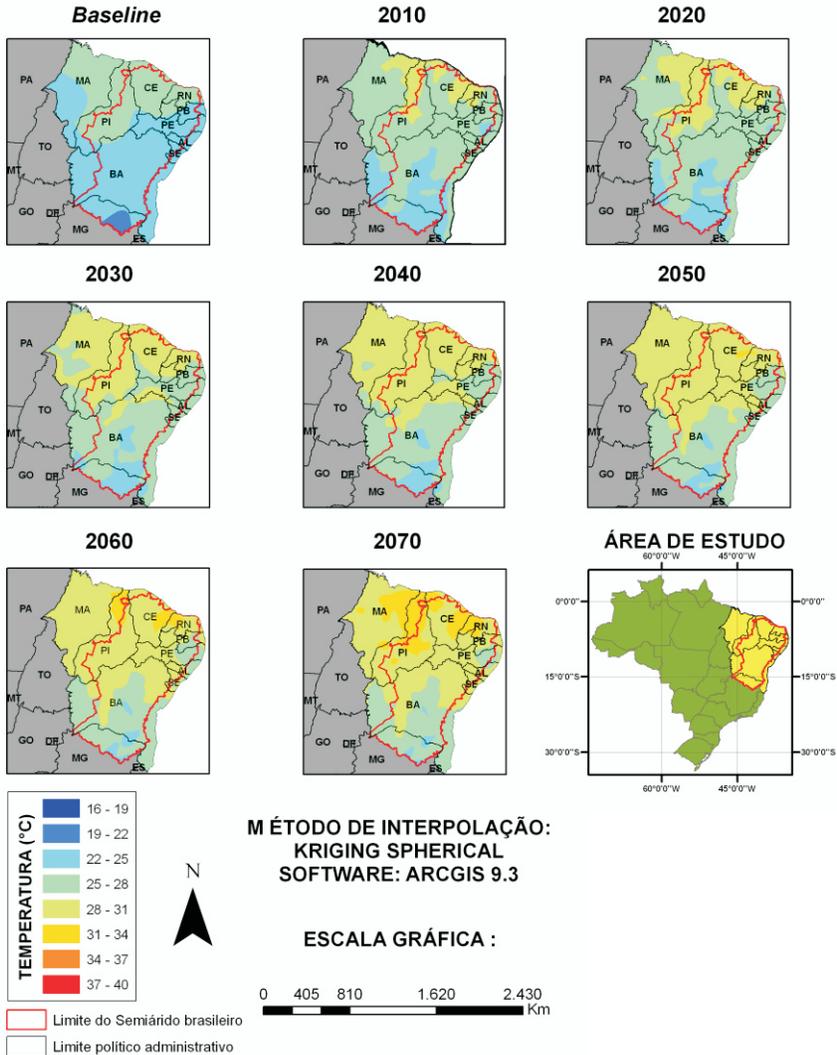


Figura 9. Mapa com as projeções anuais (valores absolutos) da temperatura do ar média anual, em °C, para o cenário A2 do IPCC. Mapas elaborados para os períodos centrados em 2010, 2020, 2030, 2040, 2050, 2060 e 2070 relativos ao *baseline* (1961-1990) gerados utilizando o sistema PRECIS.

**Cenário B2 - Temperatura média**

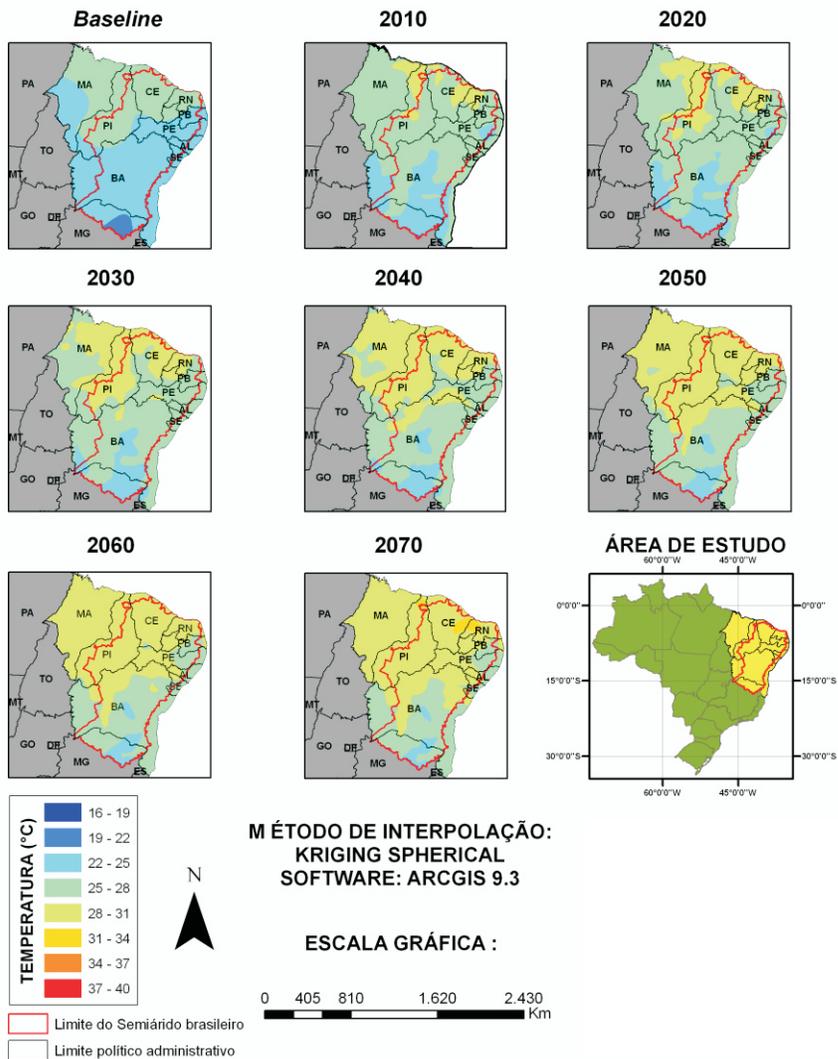


Figura 10. Mapa com as projeções anuais (valores absolutos) da temperatura do ar média anual, em °C, para o cenário B2 do IPCC. Mapas elaborados para os períodos centrados em 2010, 2020, 2030, 2040, 2050, 2060 e 2070 relativos ao *baseline* (1961-1990) gerados utilizando o sistema PRECIS.

Tendo em vista esse problema, pesquisadores do INPE têm desenvolvido modelos regionais para cenários futuros, com maior resolução, para o Brasil. Estes cenários climáticos são baseados em diferentes projeções futuras de emissões de gases do efeito estufa e suas interações com o aumento populacional e desenvolvimento socioeconômico e são classificados em A1, A2, B1 e B2. Tais modelos indicam que a temperatura do ar poderá aumentar de 1,5 a 2,5°C para o cenário B2 e em até 3,0 ou 5,5°C para o cenário A2, até o final do século 21. Com o aquecimento, haverá aumento na evapotranspiração com conseqüente redução da disponibilidade hídrica (MARENGO, 2006).

Os cenários futuros sinalizam para a tendência de estiagem no Nordeste, apontando para uma maior aridez da região semiárida até final do século 21. O balanço hídrico realizado por meio de temperatura e precipitação com as médias dos valores dos modelos do IPCC (2007) sugere redução dos índices pluviométricos na estação chuvosa e maiores deficiências de umidade do solo ao longo do ano (MARENGO, 2006).

As elevações de temperatura do ar entre 1,5°C e 5,0°C, como previstos nos modelos propostos por Marengo (2006), aumentariam a deficiência hídrica no Semiárido, afetando consideravelmente o consumo de água humano e animal, bem como as atividades dependentes de chuva. Por outro lado, a ocorrência de eventos extremos pode resultar em maiores incidências de chuvas torrenciais e enchentes, promovendo severos impactos socioambientais, com aumento na frequência de dias secos consecutivos, ondas de calor e veranicos.

No cenário pessimista de aumento de temperatura do ar (+ 5,0°C), o Semiárido brasileiro poderá se tornar uma região árida (MARENGO, 2006). Salazar et al. (2007) confirmam (em maior ou menor grau) um quadro de desertificação do Semiárido brasileiro no período de 2090-2099, o que influenciaria diretamente nas características e distribuição da vegetação.

A variação climática tem grande influência na composição da vegetação natural, na implantação de sistemas agrícolas produtivos e mesmo nas características socioeconômicas de uma região. As projeções de cenários climáticos do IPCC apresentam aumento generalizado da temperatura, porém, com intensidades variáveis segundo a região ou época do ano. O conhecimento mais detalhado

das tendências climáticas locais, ou seja, o “downscaling” ou aumento da resolução até a escala da fazenda ou fragmento de vegetação nativa é essencial para o seu correto manejo e adaptação às novas condições.

Assim, foram realizados estudos de cenários futuros para temperatura no polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA, por meio de séries de dados históricos de temperaturas máxima, mínima e média do ar, no período de 1966 a 2007. O estudo foi realizado com o emprego de redes neurais artificiais. Pelos resultados obtidos, confirma-se o aumento de temperatura no pólo, ficando evidente que o aumento é variável nos diferentes meses do ano (Figura 9). Para temperatura máxima, foram observados aumentos de  $0,66^{\circ}\text{C}$  no mês de janeiro e aumento de até  $5,57^{\circ}\text{C}$  no mês de agosto. Quanto à temperatura mínima, não foi observado aumento nos meses de dezembro a fevereiro, sendo o maior aumento observado em setembro, com aproximadamente  $2,36^{\circ}\text{C}$ .

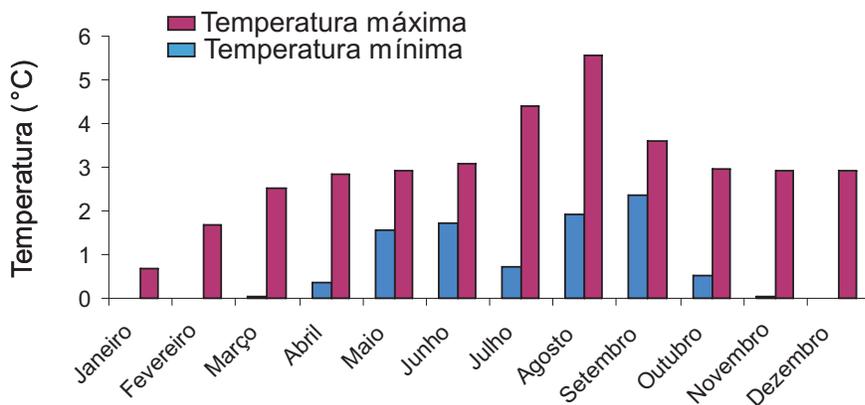


Figura 9. Aumento da temperatura máxima e mínima do ar no período de 1960 a 2100.

Elaborado por Francislene Angelotti.

## Cenários agrícolas futuros

Há alguns anos a Embrapa Semiárido e instituições parceiras têm desenvolvido trabalhos sobre risco climático para culturas como uva, manga, palma forrageira, milho e feijão consorciados, entre outros cultivos. A partir destes modelos, é possível fazer o zoneamento de riscos climáticos visando recomendações para o crédito agrícola e o seguro rural, com ênfase para culturas e sistemas de produção típicos de produtores de base familiar, culturas bioenergéticas (cana-de-açúcar) e sistemas de integração lavoura-pecuária.

Sabe-se que os sistemas de cultivo, de maneira geral, estão sujeitos a uma série de fatores ambientais que, direta ou indiretamente, podem comprometer o desenvolvimento das plantas. Assim, os cenários climáticos futuros devem ser vistos como matéria-prima para estudos mais aprofundados sobre os impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura. A partir destes estudos, poderá ser realizada a análise, sendo adotadas medidas de mitigação ou adaptação, para suporte na tomada de decisões.

A temperatura do ar é um elemento bastante influente no desenvolvimento de todas as espécies vegetais. Desta maneira, as mudanças climáticas poderão provocar um aumento, diminuição ou até mesmo o deslocamento das áreas produtoras para regiões com condições climáticas favoráveis. Em virtude dessa problemática, pesquisadores da Embrapa Informática Agropecuária, da UNICAMP e do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do INPE (CPTEC/INPE) analisaram os impactos do aquecimento global sobre nove produtos agrícolas: cana-de-açúcar, soja, milho, café, algodão, arroz, feijão, mandioca e soja, até 2070. Este estudo revelou que se não forem adotadas medidas de mitigação e adaptação, poderá ocorrer uma perda significativa na produção de até R\$14 bilhões até 2070, em um cenário mais otimista de aumento de temperatura - B2 (Tabela 1), além do deslocamento de culturas de uma região para outra. Este estudo aponta que na região Nordeste, haverá uma queda significativa na produção de mandioca (DECONTO, 2008). Dessa maneira, ressalta-se a importância de avaliações do efeito das alterações climáticas sobre o desenvolvimento das culturas, vez que, dependendo da região, o cultivo poderá ser comprometido, ocorrendo uma modificação na geografia agrícola.

**Tabela 1.** Variação do valor da produção no cenário B2, em comparação com valores atuais do IBGE, ano base 2006.

Cultura	Produção	Valor da	Impacto no	Impacto no	Impacto no
	atual (toneladas)	Produção (R\$1.000)	Valor da Produção 2020 (R\$1.000)	Valor da Produção 2050 (R\$1.000)	Valor da Produção 2070 (R\$1.000)
Algodão	2.898.721	2.831.274	- 521.372	- 401.191	- 444.793
Arroz	11.526.685	4.305.599	- 362.047	- 539.486	- 616.125
Café	2.573.368	9.310.493	-628.458	- 1.705.682	- 2.569.696
Cana	457.245.516	16.969.18 8	29.005.433	24.950.677	24.337.209
Feijão	3.457.744	3.557.632	- 154.757	- 356.119	- 453.598
Mandioca	26.639.013	4.373.156	- 109.766	318.803	726.381
Milho	42.661.677	9.955.266	-1.211.555	- 1.506.231	- 1.732.216
Soja	52.454.640	18.470.711	- 3.993.367	- 5.478.412	- 6.438.890

Fonte: Deconto (2008).

Diante disso, a Embrapa Semiárido participa de duas redes de pesquisa nacionais para o desenvolvimento de estudos de cenários agrícolas futuros e outra de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários. Estes estudos pretendem utilizar cenários climáticos futuros regionalizados gerados e disponibilizados em parceria com o INPE. Até o momento, já foram disponibilizados os cenários de temperaturas do ar máxima e mínima, a partir dos quais foi calculado o valor para uma grade com resolução de 50 por 50 quilômetros, até o ano de 2100. A próxima etapa consistirá em estudar como as culturas (capim-buffel, cana-de-açúcar, manga, uva, palma forrageira, entre outras) responderão, em termos de crescimento e produção, ao aumento de temperatura do ar resultante dos modelos utilizados para gerar os cenários. Para isso, serão gerados, adaptados e/ou validados modelos de base biológica, dentre outros, que terão como parâmetro de entrada informações sobre as culturas e dados climáticos futuros. Dessa forma, será possível modelar a respostas das mesmas diante dos cenários climáticos futuros. Além de usar modelos de crescimento, as plantas serão conduzidas em câmaras de crescimento, em condições artificiais controladas e submetidas a variações de temperatura do ar

e concentração de CO<sub>2</sub>. Estes estudos estão em fase inicial e ainda há muitas áreas do conhecimento necessitando de estudos, tanto os básicos como os avançados, a fim de se conhecer melhor como o clima interage com as espécies cultivadas e nativas do Semiárido brasileiro.

Dentro desta mesma linha, busca-se o entendimento de quais serão os impactos do aumento da concentração do dióxido de carbono e de alterações da temperatura sobre os problemas fitossanitários das culturas. As avaliações desses impactos requerem conhecimentos sobre como esses fatores afetarão a fisiologia das plantas hospedeiras e, conseqüentemente, a interação patógeno e planta hospedeira. Os estudos serão realizados em câmaras de crescimento e também em miniFACE (FACE- Free-Air Carbon Dioxide Enrichment). Os miniFACEs são estruturas adequadas para estudos com aumento do teor de CO<sub>2</sub> devido à possibilidade de conduzir ensaios em todos os estádios de desenvolvimento de plantas, com menor interferência de artefatos, já que as plantas poderão ser cultivadas diretamente no solo.

## **Ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas na região semiárida**

### **Medidas mitigatórias**

As alterações dos Biomas pela ação humana modificam o ciclo do carbono, elemento importante para manter a dinâmica dos ecossistemas, associado às mudanças climáticas e ao tema “seqüestro de carbono”. A intervenção humana no ciclo global do carbono vem ocorrendo há milhares de anos. Entretanto, apenas nos dois últimos séculos o fluxo de carbono antrópico passou a ser comparável ao ciclo de carbono natural. O uso contínuo do solo, pela intensa atividade agropecuária, de maneira geral, reduz o estoque de carbono do solo, bem como aumenta a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Em virtude das questões que envolvem as mudanças climáticas globais, uma série de trabalhos científicos recentes tem objetivado quantificar os reservatórios de carbono em diferentes regiões semiáridas do mundo, bem como determinar os fatores que controlam a sua dinâmica. No Semiárido tropical brasileiro, estão sendo realizados estudos em relação ao balanço de carbono em áreas de vegetação nativa e antropizadas, primeiramente relacionadas com a pecuária e a

agricultura de sequeiro, por serem as atividades dominantes na região e, posteriormente, também pela agricultura irrigada, devido seu alto impacto no sistema produtivo.

Pesquisas direcionadas à determinação do estoque de C no solo ainda são incipientes no Semiárido tropical brasileiro. Tiessen et al. (1998) estimaram o estoque de carbono para solos do Semiárido tropical brasileiro em  $20 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para a camada de 0-20 cm de profundidade. No entanto, em Luvisolo crômico, sob caatinga hiperxerófila no Semiárido cearense, Maia et al. (2007) encontraram estoque de carbono de  $48,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , e Kauffman et al. (1993), em solo sob Caatinga no Semiárido pernambucano, encontraram valores de  $26,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , ambos na mesma profundidade. Amorim (2009) avaliou a variação sazonal dos estoques médios de carbono em Argissolo sob Caatinga, no município de Petrolina-PE. No período de estiagem, os valores foram de 16,5; 11,8 e  $9,89 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  e, após o período chuvoso, 14,2; 10,0 e  $8,99 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30cm, respectivamente. Os estoques médios de carbono na camada de 0-20 cm, também, foram superiores aos estimados por Tiessen et al. (1998), alcançando 28,3 e  $24,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para os períodos de estiagem e após a chuva, respectivamente. Fraga e Salcedo (2004) encontraram, em caatinga hiperxerófila, valores de 17,9 e  $28,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , para as camadas de 0-7,5 e 0-15 cm, respectivamente.

Os Neossolos Litólicos apresenta o maior estoque de carbono -  $27,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , seguido do Luvisolo, Vertissolo, Cambissolo e Latossolo, enquanto o Neossolo regolítico possui o maior estoque de carbono -  $12,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Tabela 2).

**Tabela 2.** Principais classes de solo na região semiárida brasileira, em áreas de vegetação de caatinga hiper e hipoxerófila, importância relativa, teores médios e estimativa do estoque de Carbono Orgânico Total - COT no horizonte superficial (Ap)(1).

Classe de solo	Profundidade (cm)	COT (g.kg <sup>-1</sup> )	Estoque COT (Mg.ha <sup>-1</sup> )
Vertissolo	13.1	12.3	24.1
Cambissolo	12.4	12.2	22.7
Luvisolo	13.7	11.8	24.2
Neossolo Litólico	17.6	10.4	27.4
Latossolo	15.6	9.7	22.7
Argissolo	15.3	8.9	20.4
Planossolo	18.2	7.4	20.2
Neossolo Regolítico	16.5	4.9	12.1
<b>Médias ponderadas</b>	<b>15.9</b>	<b>9.3</b>	<b>22.2</b>

Fonte: Adaptado de Salcedo e Sampaio (2008).

É sabido que, dependendo dos sistemas de uso e manejo adotados, o solo pode agir como fonte ou dreno do CO<sub>2</sub> atmosférico (PARTON, 1987), contribuindo diretamente no efeito estufa. Do ponto de vista agrícola, o solo torna-se uma fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera quando as perdas por oxidação são maiores do que as adições de carbono. Os sistemas de manejo que usam o preparo do solo para a produção vegetal constituem-se no principal fator dessas perdas (BRUCE et al., 1999, PEREZ et al., 2007). Por outro lado, em condições de alta produção de fitomassa e adição de resíduos, são fontes de carbono para o solo (CAMPOS et al., 1999).

A emissão de CO<sub>2</sub> pode ser um indicador de qualidade do solo para validar sistemas agricultura de sequeiro, integração lavoura-pecuária-floresta e agricultura irrigada no Semiárido. A fonte primária de emissão terrestre de CO<sub>2</sub>, até a década de 1950, eram os solos e a vegetação da região de clima temperado. A partir desta década, a região tropical tornou-se a principal fonte na emissão terrestre de CO<sub>2</sub>, devido ao avanço da exploração dos solos, associado ao desmatamento e à queima de biomassa. A taxa líquida de perda de carbono estimada foi de 0,2 Gt para a região temperada e até 2,0 Gt para a região tropical (HOUGHTON, 2001). Com isso, a agricultura tornou-se um fator

significativo no balanço de CO<sub>2</sub> na atmosfera, embora a emissão de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis seja mais do que o dobro do CO<sub>2</sub> emitido pelos sistemas agropecuários.

A conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas (desmatamento e queima de biomassa) e a oxidação da matéria orgânica do solo devido ao preparo do solo contribuem com, aproximadamente, 33% da emissão global líquida de CO<sub>2</sub>. O volume de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera contribui com 50% do efeito estufa, enquanto o CH<sub>4</sub> contribui com 19%, o N<sub>2</sub>O com 5%, os CFCs com 15% e outros com 11% (HOUGHTON, 2001).

Por outro lado, o solo torna-se um dreno do CO<sub>2</sub> atmosférico quando as adições de carbono são maiores do que as perdas por oxidação. De acordo com Bruce et al. (1999), a implementação de medidas integradas, conforme os itens relacionados a seguir, é o caminho para o solo atuar como um dreno: a) redução e/ou eliminação da intensidade de preparo do solo; b) intensificação de sistemas de rotação de culturas; c) adoção de práticas que promovam o aumento da produtividade das culturas, e d) restabelecimento de cobertura vegetal permanente.

O equilíbrio estável (*steady-state*) do reservatório de carbono no solo é o balanço entre adições (resíduos vegetais e adubos orgânicos) e perdas (decomposição e mineralização da matéria orgânica, resultando na liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, e erosão). A matéria orgânica do solo é um componente dinâmico e vários modelos têm sido usados para descrever suas alterações com o tempo.

De uma maneira geral, o carbono orgânico tende a aumentar com a adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo. Dentre esses sistemas, o não revolvimento do solo, associado ao retorno de resíduos vegetais e rotação de culturas, tem se constituído na principal alternativa para diminuir a emissão de CO<sub>2</sub> e a recuperação da matéria orgânica do solo, para as regiões de climas temperado e tropical.

O manejo, a proteção e o uso do solo devem se basear, primeiramente, no seu potencial produtivo, sendo que para um manejo adequado do solo, é necessário considerar suas propriedades físicas (aeração, retenção de água, compactação, estruturação), químicas (reação do solo, disponibilidade de nutrientes,

interações entre estes) e biológicas (teor de matéria orgânica, respiração, biomassa de carbono, biomassa de nitrogênio, taxa de colonização e tipo de microrganismos).

Os solos mais cultivados no Submédio do Vale do São Francisco, em regime de irrigação, são os Latossolos e os Argissolos, que apresentam textura arenosa nos horizontes superficiais, com acidez moderada, baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e pobres em fósforo; os Luvisolos, de textura média, moderadamente ácidos ou neutros, com valores de CTC e teores de P médios, e os Vertissolos, de textura argilosa, pH alcalino, com alta CTC e pobres em fósforo quando sob a vegetação natural (Caatinga). Com o avanço da tecnologia para aplicação e uso eficiente de água e nutrientes, os Neossolos também foram incorporados ao sistema produtivo da videira, porém todos os solos têm como característica comum o baixo teor de matéria orgânica.

No Submédio do Vale do São Francisco, estudos observaram que nos cultivos dos pomares, houve aumento nos teores de matéria orgânica, que aumentaram de 16% a 41% nas áreas cultivadas com videira orgânica, e de 9% a 50%, nas áreas cultivadas com mangueiras. Os sistemas de produção orgânica da videira e da mangueira, utilizando adubos verdes, demonstraram atuar na melhoria da qualidade do solo e no aumento do teor de matéria orgânica, atuando indiretamente como um sistema que tem um balanço positivo em relação ao carbono do solo.

A utilização de plantas intercalares, como adubos verdes, possibilita a produção de altas quantidades de resíduos, permitindo o aumento do teor de carbono do solo e da CTC, reduzindo a lixiviação de cátions e a percolação de água. Por outro lado, a produção de material vegetal "in situ" e a sua utilização como cobertura morta diminuem a evaporação da água aplicada, minimizando os riscos de salinização das áreas cultivadas.

Em regra, qualquer espécie vegetal pode ser utilizada como cultura de cobertura. Porém, considerando as características desejadas, algumas espécies devem ser prioritárias para integrar um sistema de produção que inclua a adubação verde, destacando-se as seguintes características:

- Ter sistema radicular profundo para facilitar a reciclagem dos nutrientes.
- Ter elevada produção de massa seca, tanto da parte aérea como na radicular.
- Ter velocidade alta de crescimento e cobertura do solo.
- Ser agressiva e rústica.
- Possuir baixo custo de sementes.
- Apresentar facilidade na produção de sementes.
- Possuir, preferencialmente, efeitos alelopáticos e/ou supressores em relação às plantas não cultivadas.

Além da quantidade de biomassa produzida, avalia-se, também, a sua qualidade, ou seja, sua capacidade em permanecer protegendo o solo e manter o carbono no sistema, aumentando o estoque deste elemento em diferentes profundidades ao longo do tempo.

Outra alternativa que vem sendo estudada na Embrapa Semiárido é a semeadura de adubos verdes na forma de coquetéis vegetais. O coquetel vegetal consiste na semeadura de uma mistura de sementes de várias espécies e famílias, incluindo leguminosas, gramíneas, oleaginosas, entre outras, com o objetivo de adicionar carbono no sistema solo. As seguintes espécies, em diferentes proporções, foram testadas e apresentaram um bom desenvolvimento no Submédio do Vale do São Francisco: leguminosas - calopogônio (*Calopogonium mucunoide*), *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, feijão de porco (*Canavalia ensiformes*), guandu (*Cajanus cajan* L.), lab-lab (*Dolichos lablab* L.), mucuna preta (*Mucuna aterrina*), mucuna cinza (*Mucuna conchinchinensis*); não leguminosas - gergelim (*Sesamum indicum* L.), girassol (*Chrysanthemum peruvianum*), mamona (*Ricinus communis* L.), milheto (*Penisetum americanum* L.) e sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.). O fato de as espécies fornecedoras de material orgânico serem plantadas em coquetel proporciona ainda uma melhor exploração do solo (reciclando os nutrientes de forma mais eficiente que o monocultivo), favorecendo a

diversificação de espécies no sistema (incluindo o aumento e a diversificação da população microbiana presente na rizosfera) e fornecendo material orgânico com composição de nutrientes mais diversificada. Áreas cultivadas com coquetéis apresentaram diferenças significativas nos teores de carbono orgânico total no solo em relação à Caatinga preservada e aos cultivos convencionais.

O efeito dos coquetéis vegetais sobre algumas características químicas e físicas depende da qualidade e da quantidade de fitomassa produzida e, na avaliação realizada em 2008, está caracterizado pela massa seca da parte aérea das plantas. A maior produção de fitomassa seca foi obtida no coquetel T1, diferindo significativamente do T2, que produziu a menor quantidade entre todos os tratamentos, sendo esta aproximadamente 40% menor do que a produzida pelo T1 (Tabela 3), não sendo observada diferença significativa entre os demais tratamentos, exceto o T3 no ano de 2008, indicando que o tratamento contendo gramíneas e oleaginosas adicionou maior quantidade de biomassa ao sistema solo, isto provavelmente relacionado ao maior porte destas espécies, comparadas às leguminosas utilizadas nos coquetéis, e à sua maior relação C/N, o que favorece uma maior permanência do material no solo (PETRERE et al.,2008).

**Tabela 3.** Produção de fitomassa ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) de coquetéis vegetais (tratamentos - T1, T2, T3, T4 e T5) cultivados nas entrelinhas da cultura da mangueira, sob irrigação por aspersão, em dois anos. Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, 2008.

Tratamento	Ano	
	2007	2008
	<b>Fitomassa seca - <math>Mg \cdot ha^{-1}</math></b>	
<b>T1</b>	6,84 a	5,21 a
<b>T2</b>	3,86 c	3,78 c
<b>T3</b>	5,72 b	4,73 ab
<b>T4</b>	5,59 b	4,29 b
<b>T5</b>	5,64 b	4,17 b

Médias seguidas por letras distintas, na mesma linha, diferem pelo teste de Tukey ( $P = 0,05$ ). ns Não significativo pelo teste F; T1 - 100 % não leguminosas; T2 - 100% leguminosas; T3 - 75% leguminosas e 25% não leguminosas; T 4 - 50% leguminosas e 50% não leguminosas; T5 - 25% leguminosas e 75% não leguminosas; T6- testemunha.

Fonte: Petrere et al. (2008).

De acordo com os mesmos autores, os resultados médios das análises de matéria orgânica do solo (Tabela 4) na profundidade de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. O T3 (75% leguminosas e 25% não leguminosas) e T4 (50% leguminosas e 50% não leguminosas) apresentaram o maior teor de matéria orgânica no solo, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Dois ciclos de cultivo foram suficientes para verificar as alterações nos teores de matéria orgânica, principalmente na camada de 0-5 cm, nas parcelas cultivadas com coquetéis vegetais em relação às parcelas sem coquetéis. Após o segundo ano de cultivo do presente trabalho, observa-se que os coquetéis vegetais que apresentaram misturas de espécies leguminosas e não leguminosas alteraram significativamente o teor de matéria orgânica, destacando o desempenho do T3 (75% leguminosas e 25% não leguminosas), que adicionou matéria orgânica até a profundidade de 20 cm.

**Tabela 4.** Teores de matéria orgânica e fósforo do solo, por coquetéis vegetais/tratamento, em quatro profundidades. Estação Experimental de Bebedouro, Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, 2008.

Profundidade (cm)	Tratamento					
	1	2	3	4	5	6
	<b>Matéria orgânica (g.kg-1)</b>					
0-5	9,77b	9,72 b	14,56a	14,76a	10,27b	8,96 b
5-10	7,63a	7,41 a	7,89a	6,95ab	7,01ab	6,11 b
10-20	3,83b	4,45 b	6,05a	4,09 b	4,37b	4,42 b
20-40	1,81ab	1,34 b	2,69a	2,12ab	1,47 b	1,92 ab

Médias seguidas por letras distintas, na mesma linha, diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). T1 - 100 % não leguminosas; T2 - 100% leguminosas; T3 - 75% leguminosas e 25% não leguminosas; T4 - 50% leguminosas e 50% não leguminosas; T5 - 25% leguminosas e 75% não leguminosas; T6 - testemunha.

Fonte: Petreire et al. (2008).

Uma alternativa que pode ser utilizada como medida mitigatória e aumentar o teor de carbono armazenado no sistema solo é o processo de compostagem, um processo biológico de transformação do material orgânico, biodegradável, em matéria orgânica humificada ou estabilizada. É uma técnica idealizada para se obter mais rapidamente, e em melhores condições, a desejada estabilização da matéria orgânica. É uma forma de utilizar os restos de poda e de cultivos,

evitando a queima deste material e promovendo e aumentando o teor de carbono no solo.

Na área de agroenergia, foram avaliadas as produtividades de espécies oleaginosas, entre elas o pinhão manso e a mamona cultivados na região semiárida do Nordeste brasileiro. A produção de pinhão manso em área irrigada, no primeiro ano, foi de 1200 kg.ha<sup>-1</sup> e, em área de sequeiro, 300 kg/ha<sup>-1</sup> (DRUMOND et al., 2008). A mamona em área irrigada apresentou produtividade de 3000 kg.ha<sup>-1</sup> e, em área de sequeiro, 800 kg.ha<sup>-1</sup>. (DRUMOND et al., 2005). A produção de plantas para produção de biodiesel terá a vantagem de emitir menos CO<sub>2</sub>, sendo uma alternativa ao uso de combustível fóssil. Estudos para o aumento da oferta de matéria-prima de base florestal sustentável na região do Araripe, PE, também estão sendo desenvolvidos como alternativa à utilização de combustíveis fósseis. Este estudo contempla o zoneamento de uma região de, aproximadamente, 18.000 km no extremo oeste do Estado de Pernambuco, onde está localizado o maior pólo de exploração de gesso do Brasil. A atividade industrial de exploração e beneficiamento do minério gipsita promove, na atualidade, graves problemas ambientais, pela utilização em grande escala da vegetação nativa em seus fornos de desidratação do minério. O zoneamento conduzido pela Embrapa Semiárido verificou que a região ainda tem um grande potencial de exploração sustentável dos recursos florestais. A pesquisa aponta e quantifica as áreas passíveis de implantação de florestas energéticas, as áreas com viabilidade de exploração no modelo de manejo florestal sustentável e as áreas que devem sofrer uma intervenção imediata de recuperação.

### **Medidas de adaptação**

Com base na prospecção de cenários agrícolas futuros, tem sido verificada a queda da produtividade de culturas como a mandioca, milho e feijão, importantes para a região Nordeste (DECONTO, 2008). Ainda, os cenários climáticos futuros apontam para uma redução na precipitação pluviométrica. Assim, as estratégias de convivência com o Semiárido continuarão sendo ferramentas importantes na conservação da água para a população. Entre as tecnologias de convivência com o Semiárido, pode-se destacar o uso de barragens subterrâneas, a irrigação de salvação, a captação de água “in situ”, as

cisternas domiciliares e rurais. Com a utilização da barragem subterrânea, por exemplo, quantidades expressivas de água da chuva são armazenadas no solo, dando maior segurança aos plantios dependentes de chuvas (BRITO et al., 1989). Nas barragens subterrâneas, pode ser explorada uma gama de culturas tradicionais para a região, como milho, feijão, sorgo, capim, algodão, mandioca, hortaliças, fruteiras, entre outras. Resultados de pesquisa demonstraram que com manejo correto do solo, após 22 anos de implantação, as barragens não apresentaram problema de salinização, proporcionando a exploração agrícola viável, minimizando os riscos da agricultura dependente de chuva (SILVA et al., 2006). A captação de água de chuva "in situ", que consiste na modificação da superfície do terreno, de modo a formar um plano inclinado entre dois sulcos sucessivos, tem proporcionado aos agricultores da região o cultivo de culturas anuais, como milho e feijão caupi, em anos de precipitações pluviométricas irregulares (SILVA et al., 1989). A água da chuva que cai fica acumulada ao longo do sulco e se infiltra em maior quantidade na área do solo onde se encontram as raízes da plantas.

Como medida de adaptação, a Embrapa Semiárido também tem desenvolvido variedades resistentes à seca e a altas temperaturas. Estas pesquisas serão de extrema importância nos cenários futuros, podendo utilizar estas variedades como alternativas a produtores da região semiárida e de outras regiões do país. Assim, na área de melhoramento genético, destaca-se o lançamento de variedades de guandu, como o Guandu Petrolina, resistente à seca e com índice significativo de vitamina A, além de alcançar a fase de produção de grãos mais precocemente (ARAÚJO et al., 2007). Outra cultivar gerada foi o Guandu Taipeiro, adaptada ao regime irregular de chuvas do Semiárido, com bom potencial produtivo e forrageiro (ARAÚJO, et al., 2000). Além de apresentar uma relação entre folha e caule adequada, tem capacidade de retenção de folhas e presença desejável de caules finos e tenros, o que evidencia sua qualidade forrageira. Ainda nesta linha de pesquisa, foi desenvolvida a Cebola Alfa São Francisco (COSTA et al., 2005), resistente a temperaturas elevadas, e foram implantados os sítios de fenotipagem para caracterização de germoplasma de milho e sorgo adaptados à seca.

Pesquisas com espécies nativas da Caatinga poderão ser uma excelente alternativa para produção de alimentos para a população e para os animais. A

idéia de aproveitar o potencial produtivo de plantas tolerantes à seca poderá minimizar os problemas causados pela baixa produção de plantas exóticas. Neste sentido, pesquisadores têm trabalhado com forrageiras nativas, como faveleira, mororó, maniçoba, pornunça, mandacaru, sendo alternativas para alimentação animal, frente aos novos cenários agrícolas (OLIVEIRA et al., 1981; ARAÚJO et al., 2001; ARAÚJO; MOREIRA, 2006). Também, têm sido criado bancos ativos de germoplasma de espécies de *Passiflora*, de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) e outras *Spondias* com tolerância à seca.

O Semiárido brasileiro será uma das regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas. Entretanto, temos na região uma população que vem convivendo com secas e altas temperaturas há muitos anos. O bioma Caatinga é rico em espécies endêmicas totalmente adaptadas aos estresses hídrico e salino e a altas temperaturas. Assim, a região abriga um banco genético extremamente importante e pouco conhecido, que poderá ser utilizado para a obtenção de genes usados no melhoramento de culturas agrícolas, permitindo, assim, encontrar alternativas para o aumento da produção de alimentos.

### **Considerações finais**

As mudanças climáticas representam o maior desafio da humanidade no futuro próximo. Entretanto, seus impactos na agricultura ainda foram pouco estudados, tanto por meio de simulação quanto de experimentação. A análise das alternativas de adaptação é estratégica para a agricultura brasileira, razão pela qual a busca por soluções para o desenvolvimento produtivo da região semiárida deve ter continuidade. A demanda por pesquisas nesse contexto de mudanças climáticas continuará crescente. Para isso, os esforços multidisciplinares terão um papel importante, bem como a interação entre as instituições de pesquisa, a fim de obter uma análise integrada dos sistemas produtivos que permita modelar, simular e antever os possíveis impactos. A partir desses conhecimentos, espera-se a adoção de políticas públicas visando ao desenvolvimento sustentável, decorrente da necessidade de aumentar a capacidade adaptativa da sociedade e da economia regional frente às mudanças climáticas.

## Referências

- ANGELOTTI, F.; PELLEGRINO, G. Q.; MOURA, M. S. B. de. Tendência da temperatura máxima, média e mínima no Município de Juazeiro, no período de 1966 a 2005. In: CONFERÊNCIA REGIONAL SOBRE MUDANÇAS GLOBAIS: AMÉRICA DO SUL, 3., 2007. São Paulo. **Resumos...** São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, 2007. 1 CD-ROM.
- ARAÚJO, F. P. de; MENEZES, E. A.; SANTOS, C. A. F. **Recomendação de variedade de guandu forrageiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. 4 p. il. (Embrapa Semi-Árido. Instruções Técnicas, 25).
- ARAÚJO, G. G. L. de; ALBUQUERQUE, S. G. de; GUIMARÃES FILHO, C. Opções no uso de forrageiras arbustivo-arbóreas na alimentação animal no Semi-árido do Nordeste. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. da C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília, DF: FAO, 2001. cap. 6, p. 111-137.
- ARAÚJO, G. G. L. de; MOREIRA, J. N. Uso sustentável do recurso forrageiro nativo e de fontes alternativas para alimentação de caprinos e ovinos no Semi-árido brasileiro. In: TALLER DE METODOLOGIAS, 2006, Fortaleza. **Manejo de la vegetación nativa para la producción de ruminantes menores en la zonas áridas de Latino América**. Fortaleza: Embrapa Caprinos; ICARDA, 2006. 1 CD-ROM.
- ARAÚJO, F.; MENEZES, E. A.; SANTOS, C. A. F. **Guanadu Petrolina: uma boa opção para a sua alimentação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica ; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. 19 p. il. (ABC da Agricultura Familiar, 14).
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do Semi-árido brasileiro**. Brasília, DF, 2005. 32 p.
- BRITO, L. T. de L.; SILVA, A. de S.; MACIEL, J. L.; MONTEIRO, M. A. R. **Barragem subterrânea I: construção e manejo**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1989. 38 p. il. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 36).
- BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservations**, Ankeny, v. 5, p. 382-389, 1999.
- DRUMOND, M. A.; ARRUDA, F. P. de; ANJOS, J. B. dos. **Pinhão-mansô - Jatropha curcas L.** Embrapa Semi-Árido, 2008. 15 p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 212). Disponível em: < [http://www.cpatna.embrapa.br/public\\_eletronica/downloads/SDC212.pdf](http://www.cpatna.embrapa.br/public_eletronica/downloads/SDC212.pdf) >. Acesso em: 10 jan. 2010.
- HOUGHTON, J. T. **Climate change 2001: the scientific basis**. New York: Cambridge University Press, 2001. 881 p.
- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: synthesis report: summary for policymakers, contribution of working groups I,II,III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

MARENCO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 202 p. (Série Biodiversidade, v. 26).

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. As emissões no Brasil e o processo de aprimoramento de inventários. In: PLANO Nacional de Mudanças do Clima. Brasília, DF, 2008. 8 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=169>>. Acesso em: 20 jan. 2009.

OLIVEIRA, M. C. de; ALBUQUERQUE, S. G. de; SILVA, C. M. M. S. Avaliação indireta da produtividade de forrageiras arbustivas e arbóreas exóticas e nativas da caatinga. In: REUNIAO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 18., 1981, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, 1981. p. 11.

PARTON, W. J.; SCHIMMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 51, p. 1.173-1.179, 1987.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista MultiCiência**, Campinas, n. 8, p. 139-162, 2007.

PEREZ, C.; RONCOLI, C.; EELY, C; STEINER, J. L. Can carbon sequestration markets benefit low-income producers in semi-arid Africa? Potentials and challenges. **Agricultural Systems**, [Atlanta], v. 94, p. 2-12, 2007.

PETRERE, V. G.; CUNHA, T. J. F.; SILVA, M. S. L.; SILVA, D. J. Teores de matéria orgânica e fósforo em solo cultivado com mangueiras em função do uso de coquetéis vegetais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. **Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental: anais.** Londrina: Embrapa Soja, 2008. 1 CD-ROM

PARTON, W. J.; SCHIMMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 51, p. 1.173-1.179, 1987.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista MultiCiência**, Campinas, n. 8, p. 139-162, 2007.

PEREZ, C.; RONCOLI, C.; EELY, C; STEINER, J. L. Can carbon sequestration markets benefit low-income producers in semi-arid Africa? Potentials and challenges. **Agricultural Systems**, [Atlanta], v. 94, p. 2-12, 2007.

PETREIRE, V. G.; CUNHA, T. J. F.; SILVA, M. S. L.; SILVA, D. J. Teores de matéria orgânica e fósforo em solo cultivado com mangueiras em função do uso de coquetéis vegetais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. **Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental: anais**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 1 CD-ROM.

PROCLIMA. Gases do efeito estufa. Disponível em: <<http://homologa.ambiente.sp.gov.br>> <[http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/efeito\\_estufa/gases\\_fontes.asp](http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/efeito_estufa/gases_fontes.asp)>. Acesso em: 5 dez. 2008.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South América. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 34, 2007. L09708, doi:10.1029/2007GL029695.

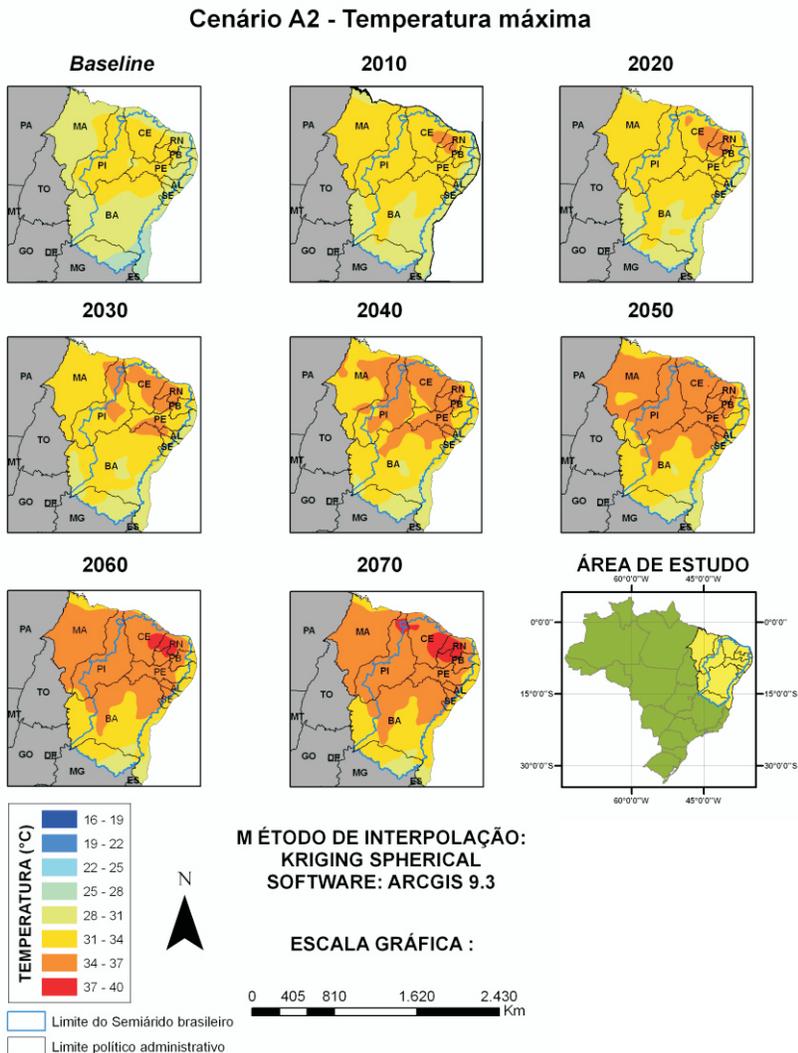
SILVA, A. de S.; PORTO E. R.; BRITO, L. T. de L.; MONTEIRO, M. A. R. **Captação de água de chuva in situ I: comparação de metodos da região Semi-Árida brasileira**. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Tropico Semi-Árido (Petroлина, PE). **Captação de água de chuva "in situ": comparação de métodos e densidade de plantio**. Petroлина, 1989. p. 5-24. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa; 35)

SILVA, M. S. L. da; ANJOS, J. B. dos; BRITO, L. T. de L.; SILVA, A. de S.; PORTO, E. R.; HONÓRIO, A. P. M. **Barragem subterrânea**. Petroлина: Embrapa Semi-Árido, 2006. Não paginado. (Embrapa Semi-Árido. Instruções técnicas, 75).

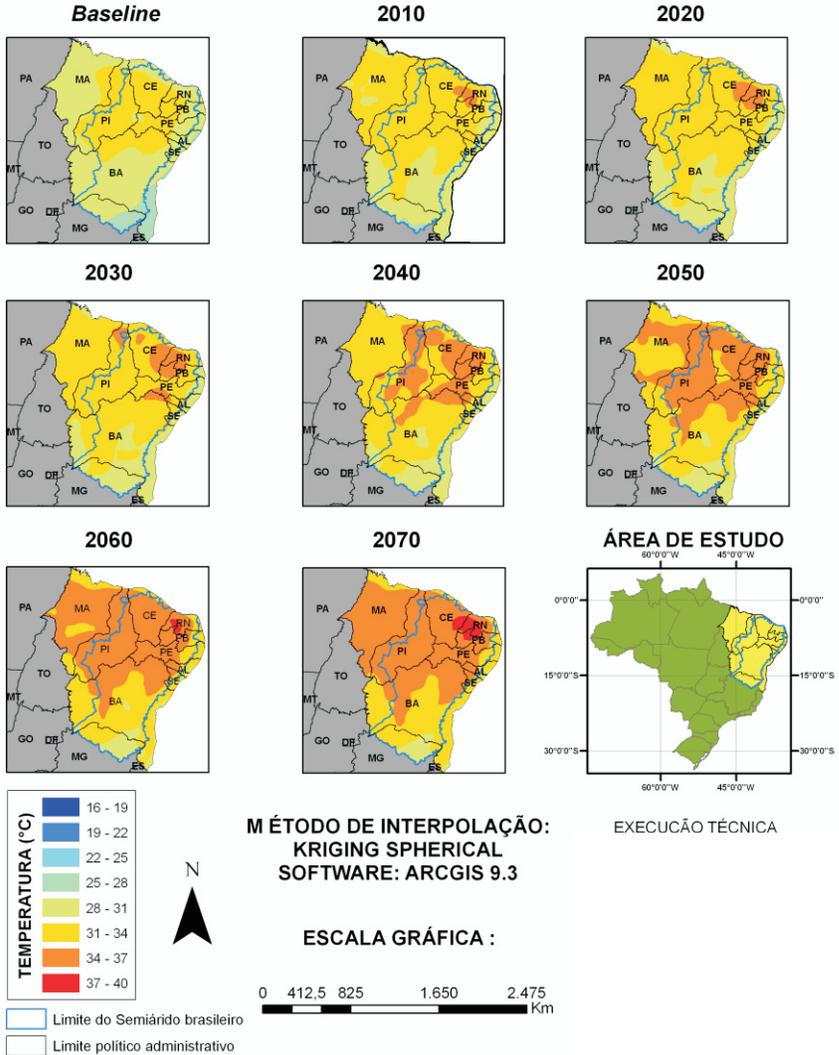
TEIXEIRA, A. H. de C., 2008. **Measurements and modelling of evapotranspiration to assess agricultural water productivity in basins with changing land use patterns: a case study in the São Francisco River basin, Brazil**. 239 f. Ph.D. (Dissertation) – Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

## Anexo A

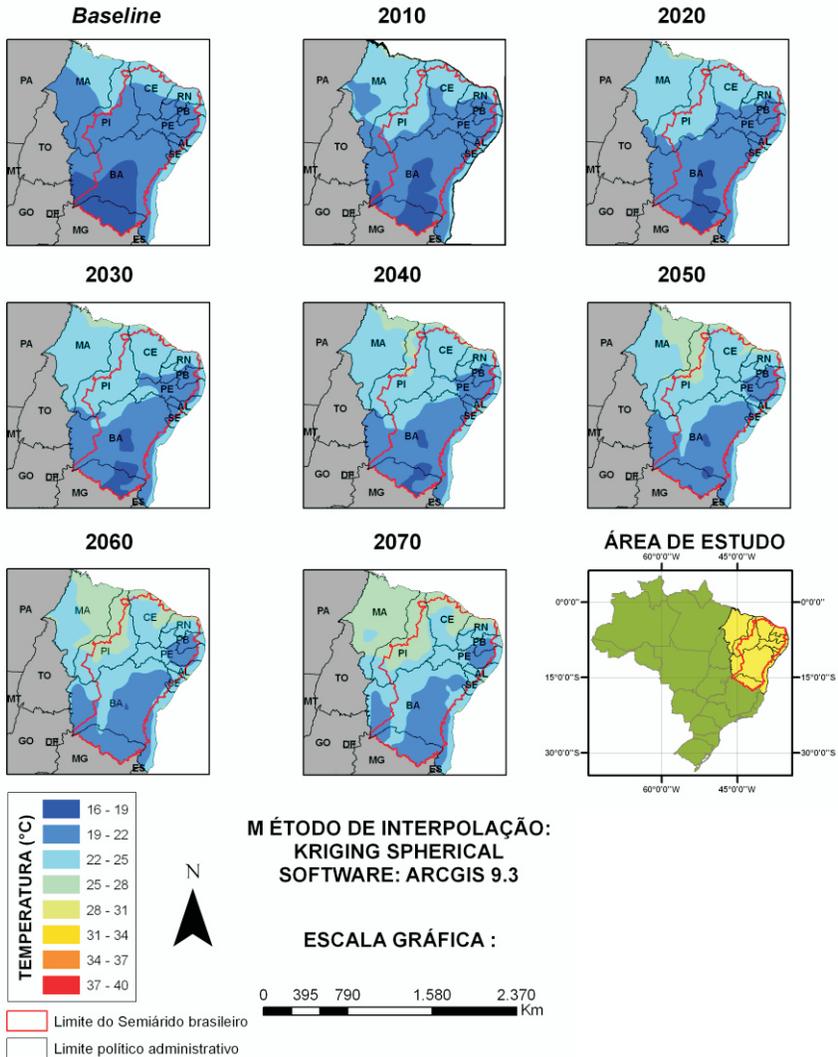
Mapas com as projeções anuais (valores absolutos) da temperatura do ar anual (°C - máxima, e mínima) para os cenários A2 e B2 do IPCC. Mapas elaborados para os períodos centrados em 2010, 2020, 2030, 2040, 2050, 2060 e 2070 relativos ao *baseline* (1961-1990) geradas utilizando o sistema PRECIS.



**Cenário B2 - Temperatura máxima**



### Cenário A2 - Temperatura mínima



**Cenário B2 - Temperatura mínima**

