



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgf



Variabilidade da Área de Cultivo do Algodão Herbáceo em Sistema de Sequeiro no Nordeste do Brasil Segundo Cenários de Mudanças Climáticas

Madson T. Silva¹, Vicente de P. R. da Silva², João H. B. da C. Campos³, Sonaly D. de Oliveira⁴

^{1,4}Doutorando em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil. E-mail: madson_tavares@hotmail.com

²Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil. E-mail: vicente@dca.ufcg.edu.br

³Prof. Doutor, Universidade Estadual da Paraíba, UEPB, Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, Araruna - PB, Brasil. E-mail: joaohbcc@gmail.com

Artigo recebido em 17/08/2011 e aceite em 20/09/2011

RESUMO

Este estudo avalia os impactos das alterações climáticas sobre o zoneamento agrícola de risco climático do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. *latifolium* Hutch) cultivado na região Nordeste do Brasil. O modelo de balanço hídrico, combinado com técnicas de geoprocessamento (SIG), foi utilizado para identificar as áreas da região de estudo onde a cultura sofrerá restrições de rendimento devido às mudanças climáticas. Os dados utilizados no estudo foram as séries históricas de precipitação pluvial com no mínimo 30 anos de dados diários, coeficientes de cultura, evapotranspiração potencial e a duração do ciclo da cultura. Os cenários denominados de A, B e C são correspondentes, respectivamente, aos aumentos de temperatura do ar de 1,5; 3 e 5 °C. Esses cenários de aumento de temperatura do ar foram associados com as alterações na precipitação de ± 10 ; ± 25 e $\pm 40\%$, correspondentes aos eventos de El Niño (desvios negativos) e de La Niña (desvios positivos) na simulação da época de semeadura da cultura. Foi adotado como critério de corte para o Índice de Satisfação das Necessidades de Água para a cultura (ISNA), definido como a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (ET_r/ET_m), o valor 0,55. Os resultados obtidos sugerem que as mudanças climáticas levam à redução das áreas agricultáveis favoráveis ao cultivo com o algodoeiro herbáceo na região Nordeste do Brasil.

Palavras - chave: Precipitação pluvial, Balanço hídrico, Mudanças climáticas.

Variability in Area of Upland Cotton in Rainfed System in Northeastern Brazil the Second Climate Change Scenarios

ABSTRACT

This study assesses the impacts of climate change on the agricultural zoning of climatic risk in cotton (*Gossypium hirsutum* L. *latifolium* Hutch) grown in northeastern region of Brazil. The water balance model, combined with geospatial technologies (GIS), was used to identify areas of the study area where the crop will suffer yield restrictions due to climate change. The data used were the time series in rainfall at least 30 years of daily data, crop coefficients, potential evapotranspiration and duration of the crop cycle. The scenarios referred here as A, B and C are corresponding to the increases in air temperature of 1.5, 3 and 5 °C, respectively. These scenarios of increase in air temperature were associated with changes in precipitation ± 10 , ± 25 and $\pm 40\%$, which are associated to the El Niño events (negative deviations) and La Niña (positive deviations) in the simulation of sowing crop. It was adopted as baseline for the Index of Satisfaction of Water Requirements for culture (ISNA), defined as the ratio between actual evapotranspiration and maximum evapotranspiration (ET_r/ET_m), the value 0.55. The results suggest that climate change leads to the reduction in agricultural areas of cotton crop growth in northeastern region of Brazil.

Keywords: Rainfall, Water balance model, Climatic change

* E-mail para correspondência: madson_tavares@hotmail.com
(Silva, M. T.).

1. Introdução

O aumento acentuado na concentração de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O), óxidos de nitrogênio (NO_x), ozônio (O₃), CFCs e outros gases poluentes na atmosfera é observado a partir da revolução industrial. O acréscimo na concentração desses gases, conhecidos como “gases do efeito estufa”, propicia a ocorrência de mudanças climáticas, destacando-se o aquecimento global, que é caracterizado pelas modificações nos padrões de temperatura, ventos, pluviosidade e circulação dos oceanos (Lima et al., 2001). Apesar dos intensos esforços de diversos países em atingir as metas ambientais propostas nos acordos internacionais, as mudanças climáticas constituem uma problemática para o planeta no futuro próximo.

Segundo Assad e Pinto (2008), o aumento das temperaturas previsto para os próximos anos poderá ser até certo ponto benéfico; por outro lado, o comportamento fisiológico das plantas é prejudicado por altas temperaturas. A fotossíntese, que pode ser beneficiada com a maior quantidade de gás carbônico disponível na atmosfera, tende a decrescer gradualmente, na maioria dos vegetais, a partir de temperaturas menores do que 22 °C e maiores do que 40 °C. Acima de 40 °C, os estômatos (estrutura na superfície das folhas onde ocorre a troca de gases com a atmosfera) se fecham, interrompendo a fotossíntese. Por causa disso, ondas de calor

que geram temperaturas do ar acima de 34 °C durante três ou quatro dias consecutivos acabam sendo altamente danosas às culturas agrícolas (Assad e Pinto, 2008). Se esses índices térmicos ocorrem na fase de florescimento das plantas, as flores morrem. Assim, é necessária a definição de culturas resistentes às condições edafo-climáticas reinantes nas condições atuais como também para futuros cenários climáticos, visto que a possibilidade de sucesso na colheita dos pequenos e grandes agricultores se torna maior à medida que os riscos climáticos são minimizados. Com base nesse pressuposto, o desenvolvimento do zoneamento agrícola se constitui numa ferramenta que busca a minimização dos riscos mais frequentes que a cultura poderá sofrer no período de plantio até a sua colheita.

Na região semiárida do Brasil, devido a grande irregularidade do regime pluviométrico, a conciliação dos períodos chuvosos e as melhores épocas de plantio são fatores determinantes para o sucesso da exploração agrícola de qualquer cultura. A metodologia utilizada na definição de futuros cenários de mudanças climáticas permite então que se conheça em detalhes a geografia agrícola nacional, tal como a distribuição espacial das aptidões de cada cultura em função da disponibilidade climática de cada região.

Vários estudos evidenciam que a definição das épocas de semeadura, por meio do balanço hídrico do solo, contribui para

reduzir o risco climático causado pela distribuição irregular das chuvas (Andrade Júnior et al., 2001; Silva & Amaral, 2007; Silva et al., 2010; Campos et al. 2010). Algumas pesquisas têm sido realizadas para se determinar a época de plantio do algodão herbáceo cultivado em sistema de sequeiro na região Nordeste do Brasil (Azevedo e Silva, 2007; Amaral e Silva, 2007). Entretanto, o estudo do impacto das mudanças climáticas no cultivo do algodão herbáceo na região Nordeste do Brasil é ainda incipiente. Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo identificar os riscos climáticos associados ao algodão herbáceo cultivado em sistema de sequeiro na região Nordeste do Brasil, de acordo com os cenários de aquecimento global propostos pelo IPCC associados às ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña.

1.1 Área de estudo

A área da região Nordeste brasileiro (NEB) é de 1.558,196 km², que equivalente a 18% do território nacional, possui a maior costa litorânea. Essa região possui os estados com a maior e a menor costa litorânea, respectivamente, Bahia, com 932 km e Piauí, com 60 km de litoral.

Essa região, que possui 3338 km de praias, está situado entre os paralelos de 01° 02' 30" de latitude norte e 18° 20' 07" de latitude sul e entre os meridianos de 34° 47' 30" e 48° 45' 24" a oeste do meridiano de Greenwich. Ela se limita ao norte e ao leste com o oceano Atlântico, ao sul com os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo e a oeste com os Estados do Pará, Tocantins e Goiás (IBGE, 2009). A Figura 1 exibe a posição geográfica da área de estudo.

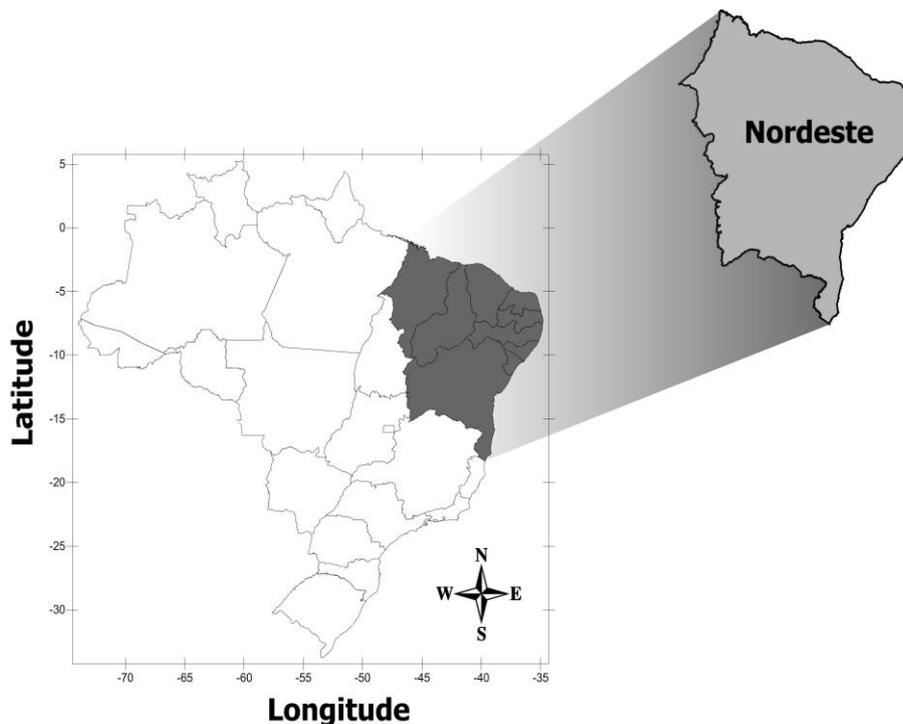


Figura 1. Localização da área de estudo.

2. Material e Métodos

2.1 Condições para cálculo do risco climático

O cálculo do risco climático foi realizado por intermédio de um modelo de balanço hídrico da cultura, realizado em duas partes. Na primeira, foi determinado o balanço hídrico, com base no modelo utilizado no zoneamento agrícola do MAPA, utilizando os cenários de mudanças climáticas globais para os aumentos de temperatura de 1,5; 3 e 5 °C, que correspondem aos cenários A, B e C, respectivamente. Na aplicação do modelo não foi considerada qualquer evolução tecnológica, tanto no manejo das culturas quanto no seu melhoramento genético, e qualquer adaptação fisiológica das plantas às novas condições. Essas variações de temperatura do ar foram associadas às ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña, respectivamente, com alterações negativas e positivas de 10, 25 e 40% na precipitação média.

Foram simulados 96 cenários agrícolas, tais cenários foram obtidos a partir da combinação dos cenários de aumentos de temperatura de 1,5; 3 e 5 °C, associados aos cenários de alterações negativas e positivas de 10, 25 e 40% na precipitação média, variando ao longo de 8 datas de semeadura, para tanto foi utilizando o Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos, com base no software SARRA (Baron et al., 1996). Tal modelo estima componentes do balanço hídrico de uma superfície vegetada em solo estratificado, utilizando dados diários

de precipitação pluvial e de evapotranspiração potencial, além de coeficientes de cultivo (K_c), que descrevem o crescimento de culturas e as características de solos. Nesse modelo, a infiltração e a redistribuição de água no solo são governadas pela equação de Darcy-Buckingham e a evapotranspiração real é obtida em função da evapotranspiração máxima e da umidade do solo. Na segunda etapa, foram empregados os valores do ISNA (Índice de Satisfação da Necessidade de Água para a Cultura) estimados para o período fenológico compreendido entre a floração e o enchimento dos caroços (período mais crítico ao déficit hídrico), com frequência mínima de 80% nos anos utilizados em cada estação pluviométrica. Cada valor de ISNA, observado durante essa fase, foi associado à localização geográfica da respectiva estação para posterior espacialização. Também foi computado o valor das áreas de acordo com os critérios de risco climático associados ao cultivo do algodoeiro.

2.2 Variáveis de entrada do modelo

Precipitação pluvial diária (P) – Os dados de precipitação pluvial foram obtidos do Banco de Dados Hidroclimatológicos da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE para todos Estados da região Nordeste, utilizando-se assim 650 postos pluviométricos, priorizando-se as séries históricas superiores a 30 anos.

Evapotranspiração potencial (ET_p) – Essa variável foi estimada pelo método de

Thorntwaite e Mather (1955) e calculada para cada dez dias do ano, gerando 36 dados de evapotranspiração potencial por ano utilizando-se o software SEVAP (Silva et al., 2005) de acordo com os cenários de incremento de temperatura do ar propostos neste estudo, pela seguinte equação:

$$ET_p = 0,533 C_j \left(\frac{10 \overline{T_a}}{I} \right)^{a_i} \quad (1)$$

em que ET_p é a evapotranspiração potencial (mm dia^{-1}); C_j é o fator de correção, que varia em função do número de dias do mês considerado; a_i é a função cúbica do índice anual de calor e I é o índice de calor obtido pela soma dos 12 índices mensais (i).

Coefficientes decendiais do cultivo (K_c) – Esse coeficiente corresponde à relação entre a evapotranspiração máxima (ET_m) e a evapotranspiração potencial (ET_p); K_c s foram determinados por médias decendiais para cada fase da cultura e gerados pela interpolação dos dados para as fases fenológicas definidas por Doorenbos e Kassam (1979):

$$K_c = \frac{ET_m}{ET_p} \quad (2)$$

Ciclo das cultivares – Para representar as cultivares do algodão herbáceo, recomendadas para a região Nordeste, foi considerado apenas um ciclo de 140 dias, haja vista que a diferença entre as cultivares, quanto ao ciclo, é pouco variável ($< 10\%$). A definição e duração das fases fenológicas foi estabelecida da seguinte forma: i) fase I – da

semeadura até 10% do desenvolvimento vegetativo (DV) (10 dias); ii) fase II – de 10% do DV até a floração (30 dias); iii) da floração até o enchimento dos caroços (EC) (60 dias) e iv) do EC até a maturação (40 dias). Neste estudo foram utilizados os valores de K_c da cultura na base decendial ao longo do ciclo da cultura do algodão herbáceo.

Evapotranspiração máxima (ET_m) – Os valores da ET_m foram estimados pela equação (Doorenbos e Kassam, 1979):

$$ET_m = K_c \times ET_p \quad (3)$$

em que ET_m é a evapotranspiração máxima da cultura (mm dia^{-1}); ET_p é a evapotranspiração potencial (mm dia^{-1}) e K_c é o coeficiente de cultivo.

Evapotranspiração real (ET_r) – O modelo estima a evapotranspiração real (ET_r) por uma equação de terceiro grau, proposta por Eagleman (1971), que descreve a evolução da ET_r , em função da evapotranspiração máxima - ET_m e da umidade do solo - HR , expressa como segue:

$$ET_r = A + B(HR) - C(HR^2) + D(HR^3) \quad (4)$$

em que $A = 0,732 - 0,05 ET_m$; $B = 4,97 ET_m - 0,66 ET_m^2$; $C = 8,57 ET_m - 1,56 ET_m^2$; $D = 4,35 ET_m - 0,88 ET_m^2$ e HR = umidade do solo expressa em (g m^{-3}).

2.3 Variáveis de saída do modelo

Índice de Satisfação da Necessidade de Água para a Cultura (ISNA) – Definido como a

razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (ET_r/ET_m) ao longo do ciclo, para um determinado ano, numa certa data, num tipo de solo, para a leguminosa de ciclo médio. Como o ciclo da cultura do algodão foi dividido em quatro fases fenológicas, utilizou-se a fase de enchimento dos caroços como período mais determinante da produtividade final. A partir desse cálculo, estabeleceu-se a função de frequência do ISNA e selecionou-se a data onde o valor calculado é maior ou igual ao critério de risco adotado ($ISNA \geq 0,55$). Os valores do ISNA foram determinados com a frequência de ocorrência de 80%, e foram classificados em três classes qualitativas (Amaral e Silva, 2007):

- $ISNA \geq 0,55$ - a cultura do algodão herbáceo de sequeiro está exposta a um baixo risco climático;
- $0,45 \leq ISNA < 0,55$ - a cultura do algodão herbáceo de sequeiro está exposta a um risco climático médio;
- $ISNA < 0,45$ - a cultura do algodão herbáceo de sequeiro está exposta a um alto risco climático.

3. Resultados

A variabilidade percentual temporal das áreas agrícolas cultivadas com algodoeiro herbáceo na região de estudo sob às condições climáticas atuais (CCA) e os cenários de aquecimento do ar são apresentados nas Figuras 2 a 7. A Figura 2 exibe a área agrícola (%) do algodoeiro herbáceo na região

Nordeste do Brasil ao longo do período de cultivo, que se estende entre os meses de novembro a junho, para as condições de alto risco (Figura 2A), médio risco (Figura 2B) e baixo risco climático (Figura 2C). Nessa análise é mantido o aumento de 1,5 °C na temperatura do ar e acréscimos de 10, 25 e 40% na precipitação média anual. A média e o desvio padrão do percentual de área agrícola com alto, médio e baixo riscos climáticos nas condições climáticas atuais (CCA) e nos cenários (+10% Prec); (+25% Prec) e (+40% Prec) são apresentados na (Figura 2D).

A porcentagem de área agrícola com alto risco climático (Figura 2A) para o cenário de aumento de 1,5 °C apresentou valores entre 50-95% ao longo do período, sendo os menores riscos entre os meses de novembro a janeiro, onde os seus valores não ultrapassam os 70% da área da região. As áreas com alto risco climático tendem a crescer após o mês de janeiro, registrando os maiores valores no mês de junho. Como os riscos climáticos estão associados, principalmente, à oferta hídrica, então os menores impactos são verificados nos cenários de maior acréscimo na precipitação.

Como esperado, a porcentagem das áreas agrícolas sob médio e baixo riscos climáticos apresentaram basicamente um padrão de comportamento inverso aquele das áreas de alto risco ao longo dos cenários analisados (Figuras 2B e 2C). Assim, como resultado, tem-se o aumento da área agrícola de médio e baixo riscos climáticos entre os

meses de novembro a janeiro e decréscimos a partir do mês de fevereiro. As áreas efetivamente favoráveis ao cultivo do algodoeiro são aquelas que apresentam baixo risco, todavia as áreas de médio risco apresentam potencial agricultável com

algumas restrições. Durante esse período, verificaram-se valores da ordem de 20-35% de área favorável (Figura 2 C), variando de acordo com os cenários de acréscimo de precipitação.

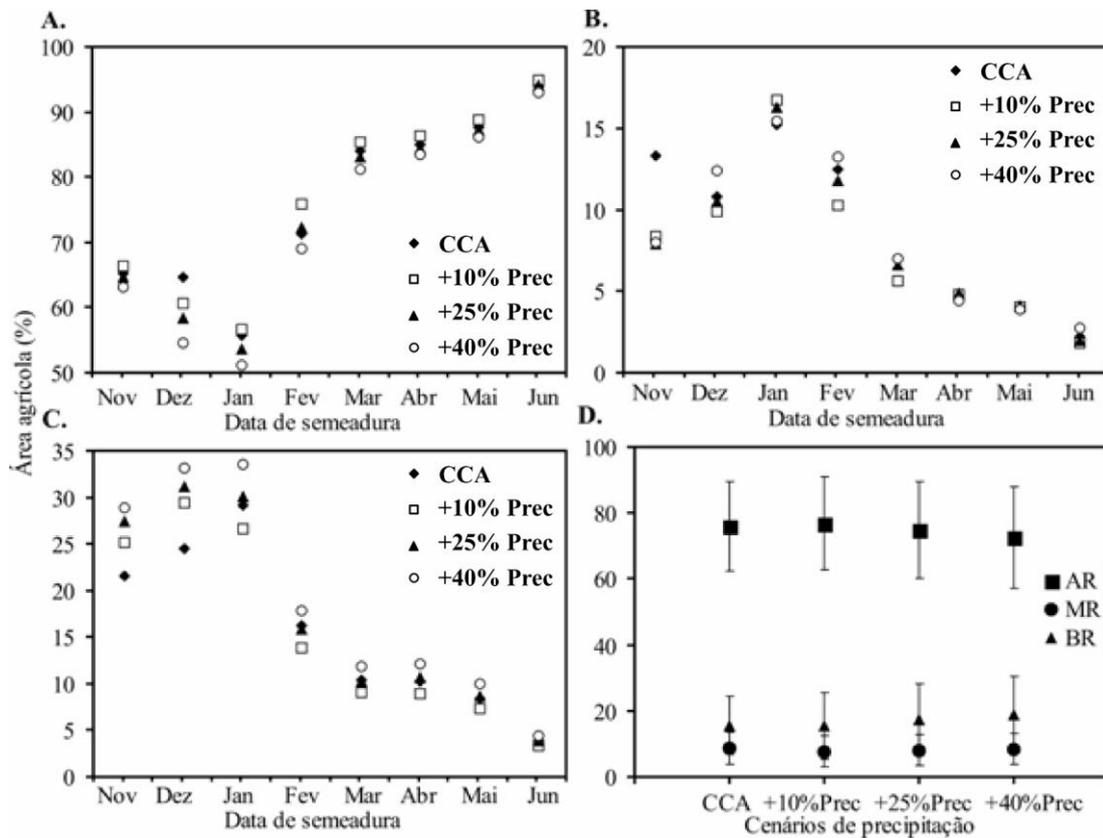


Figura 2. Área agrícola (%) do algodoeiro herbáceo cultivado na região Nordeste do Brasil ao longo do seu período de cultivo, nas condições climáticas de alto risco (A), médio risco (B) e baixo risco climático (C), para o aumento de 1,5 °C na temperatura do ar e acréscimo de 10% (+10 Prec), 25% (+25 Prec) e 40% (+40 Prec) na precipitação média e nas condições climáticas atuais (CCA). Média e desvio padrão (D) do percentual de área agrícola de alto (AR), médio (MR) e baixo (BR) riscos climáticos e nas condições climáticas atuais (CCA) e cenários de +10% Prec, +25% Prec e +40% Prec.

O padrão da variação percentual da área agrícola com alto, médio e baixo riscos climáticos, considerando-se o aumento de temperatura do ar de 1,5 °C, três cenários de redução de precipitação e, ainda, as condições

climáticas atuais (CCA) é apresentado na Figura 3. As porcentagens das áreas agricultáveis com o algodoeiro são decrescentes ao longo da estação de cultivo para médio (Figura 3B) e baixo riscos

climáticos (Figura 3C) em todos os cenários de acréscimo de precipitação. Porém, para alto risco climático (Figura 3A) essa tendência é significativamente crescente no mesmo período. As áreas com baixo risco climático representam entre 1 a 30% da área

total da região (Figura 3C). Esses baixos valores se devem a menor oferta hídrica, fazendo com que as áreas agricultáveis com alto e médio riscos climáticos sejam predominantes na região.

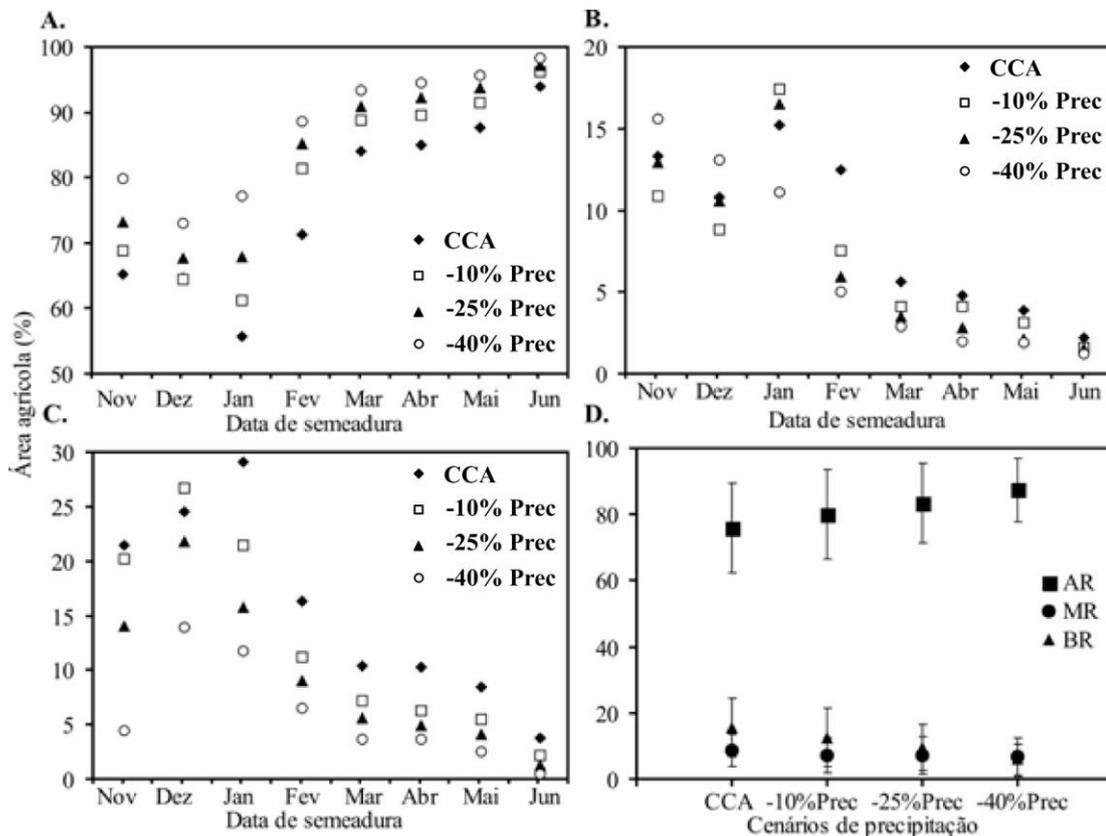


Figura 3. Área agrícola (%) do algodoeiro herbáceo cultivado na região Nordeste do Brasil ao longo do seu período de cultivo, nas condições climáticas de alto risco (A), médio risco (B) e baixo risco climático (C), para o aumento de 1,5 °C na temperatura do ar e decréscimo de 10% (-10 Prec), 25% (-25 Prec) e 40% (-40 Prec) na precipitação média e nas condições climáticas atuais (CCA). Média e desvio padrão (D) do percentual de área agrícola de alto (AR), médio (MR) e baixo (BR) riscos climáticos e nas condições climáticas atuais (CCA) e cenários de -10% Prec, -25% Prec e -40% Prec.

Os efeitos das mudanças climáticas sobre o algodoeiro cultivado na região Nordeste do Brasil para o aumento de 3 °C sob às CCA e os três cenários de aumento na precipitação são apresentados na Figura 4.

Observa-se que a variação percentual da área agrícola total para os alto, médio e baixo riscos climáticos nessas condições são condicionadas aos cenários de precipitação, pois os maiores valores de área desfavorável à

semeadura do algodão são verificados para o cenário de aumento de 10% na precipitação (Figura 4A).

No cenário de aumento de 3 °C, a demanda evapotranspirativa aumenta consideravelmente, fazendo com que a cultura esteja exposta a um maior estresse hídrico. A Figura 4D apresenta a média e desvio padrão da variação percentual da área agrícola total

dos alto, médio e baixo riscos climáticos para o aumento de 3 °C sob às CCA e nos três cenários de aumento na precipitação. Verifica-se que a média da área agrícola exposta às condições de alto risco é proporcional a oferta hídrica, porque mediante às CCA e de aumento de 40% na precipitação as áreas agricultáveis ao cultivo do algodoeiro apresentam valores semelhantes.

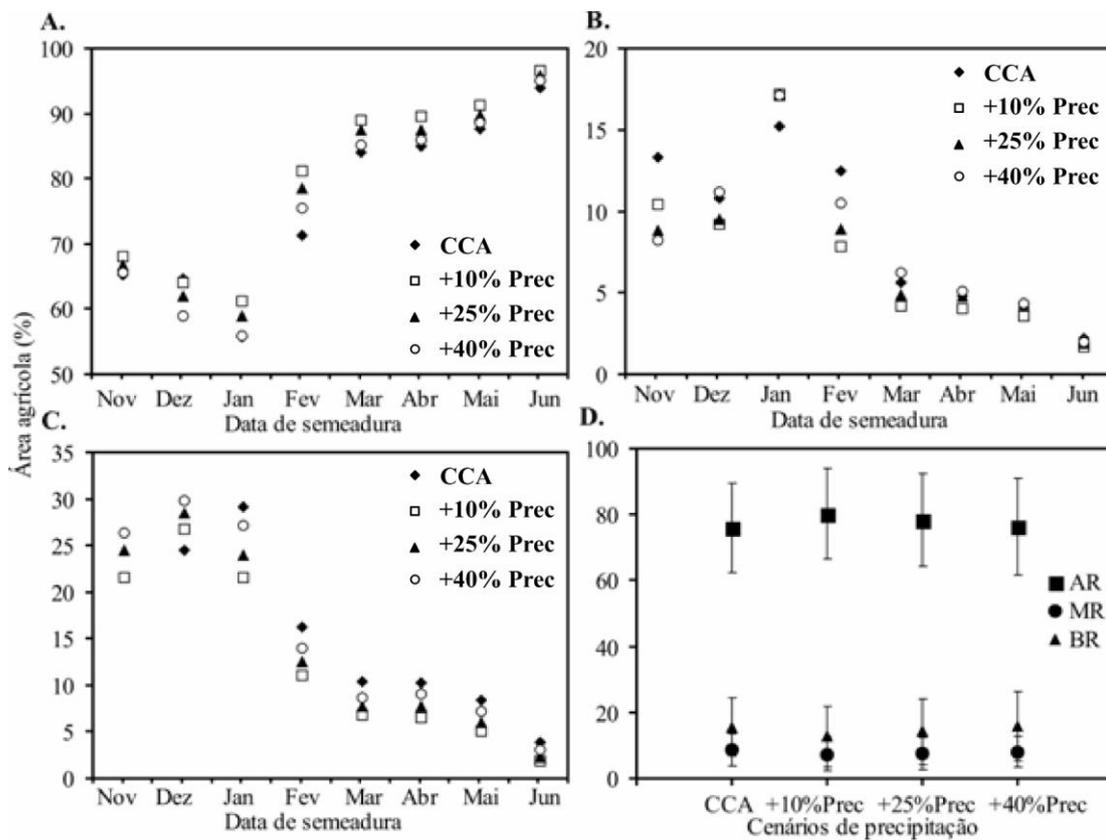


Figura 4. Área agrícola (%) do algodoeiro herbáceo cultivado na região Nordeste do Brasil ao longo do seu período de cultivo, nas condições climáticas de alto risco (A), médio risco (B) e baixo risco climático (C), para o aumento de 3 °C na temperatura do ar e acréscimo de 10% (+10 Prec), 25% (+25 Prec) e 40% (+40 Prec) na precipitação média e nas condições climáticas atuais (CCA). Média e desvio padrão (D) do percentual de área agrícola de alto (AR), médio (MR) e baixo (BR) riscos climáticos e nas condições climáticas atuais (CCA) e cenários de +10% Prec, +25% Prec e +40% Prec.

A maior média foi observada para o cenário de aumento de 10% na precipitação,

com desvio padrão variando de 70 a 95% no período de 8 meses. Sultan et al. (2005), em

estudo usando o SARRAH para investigar o impacto da variabilidade de grande escala das monções no Oeste Africano, verificaram que sobre o rendimento das culturas locais ocorrem os maiores desvios padrão na produção de milho. Isso é atribuído às variações anuais e intra-anuais dos totais de chuvas. O desvio padrão das áreas com alto risco climático é comparativamente menor para os cenários de decréscimo de precipitação com o aumento de temperatura de 3 °C (Figura 5D) em relação aos desvios

nos cenários de maior oferta hídrica.

No cenário de redução de 40% na precipitação, está associado a ocorrência do fenômeno El Niño com intensidade forte. Nessas condições, os desvios padrão variam entre 85 e 100%; enquanto nas áreas com baixo risco climático esses valores foram entre 0 e 7%. A média da área agrícola total com risco climático médio foi pouco variável, entre 5 e 10% nas CCA e entre 0 e 10% no cenário de -40% na precipitação pluvial.

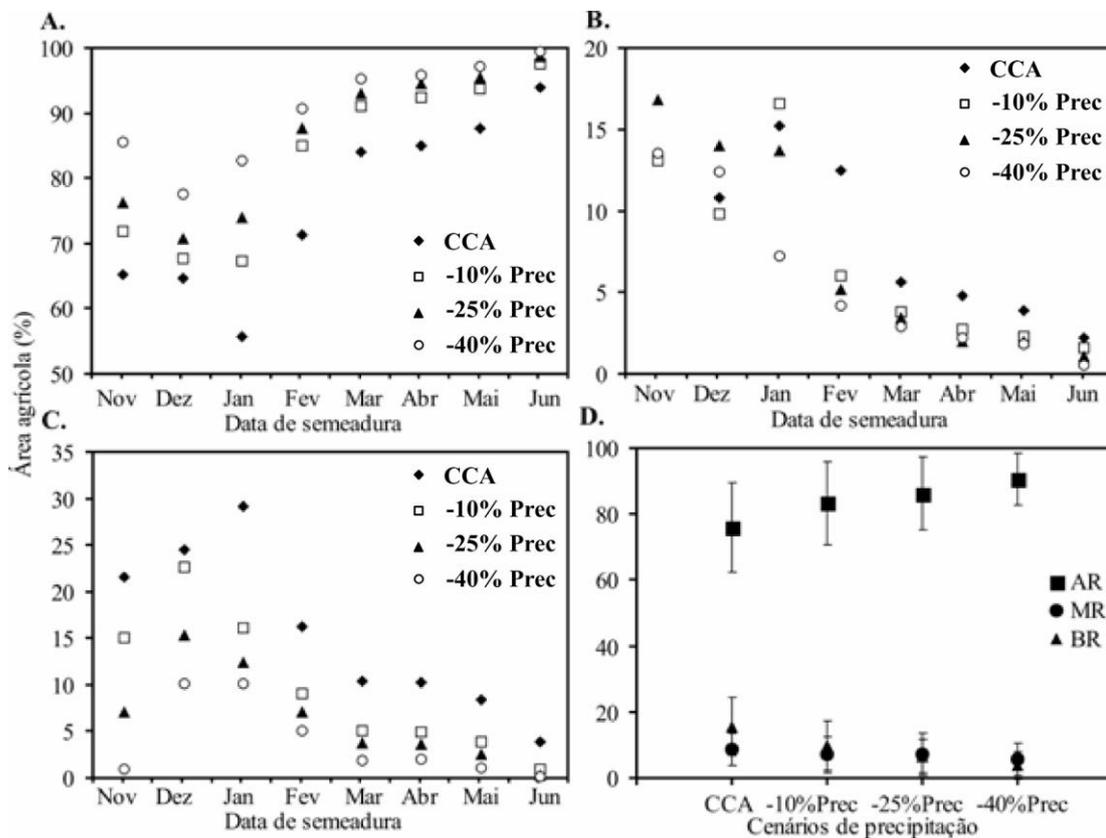


Figura 5. Área agrícola (%) do algodoeiro herbáceo cultivado na região Nordeste do Brasil ao longo do seu período de cultivo, nas condições climáticas de alto risco (A), médio risco (B) e baixo risco climático (C), para o aumento de 3 °C na temperatura do ar e decréscimo de 10% (-10 Prec), 25% (-25 Prec) e 40% (-40 Prec) na precipitação média e nas condições climáticas atuais (CCA). Média e desvio padrão (D) do percentual de área agrícola de alto (AR), médio (MR) e baixo (BR) riscos climáticos e nas condições climáticas atuais (CCA) e cenários de -10% Prec, -25% Prec e -40% Prec.

A Figura 6 exibe a área agrícola (%) do algodoeiro herbáceo na região Nordeste do Brasil ao longo do período de cultivo, que se estende entre os meses de novembro a junho, para condições de alto risco climático (Figura 6A), médio risco climático (Figura 6B) e baixo risco climático (Figura 6C), para aumento de 5 °C na temperatura do ar e acréscimos de 10, 25 e 40% na precipitação média, bem como sob às CCA.

A média e o desvio padrão do percentual de área agrícola com alto, médio e

baixo riscos climáticos nas condições climáticas atuais (CCA) e nos cenários de acréscimo na precipitação de 10, 25 e 40% estão associados à ocorrência do fenômeno La Niña, com intensidades fraca, moderada e forte, respectivamente. A porcentagem de área agrícola com alto risco climático no cenário de aumento de temperatura do ar de 5 °C apresentou valores entre 55 e 100% ao longo do período de cultivo do algodão, sendo os menores valores entre os meses de novembro a janeiro.

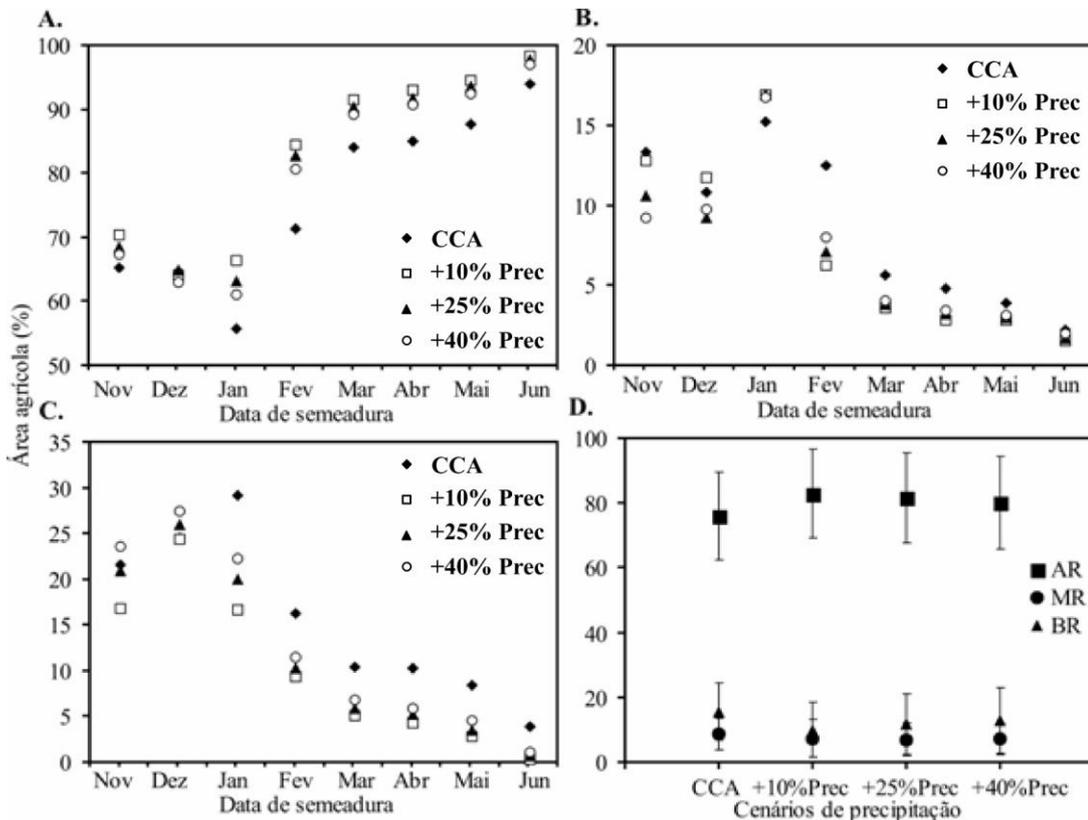
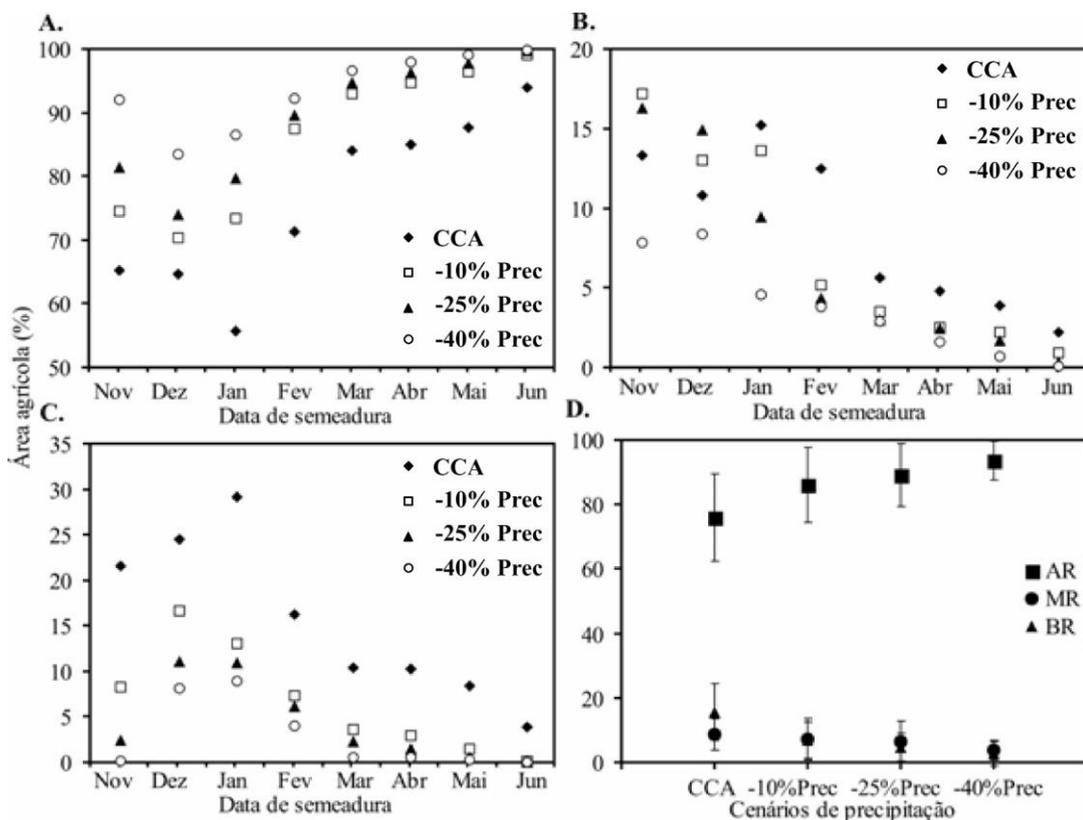


Figura 6. Área agrícola (%) do algodoeiro herbáceo cultivado na região Nordeste do Brasil ao longo do seu período de cultivo, nas condições climáticas de alto risco (A), médio risco (B) e baixo risco climático (C), para o aumento de 5 °C na temperatura do ar e acréscimo de 10% (+10 Prec), 25% (+25 Prec) e 40% (+40 Prec) na precipitação média e nas condições climáticas atuais (CCA). Média e desvio padrão (D) do percentual de área agrícola de alto (AR), médio (MR) e baixo (BR) riscos climáticos e nas condições climáticas atuais (CCA) e cenários de +10% Prec, +25% Prec e +40% Prec.

As áreas com alto risco climático tendem a crescer após o mês de janeiro, registrando os maiores valores no mês de junho. A Figura 6D apresenta a média e o desvio padrão da variação percentual da área agrícola total com alto, médio e baixo riscos climáticos para o aumento de 5 °C na temperatura do ar sob às CCA e os três cenários de aumento na precipitação. A maior média de áreas com alto risco climático foi observada para o cenário de aumento de 10% na precipitação, com valores variando entre 70 e 95% da área total da região ao longo do

período simulado. No cenário de aumento de 5 °C na temperatura média do ar, os maiores riscos de cultivo do algodoeiro são encontrados nos cenários de menor oferta hídrica. O desvio padrão das áreas com alto risco climático é comparativamente mais elevado para os cenários de decréscimo de precipitação com o aumento de 5 °C de temperatura do ar (Figura 7D). Já no cenário de redução de 40% na precipitação pluvial, esses valores variam entre 90 e 100%; enquanto nas áreas com baixo risco climático o desvio padrão se encontra entre 0 e 5%.



As evidências do aquecimento global têm levado muitos pesquisadores a avaliar os efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura de sequeiro, particularmente para as regiões do mundo onde os recursos hídricos são escassos e limitados (Kouressy et al., 2008; Jarvis et al., 2008; Thornton et al., 2009).

A vulnerabilidade climática é o grau de susceptibilidade ou de incapacidade de um sistema para contornar efeitos climáticos adversos à permanência no ambiente em que subsiste Assad e Pinto (2008). Na agricultura, essa vulnerabilidade é responsável pela quebra de produção das espécies produtoras de alimentos. Em todos os cenários climáticos analisados neste estudo, o aumento na temperatura do ar acentuará, dentre muitos outros efeitos, o abortamento de flores, que é um fator restritivo para manutenção da produtividade do algodoeiro. Os impactos oriundos dos cenários simulados podem ser minimizados, considerando-se duas situações. A primeira, se rapidamente forem implantadas práticas de manejo mitigadoras, ou seja, elaboração de processos que tentam minimizar os efeitos sobre as plantas da elevação das temperaturas ou do aumento dos períodos de estiagem. A segunda situação trata de estudos genéticos para a adaptação da cultura as novas condições climáticas. Tal adaptação pode ser forçada através do chamado melhoramento genético, convencional ou pela engenharia genética. Os trabalhos de Moraes (2007), dentre outros,

fortalecem a observação de que o aumento de temperatura do ar é evidente. Dentre as possibilidades de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas nos sistemas agrícolas é possível citar o manejo adequado de solo, cujos benefícios são encontrados no plantio direto. O Brasil é um dos poucos países do mundo que pratica esse tipo de plantio, com uma área atual em torno de 23 milhões de hectares. Esse tipo de plantio é altamente eficiente no sequestro de carbono. Primeiro, porque reduz a quantidade de implementos, demandando, por exemplo, menos combustível e máquinas para a aplicação de adubos, fertilizantes e defensivos agrícolas. Segundo, porque basta uma única etapa para efetuar o plantio.

Uma máquina adaptada para plantio direto já possibilita efetuar a semeadura sobre o resíduo da cultura anterior. Terceiro, porque aumenta a produção de biomassa. Vários estudos no Brasil demonstram que nas regiões Norte, Centro-Oeste e Sul, a utilização do sistema de plantio direto garante a produtividade em sistema de sequestro de aproximadamente $500 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de carbono, o que significa que são absorvidos 12 milhões de toneladas de carbono por hectare por uma única prática agrícola. No caso da integração pecuária-lavoura-floresta, há um sequestro de carbono da ordem de $2,5 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Cardoso et al., 2001).

Independente do conceito ambientalista sobre a produção de cultivares com o uso de transgênicos, paralelamente ao melhoramento

genético convencional, essa é uma das alternativas mais promissoras para a adaptação dos principais cultivos agrícolas no futuro (Assad e Pinto, 2008). Segundo Campos et al. (2010) com o aumento na temperatura do ar nas próximas décadas, a agricultura de sequeiro continua sendo uma prática de alto risco no semiárido brasileiro; dessa forma, a identificação de áreas que apresentam maior potencial de produção e estejam expostas ao menor risco climático possível é imprescindível para a inserção de qualquer cultura. Para a melhor adaptação da cultura é necessário utilizar técnicas da biotecnologia que possibilitem introduzir novos genes nas plantas, criando tolerância à seca e às temperaturas elevadas. A biotecnologia também pode contribuir para mapear os genes tolerantes ao calor e à seca, tornando o processo independente de genes mapeados em países estrangeiros, já que é plenamente possível encontrar esses genes tolerantes nas plantas da biodiversidade brasileira Assad e Pinto (2008). Assim, preservar a biodiversidade, além de ser uma prática absolutamente necessária e importante para o meio ambiente, pode ser também fundamental para a manutenção e sustentabilidade da agricultura. Assim, para manter a produção do algodoeiro no Nordeste do Brasil, nos próximos anos, tanto no que diz

registraram os maiores valores com baixo risco climático no mês janeiro e os menores valores no mês de junho, em diferentes áreas do Nordeste do Brasil. O

respeito à qualidade quanto à quantidade, devem-se tomar medidas que leve em consideração a possibilidade da temperatura média do ar sofrer acréscimos acentuados durante este século.

4. Conclusão

Os cenários de mudanças climáticas de aumento de temperatura do ar divulgados pelo IPCC levam à redução significativa das áreas agricultáveis favoráveis ao cultivo com o algodoeiro herbáceo em sistema de sequeiro em toda a região Nordeste do Brasil. Os riscos climáticos para o cultivo do algodão nessa região aumentam substancialmente quando os aumentos da temperatura do ar são associados ao decréscimo de precipitação pluvial;

Os cenários de aumentos da temperatura do ar associados com a ocorrência do fenômeno El Niño

Poderão provocar uma redução significativa na área agricultável do algodão na região Nordeste do Brasil, quando comparadas com as áreas anteriormente adequadas ao plantio dessa cultura. Quanto maior a anomalia negativa de chuva, menos apta se tornará a região, até o limite máximo da tolerância biológica ao calor ou à seca provocada pelo aumento térmico.

Mediante os cenários de mudanças climáticas, as áreas agricultáveis na região potencial atual de cultivo do algodoeiro nessa região apresenta o menor risco climático nos três primeiros períodos simulados (novembro a janeiro).

5. Agradecimentos

Ao CNPq, pela bolsa de Doutorado ao primeiro autor.

6. Referências

Amaral, J. A. B. do; Silva, M. T. (2007). Zoneamento Agrícola do Algodão Herbáceo no Nordeste Brasileiro Safra 2007/2008 – Estado do Ceará. Embrapa-CNPQ, Campina Grande, 8p. (Comunicado Técnico 321).

Andrade Júnior, A. S.; Sentelhas, P. C.; Lima, M. G.; Aguiar, M. J. N.; Leite, D. A. S. R. (2001). Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e de soja no Estado do Piauí. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.9, n. 3, p.544-550.

Assad, E. D.; Pinto, H. S. (2008). Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira. São Paulo: Embrapa Agropecuária - Cepagri/Unicamp, 84p.

Azevedo, P. V.; Silva, F. D. S. (2007). Risco climático para o cultivo do algodoeiro na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, v.22, p.408-416.

Baron, C.; Clopes, A.; Perez, P.; Muller, B.; Maraux, F. (1996). *Manuels d'utilisation de: SARRAMET 45p. SARRABIL 35p. et SARRAZON 29p.* CIRAD, Montpellier, France.

Campos, J. H. B. da C.; Silva; M. T.; Silva, V. P. R. (2010). Impacto do aquecimento global

no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.4, p.396-404.

Cardoso, A. N.; Saminêz, T. C.; Vargas, M. A. (2001). Fluxo de gases-traço de efeito estufa na interface solo-atmosfera em solos de cerrado. Embrapa-Cerrados, Planaltina, 23p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 17).

Doorenbos, J., Kassan, A. H. (1979). Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, FAO, Rome, n.33, 193p.

Eagleman, A. M. (1971). An experimentally derived model for actual evapotranspiration. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.8, n.4/5, p.385-409.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011). Banco de Dados Agregados. Sistema de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 25 de agosto de 2011.

Jarvis, A.; Lane, A.; Hijmans, R. J. (2008). The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v.126, n.1, p.13-23.

Kouressy, M.; Dingkuhn, M.; Vaksman, M.; Heinemann, A. B. (2008). Adaptation to diverse semi-arid environments of sorghum genotypes having different plant type and sensitivity to photoperiod. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.148, n.1, p.357-371.

Lima, M. A. de; Cabral, O. M. R.; Miguez, J. D. G. (Ed.). (2001). Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Embrapa-CNPMA, Jaguariúna, 397p.

Moraes, O. C. C. (2004). Ameaça na floresta submersa. *Scientific American*, n.24.

Silva, M. T.; Amaral, J. A. B. (2007). Zoneamento de risco climático para a cultura do amendoim no Estado do Rio Grande do Norte. *Revista de Biologia e Ciências da Terra, Campina Grande*, v.7, n.2, p.93-99.

Silva, V. P. R.; Belo Filho, A. F. ; Silva, B. B. da; Campos, João H. B. da C. (2005). Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v.9, n.4, p.547-553.

Silva, V. P. R. Campos, J. H. B. C.; Silva, M. T.; Azevedo, P. V. (2010). Impact of global warming on cowpea bean cultivation in

northeastern Brazil. *Agricultural Water Management, Amsterdam*, v. 1, p. 1-9.

SUDENE, (1990). Dados pluviométricos mensais do Nordeste. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, Recife, (Série Pluviometria 1 a 10).

Sultan, B.; Baron, C.; Dingkuhn, M.; Sarr, B.; Janicot, S. (2005). Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.128, n.1, p.93-110.

Thorntwaite, C. W.; Mather, J. R. (1955). The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 104p. (Publications in Climatology, v.3, n.1).

Thornton, P. K. et al. (2009). Spatial variation of crop yield response to climate change in East Africa. *Global Environmental Change, Amsterdam*, v.19, n.1, p.54-65.