



O cultivo do algodão herbáceo no sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil, no cenário de mudanças climática

Madson T. Silva¹, Vicente de P. R. da Silva¹ & Pedro V. de Azevedo¹

RESUMO

O principal objetivo do estudo foi avaliar o impacto das mudanças climáticas no algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. *latifolium* Hutch) cultivado no Nordeste do Brasil a partir de estimativas da disponibilidade de terras aptas para a atividade agrícola de sequeiro. Essas informações, baseadas em cenários de aumento de temperatura e variabilidade da precipitação pluvial do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), alimentam um modelo inter-regional de balanço hídrico. Os dados utilizados no estudo foram séries climatológicas diárias de precipitação pluvial, maior que 30 anos, coeficientes da cultura, evapotranspiração potencial e a duração do ciclo. Os cenários denominados A, B e C correspondem, respectivamente, aos aumentos de temperatura média do ar em 1,5; 3,0 e 5,0 °C associados com as oscilações percentuais de precipitação de ± 10 ; ± 25 e $\pm 40\%$. O Índice de Satisfação das Necessidades de Água para a cultura (ISNA), definido como a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (ETr/ETm) foi utilizado como critério na definição das áreas favoráveis ao cultivo do algodoeiro. Os resultados obtidos sugerem que os cenários de mudanças climáticas podem provocar reduções de áreas favoráveis ao algodoeiro herbáceo em toda a região Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: precipitação pluvial, balance hídrico, evapotranspiração potencial

Cultivation of upland cotton in the rainfed system in Northeastern Brazil in the climate change scenario

ABSTRACT

The main objective of the study was to analyse the impact of climate change on upland cotton (*Gossypium hirsutum* L. *latifolium* Hutch) grown in Northeastern Brazil from estimates of the availability of land suitable for rainfed agriculture. This information, based on scenarios of increased temperature and rainfall variability of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), was used in a model of inter-regional water balance. The data series used in the study were climatological daily rainfall of more than 30 years, crop coefficients, evapotranspiration potential and cycle length. The scenarios named A, B and C were related to increases in average air temperature of 1.5, 3.0 and 5.0 °C, respectively. In addition, these scenarios were associated with the precipitation fluctuations of ± 10 , ± 25 and $\pm 40\%$. The Index Satisfaction of Water Requirements for crop (ISNA), defined as the ratio between the maximum evapotranspiration and actual evapotranspiration (ETa/ETm), was used as a criterion in defining areas favorable for cotton cultivation. The results obtained suggest that the climate change scenarios should lead to reduction in areas favorable for upland cotton in the entire northeast region of Brazil.

Key words: rainfall, water balance, potential evapotranspiration

¹ UACA/UFCG, Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, CEP 58429-140, Campina Grande, PB. Fone: (83) 2101-1202; 2101-1201. E-mail: madson_tavares@hotmail.com; vicente@dca.ufcg.edu.br; pvieira@dca.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas estão alterando as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, levando a mudanças do clima do planeta (Chakraborty, 2001). A ação antrópica foi intensificada após a Revolução Industrial e se caracteriza pela emissão de gases na atmosfera devido ao uso de recursos naturais pelo homem. Como consequência há uma retenção maior de radiação, que resulta no aumento do efeito estufa, elevando a temperatura média da superfície do planeta, motivo pelo qual a mudança climática é comumente denominada aquecimento global, mas outros efeitos são também importantes, como alterações nos padrões de distribuição e intensidade de ventos, chuvas e circulação dos oceanos.

Embora haja registro de mudanças climáticas decorrentes de causas naturais na história, as modificações resultantes da atividade humana estão crescendo significativamente nas últimas décadas (Chakraborty, 2001). Para Marengo (2001) já são percebidos alguns efeitos adversos sobre o clima do planeta, tal como o aumento do nível do mar, alteração no suprimento de água doce, fortes e mais frequentes tempestades de chuva e neve e ressecamento rápido do solo em razão de períodos secos mais intensos. Para este autor, atualmente a temperatura média do ar está mais alta do que em qualquer época dos últimos 600 anos, sendo a década de 1990 a mais quente do milênio.

O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2007) prevê que a produção de alimentos em todo o mundo poderá sofrer um impacto dramático nas próximas décadas por conta das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global. O aumento da temperatura ameaça o cultivo de várias plantas agrícolas e pode piorar o já grave problema da fome nas partes mais vulneráveis do planeta. Os países pobres da África e da Ásia seriam os mais afetados e os grandes produtores agrícolas, como o Brasil, também sentiriam tais efeitos, já na próxima década. A agricultura é uma atividade econômica que depende diretamente dos fatores climáticos. Qualquer mudança no clima pode afetar o zoneamento agrícola, a produtividade das diversas culturas e as técnicas de manejo. Tais alterações podem representar sérias consequências econômicas, sociais e ambientais (EPE, 1989).

A produção agrícola da região Nordeste do Brasil tem sido fortemente afetada pelos efeitos das frequentes e longas estiagens ocorridas, sobretudo no chamado “Polígono das Secas”, tornando a atividade agrícola, nesta região, primordialmente de subsistência (Assad & Pinto, 2008). A principal alternativa para tal situação é o aproveitamento das áreas com maior potencial agrícola, do ponto de vista de água e solo, com a exploração racional dos recursos hídricos e edáficos disponíveis, através da exploração das culturas economicamente mais rentáveis.

O uso de modelos de culturas para simulação em computadores possibilita economia de tempo, trabalho e quantidade de recursos para o planejamento e tomada de decisões de manejo no setor agrícola. A utilização de modelos de culturas em associação com as técnicas de geoprocessamento facilita a identificação de locais e épocas

mais recomendadas para o desenvolvimento das culturas, tornando-se uma importante ferramenta para o zoneamento agrícola e difusão de informações (Figueiredo Júnior, 2004). Vários estudos evidenciam que a definição das épocas de semeadura por meio do balanço hídrico, contribui para reduzir o risco climático causado pela distribuição irregular das chuvas (Silva & Amaral, 2009). Neste particular, as vantagens da utilização de modelos agrometeorológicos estão associadas ao baixo custo, velocidade de obtenção dos resultados, completa informação, criação e proposição de cenários ideais (Sultan et al., 2005; Silva et al., 2010a).

Estudos foram realizados para determinar a época de plantio do algodão herbáceo cultivado em sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil (Azevedo & Silva, 2007; Amaral & 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 nesta região, diante dos cenários de mudança climática propostos pelo IPCC.

MATERIAL E MÉTODOS

A área da região Nordeste brasileiro (NEB) de 1.558,196 km², equivale a 18% do território nacional. Esta região, que possui 3338 km de praias, está situada 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).

As projeções do risco climático foram realizadas por intermédio de um modelo de balanço hídrico da cultura, em duas partes, em que na primeira foi determinado o balanço hídrico; para tanto, utilizou-se o Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos - SARRA (Baron et al., 2005). Na aplicação do modelo não foi considerada qualquer evolução tecnológica, seja no manejo das culturas ou no seu melhoramento genético ou, ainda, qualquer adaptação fisiológica das plantas às novas condições. Os cenários agrícolas foram gerados a partir da combinação dos cenários de aumento na temperatura média do ar de 1,5; 3,0 e 5,0 °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.

Os dados climáticos utilizados referem-se às séries históricas de temperatura média mensal do ar e dados diários de precipitação pluvial dos últimos trinta anos registrados em 650 postos pluviométricos disponíveis na região Nordeste do Brasil foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para obtenção do Índice de Satisfação da Necessidade de Água para a Cultura (ISNA) foi utilizada a Eq. 1. O ISNA é a relação entre o conteúdo de água que a planta consumiu e que seria

necessário para atingir sua produtividade ao máximo (Assad et al., 2004; Gonçalves & Júnior 2008). O valor deste índice varia entre 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 maior a quantidade de água armazenada no solo (Nieuwenhuis et al., 2006).

$$ISNA = \frac{ETr}{ETm} \quad (1)$$

em que:

ETr - evapotranspiração real

ETm - evapotranspiração máxima, em milímetros por dia

O modelo estima a evapotranspiração real (ETr) por uma equação de terceiro grau, proposta por Eagleman (1971), que descreve a evolução da ETr, em função da evapotranspiração máxima - ETm e da umidade do solo (US), expressa como segue na Eq. 2:

$$ETr = A + B(US) - C(US^2) + D(US^3) \quad (2)$$

em que:

A - 0,732 - 0,05 ETm

B - 4,97 ETm - 0,66 ETm²

C - 8,57 ETm - 1,56 ETm²

D - 4,35 ETm - 0,88 ETm²

US - umidade do solo, g m⁻³

Obteve-se a evapotranspiração máxima (ETm) do algodoeiro herbáceo através da proposta metodológica apresentada por (Alfonsi et al., 1987) descrita na Eq. 3. Adotou-se o coeficiente de cultura variando de acordo com as fases fenológicas da cultura, seguindo-se as orientações da FAO.

$$ETm = Kc \times ETp \quad (3)$$

em que:

ETp - evapotranspiração potencial, mm dia⁻¹

Kc - coeficiente de cultivo

Para obtenção da evapotranspiração potencial (ETp) utilizou-se a Eq. 4, desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1955) sendo componente do modelo de balanço hídrico normal sequencial.

$$ETp = 16 \left(10 \frac{Tm}{I} \right)^a \left(\frac{Nhs}{12} \right) \left(\frac{Nd}{30} \right) \quad (4)$$

em que:

Tm - temperatura média mensal

Nhs - média de horas por dia com insolação

Nd - número de dias do mês, enquanto I e a são obtidos pelas Eq. 5 e 6, respectivamente.

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2Tm)^{1,514} \quad (5)$$

$$a = 0,49 + 0,018I - 7,7 \times 10^{-5} I^2 + 6,75 \times 10^{-7} I^3 \quad (6)$$

Foram empregados os valores do ISNA obtidos como resultado das simulações dos cenários de mudança climática para o período fenológico compreendido entre a floração e o enchimento dos caroços (período mais crítico ao déficit hídrico), com frequência mínima de 80%. Os valores do ISNA foram classificados em três classes qualitativas: (i) ISNA ≥ 0,55 (baixo risco climático), (ii) 0,45 ≤ ISNA < 0,55 (médio risco climático) e (iii) ISNA < 0,45 (alto risco climático) (Silva et al., 2010b), com o objetivo de traçar prognósticos preliminares dos possíveis impactos que poderão ocorrer diante dos cenários de mudança climática sobre o cultivo do algodoeiro herbáceo na região nordeste do Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As distribuições espaciais do ISNA para as condições de clima atual (CCA) e para os cenários de aumento da temperatura média do ar de 1,5, 3,0 e 5,0 °C, associados ao aumento e decréscimo na precipitação pluvial (±25% da média anual), são apresentadas a seguir. Os riscos climáticos do algodão herbáceo semeado no segundo decêndio de novembro para os cenários de mudança na precipitação pluvial e na temperatura média do ar, são apresentadas nas Figuras 1 e 2. Apesar do aumento na temperatura média do ar, não se verificaram grandes variabilidades dos riscos climáticos sobre o algodão cultivado nas regiões situadas na porção oeste do NEB, sobretudo para os cenários com aumento de precipitação (Figura 1), quando comparadas com condições climáticas atuais (Figura 1A), porém o aumento da temperatura média do ar associado aos cenários de decréscimo na precipitação (Figura 2), ocasionou o crescimento das áreas com alto risco climático em todos os cenários analisados.

A forçante do aumento da precipitação, que resulta em maior disponibilidade hídrica, pode ser uma das causas da pouca variabilidade das áreas com médio risco climático para o desvio de ±25% na precipitação pluvial. Com o acréscimo de 25% na precipitação, ocorreu redução nas áreas de baixo risco climático na região oeste do Estado da Bahia (Figura 1). Contudo, mesmo para o cenário de aumento de 5,0 °C (Figura 1D), ainda são observadas áreas favoráveis ao cultivo do algodoeiro, em grande parte dos Estados do Maranhão e Piauí. De forma ainda mais evidente verificam-se poucas áreas agrícolas favoráveis à semeadura do algodão nos casos de redução de 10% na precipitação (Figura 2). Esta situação restringe as áreas favoráveis, basicamente apenas para os cenários de aumento de 1,5 e 3,0 °C (Figura 2B e 2C), sobretudo nos Estado do Maranhão, haja vista a acentuada diminuição dos setores de médio e baixo risco climático para as demais regiões.

Porém, quando se analisam apenas os cenários com reduções na precipitação verificam-se condições extremamente críticas quanto à redução das áreas com baixo risco, para o decréscimo de 25% na precipitação. As áreas com baixo risco se restringem apenas para o cenário de aumento de 1,5 °C (Figura 2B); para os demais cenários de aumento de temperatura

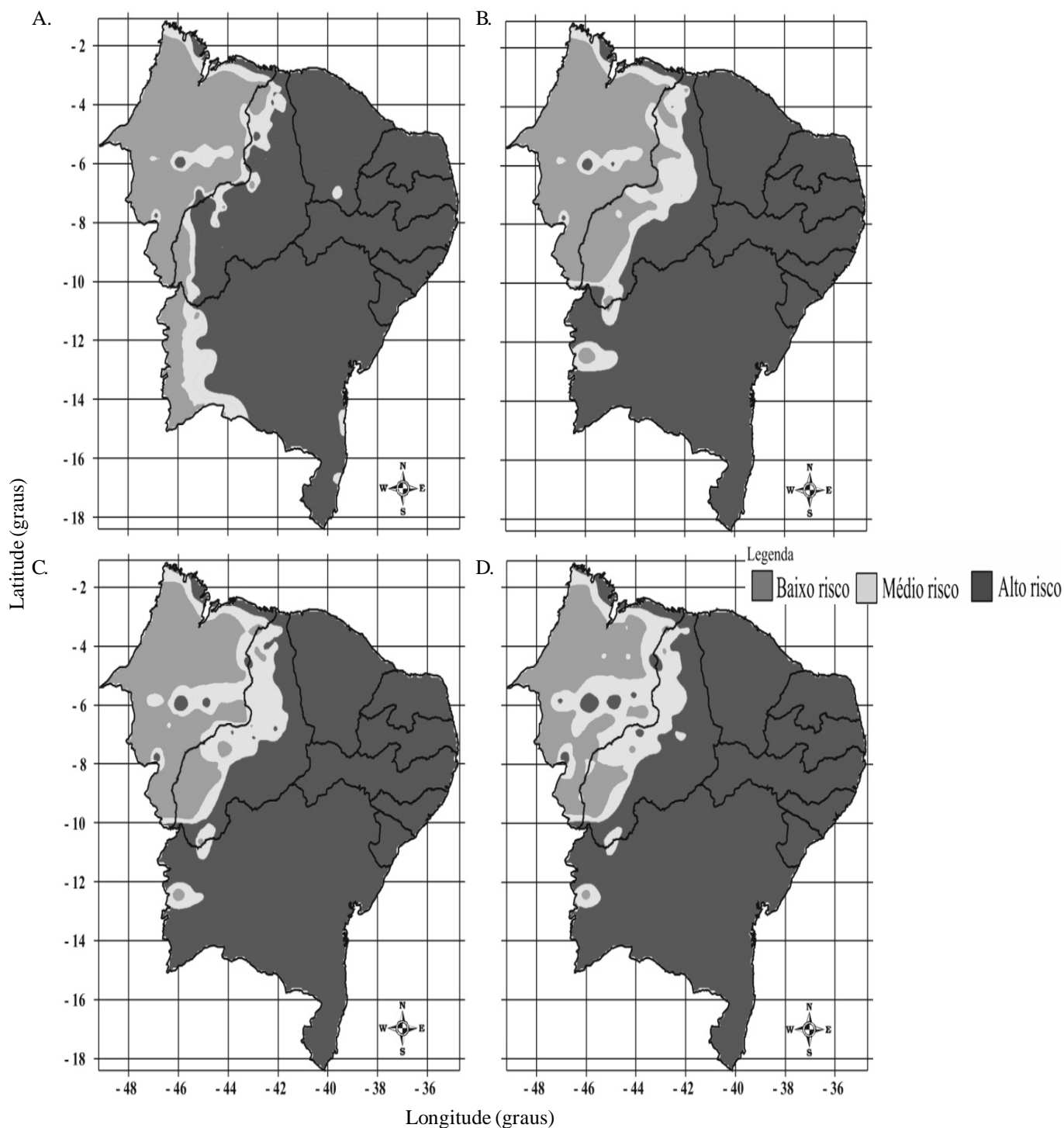


Figura 1. Risco climático do algodão herbáceo semeado no segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil, para as condições climáticas atuais (A), aumento de 1,5 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial (B); aumento de 3,0 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial (C) e aumento de 5,0 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial (D)

média do ar as áreas com alto risco predominam quase em toda a região, principalmente para o cenário de 5,0 °C (Figura 2D).

Este resultado ressalta a sensibilidade da cultura à variabilidade climática, que afeta as características fisiológicas da planta quando submetida a altas temperaturas médias do ar. Os aumentos abruptos na temperatura média do ar também podem acarretar diminuição de áreas de médio e baixo risco

climático, pois esta variável ambiental interfere no crescimento e no desenvolvimento das culturas, em virtude de afetar significativamente a fenologia, a expansão foliar, a alongação dos internós, a produção de biomassa e a partição de assimilados em diferentes partes da planta. A razão disto é que as plantas possuem uma faixa ideal para o seu desenvolvimento, em que para o algodoeiro a temperatura média do ar ideal para

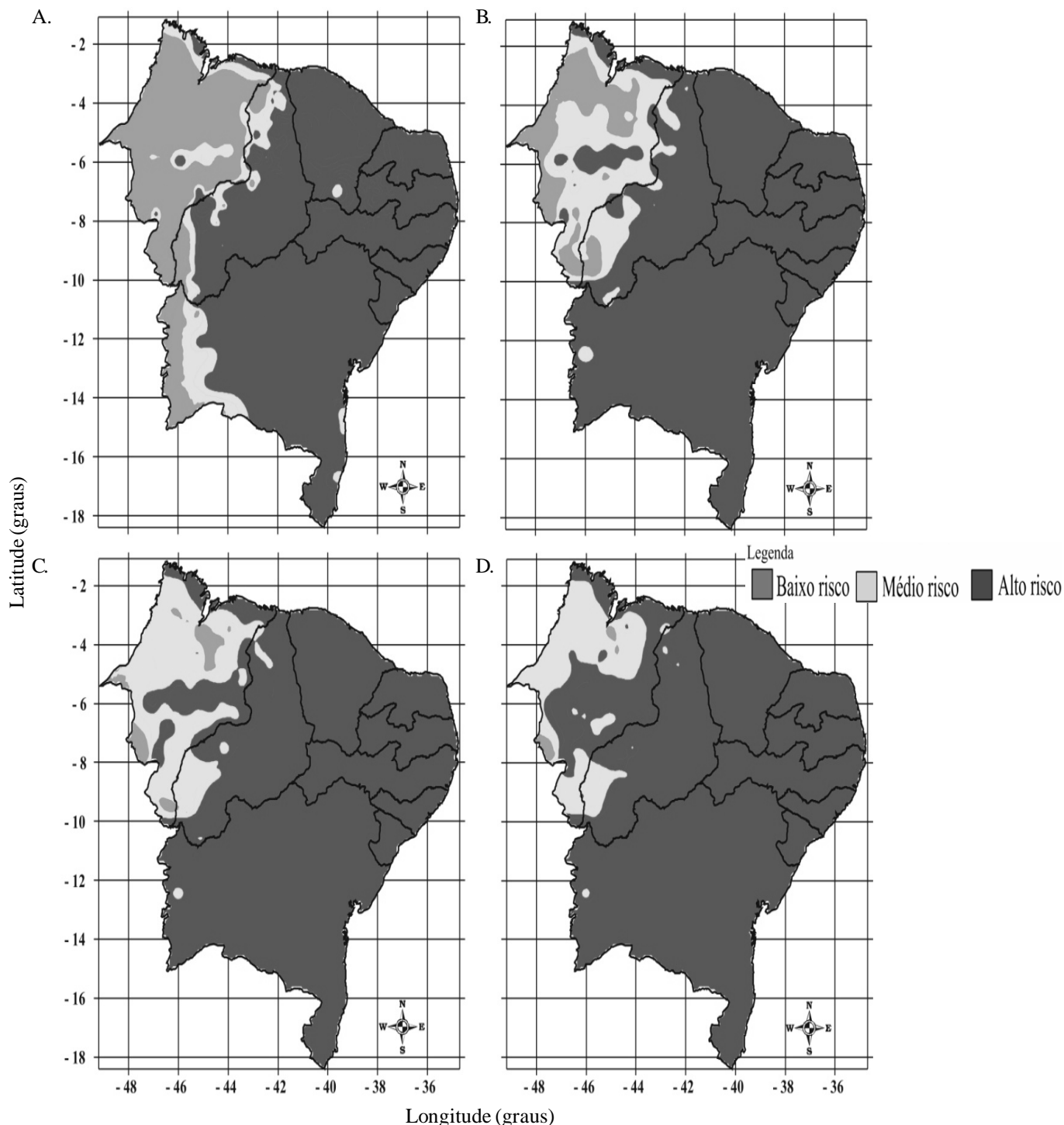


Figura 2. Risco climático do algodão herbáceo semeado no segundo decêndio de novembro na região Nordeste do Brasil, para as condições climáticas atuais (A), aumento de 1,5 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial (B), aumento de 3,0 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial (C) e aumento de 5,0 °C na temperatura média do ar, além de redução de 25% na precipitação pluvial (D)

uma produção satisfatória fica entre 20 e 30 °C (Azevedo & Silva, 2007).

A análise do segundo decêndio de janeiro revela que as áreas agrícolas com baixo e médio risco climático ficaram localizadas na parte norte do NEB mediante todos os cenários de mudança climática, em região de influência da ZCIT (Figura 3). Este fenômeno é um dos principais mecanismos de grande

escala, responsáveis pela precipitação na região. A ZCIT assume a posição mais ao sul do NEB no mês de março (Silva et al., 2009). Neste período as demais regiões do Nordeste apresentaram muitas áreas com alto risco climático também mediante os cenários de aumento de temperatura média do ar e de flutuações na precipitação pluvial. Isto pode ser explicado pela elevada variabilidade da precipitação na região provocada

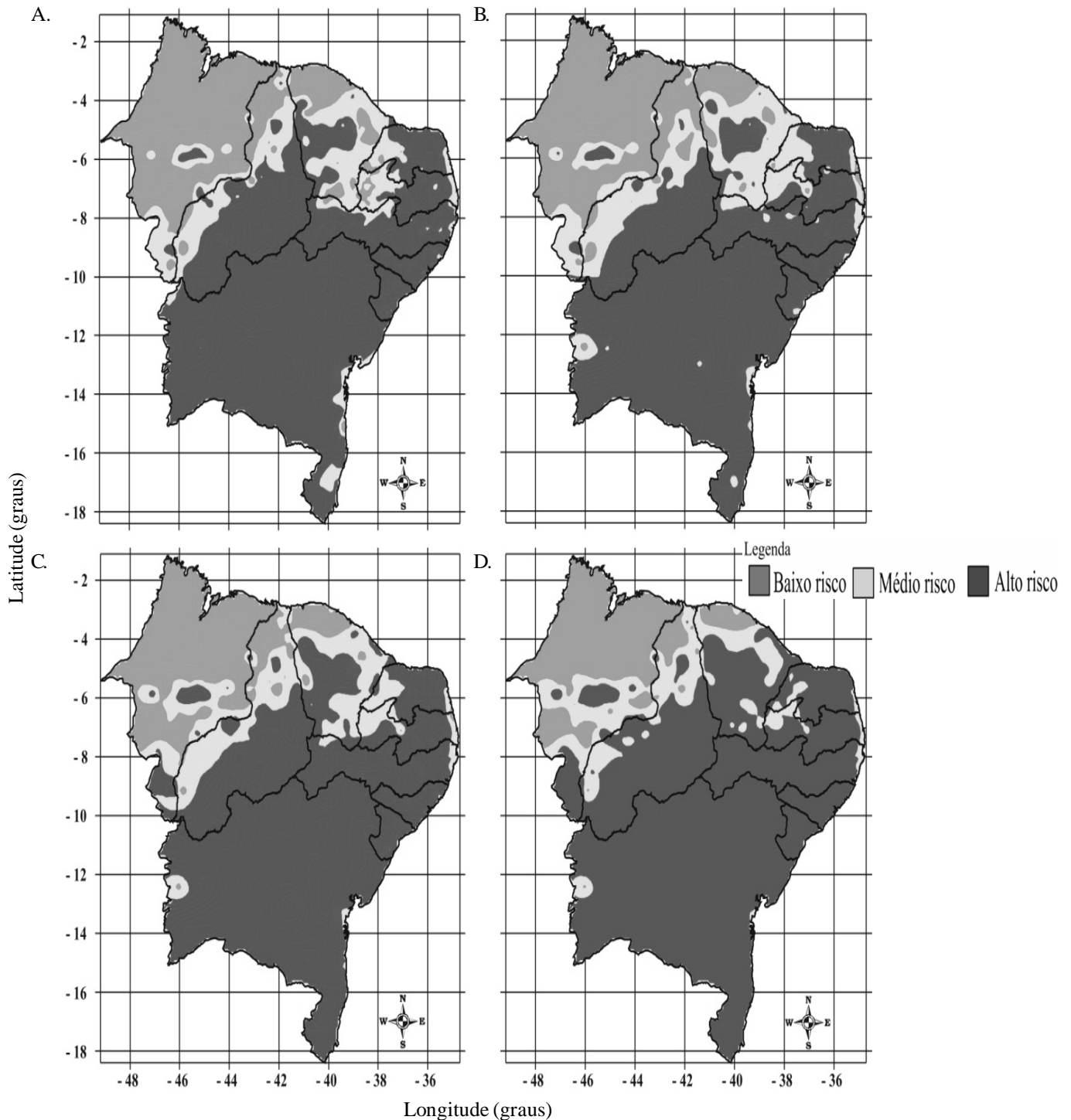


Figura 3. Risco climático do algodão herbáceo semeado no segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil, para as condições climáticas atuais (A), aumento de 1,5 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial (B), aumento de 3,0 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial (C), e aumento de 5,0 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial (D)

pela irregularidade espaço-temporal da ocorrência dos fenômenos produtores de chuva (Silva, 2004). Nesta área a precipitação média anual varia entre 1500 e 2000 mm e o período chuvoso se estende de abril a julho (Silva, 2004). Na porção leste do NEB os sistemas precipitantes são alimentados pela grande quantidade de umidade que é advectada do oceano para o continente, incluindo-se os Vórtices Ciclônicos de Ar

Superior e as Ondas de Leste, dentre vários outros sistemas atuantes na região.

Quando se compara a área agrícola do primeiro decêndio de novembro com o primeiro de decêndio janeiro não se observam grandes mudanças sobre as regiões situadas na porção oeste do NEB (Figuras 3 e 4). Constatam-se apenas um pequeno deslocamento de áreas com médio risco climático na porção

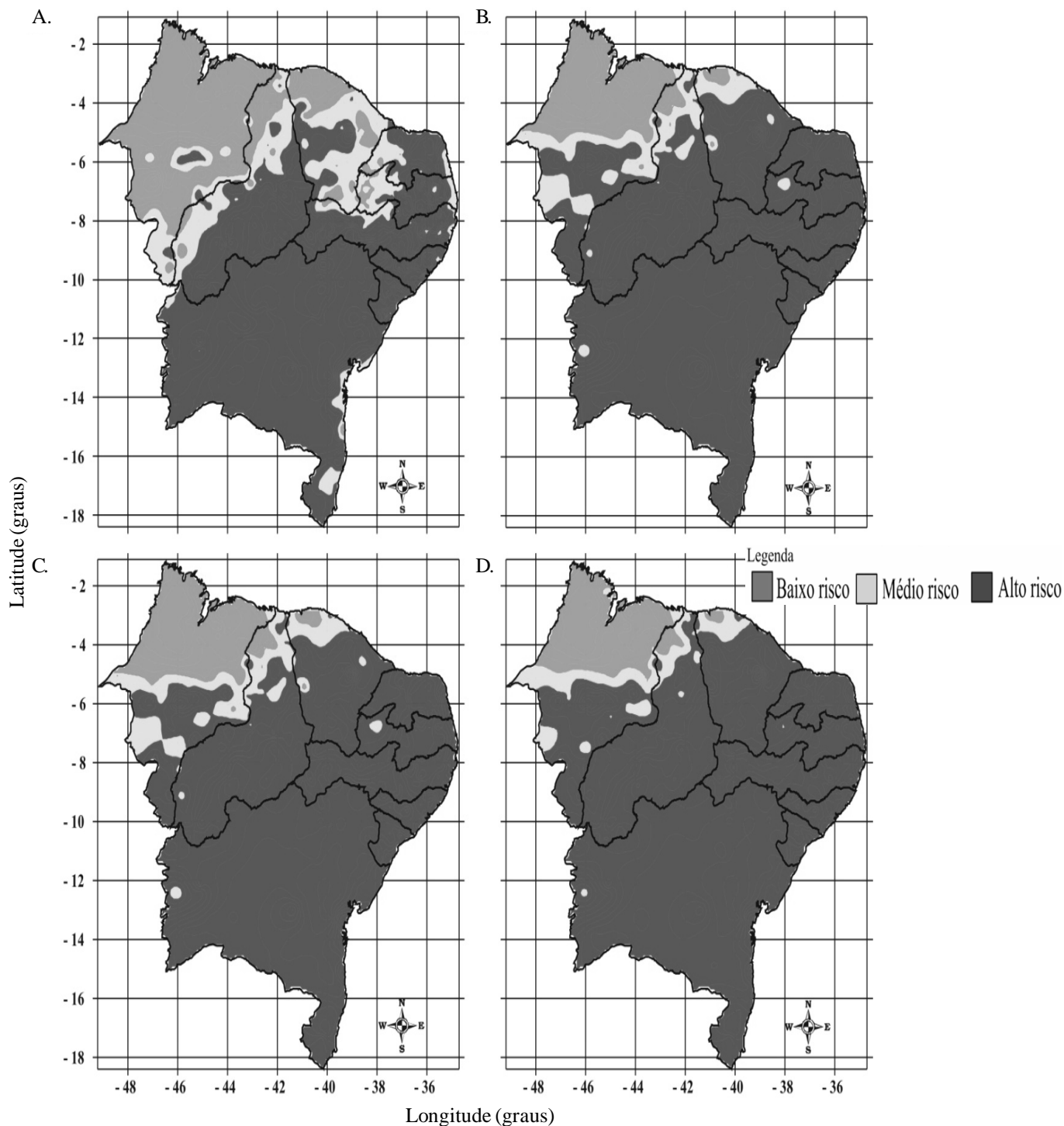


Figura 4. Risco climático do algodão herbáceo semeado no segundo decêndio de janeiro na região Nordeste do Brasil, para as condições climáticas atuais (A), aumento de 1,5 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial (B), aumento de 3,0 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial (C), e aumento de 5,0 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial (D)

oriental da região e algumas regiões com médio risco, no interior do Estado do Ceará, situação similar quando se analisa o cenário com aumento na precipitação para as condições climáticas atuais (Figura 3A). Tal fato se torna mais evidente com o acréscimo de temperatura média do ar, pois as áreas com alto risco climático se tornam maiores para todos os cenários de decréscimo na precipitação (Figura 4). A dinâmica no

processo de surgimento de áreas com baixo e médio risco climático, na porção mais ao leste do NEB, pode estar associada à influência dos sistemas atmosféricos que atuam sobre a região. Portanto, é possível inferir que o aumento de temperatura média do ar continua sendo fator limitante ao cultivo do algodão, mesmo diante do aumento da oferta hídrica. Resultados semelhantes obtiveram Campos et al. (2010), quando

analisaram o risco climático do cultivo do feijão caupi no Estado da Paraíba.

No segundo decêndio de março (Figuras 5 e 6) e de acordo com o modelo do zoneamento de risco climático, as alterações resultantes do aumento da temperatura média do ar são perceptíveis quanto às áreas com baixo risco climático para os cenários de acréscimo de precipitação (Figura 5).

Essas circunstâncias provocam a concentração de áreas favoráveis ao cultivo do algodão próximas ao litoral do Nordeste, tanto na porção mais ao norte quanto na porção mais oriental, como resultado da maior oferta hídrica nessas áreas, proporcionada pela grande quantidade de umidade advectada do oceano Atlântico e pelo deslocamento para o sul da ZCIT no período.

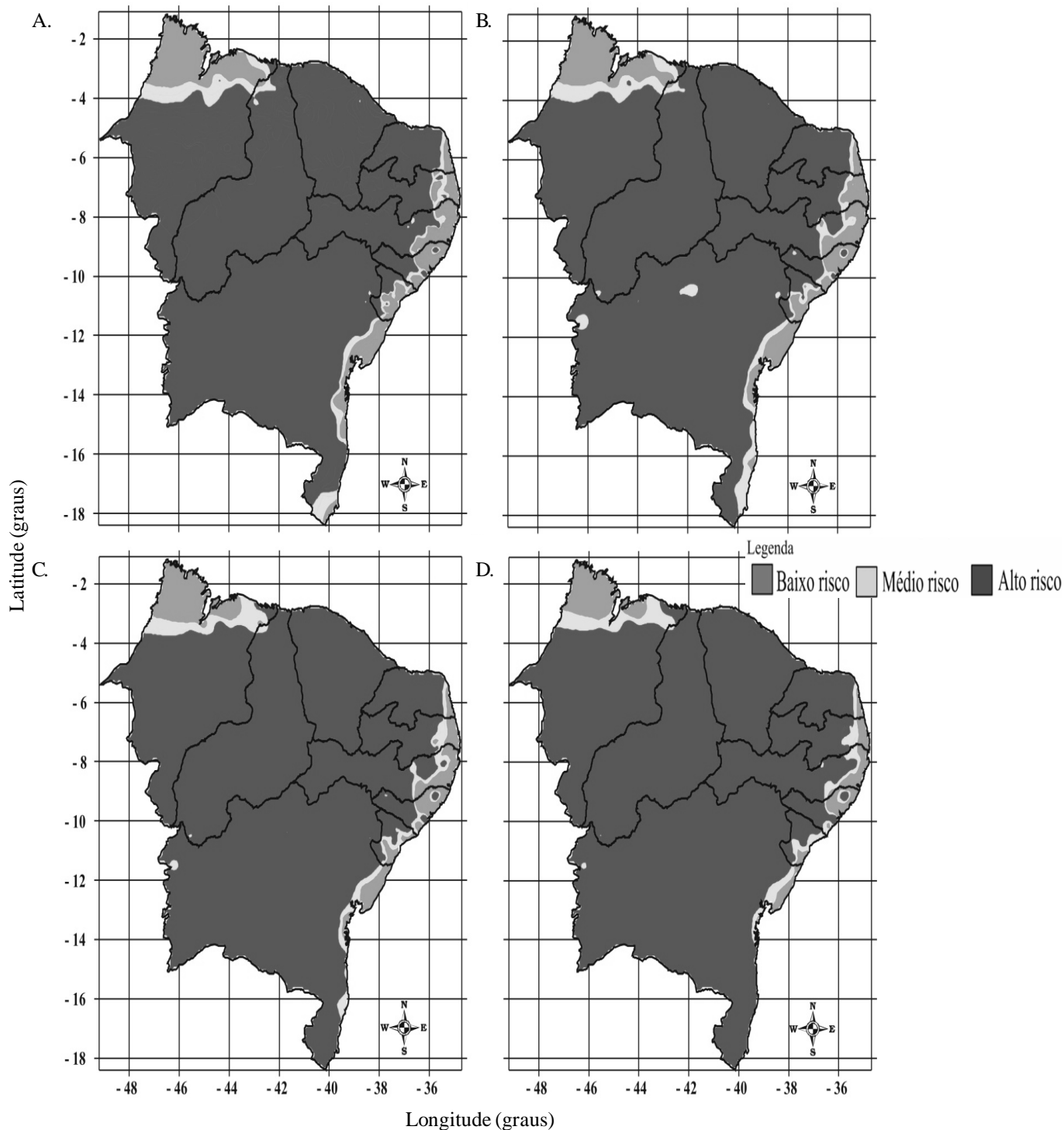


Figura 5. Risco climático do algodão herbáceo semeado no segundo decêndio de março na região Nordeste do Brasil, para as condições climáticas atuais (A), aumento de 1,5 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial (B), aumento de 3,0 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial (C) e aumento de 5,0 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial (D)

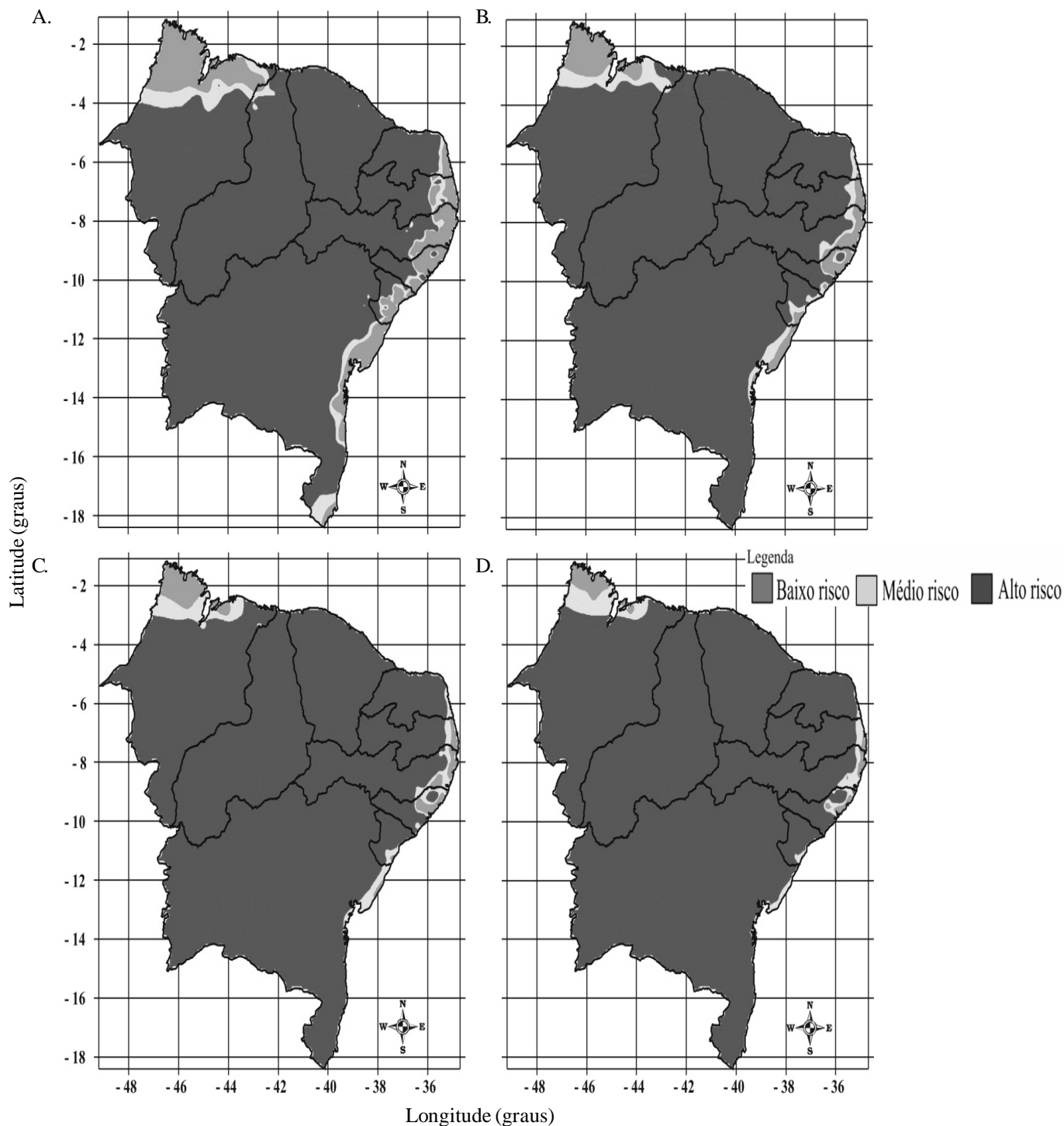


Figura 6. Risco climático do algodão herbáceo semeado no segundo decêndio de março na região Nordeste do Brasil, para as condições climáticas atuais (A), aumento de 1,5 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial (B), aumento de 3,0 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial (C), e aumento de 5,0 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial (D)

O cenário de redução na precipitação (Figura 6) se caracteriza por uma oferta hídrica menor nas áreas favoráveis ao cultivo do algodoeiro herbáceo, de tal forma que os efeitos oriundos dos cenários de aumento de temperatura média do ar são mais intensos. Esses efeitos são evidentes no prolongamento do período de seca durante as épocas chuvosas, fazendo com que o déficit hídrico seja superior

àqueles verificados nas condições climáticas atuais (Figura 6A).

O manejo do algodoeiro em regiões de grande umidade requer maiores cuidados devido, sobretudo, à atuação de organismos patogênicos que, em função das alterações ambientais, também podem atuar de forma diferenciada sobre seus hospedeiros (Silva & Amaral, 2007). Assim, as condições

de manejo de culturas perenes tendem a ter maiores dificuldades em se adaptar à menor oferta hídrica. O rendimento agrícola é reduzido em função da degradação do solo, disponibilidade de água durante o período de crescimento das culturas e pelo aumento da temperatura média do ar (Campos et al., 2008). Em função da diminuição da oferta hídrica para os cenários de decréscimo de precipitação, espera-se que as áreas irrigadas sejam expandidas. Para manutenção das áreas agricultáveis, no entanto, tornam-se necessários estudos de impactos ambientais diante das novas condições de manejo. A eficiência do uso da água pode diminuir no futuro, em função da taxa evapotranspiração que será alterada diante dos cenários de mudança climática.

A Tabela 1 sumariza a variação percentual em área agrícola do algodoeiro herbáceo cultivado na região Nordeste do Brasil para as condições climáticas atuais e para os cenários de aumento de temperatura média do ar de 1,5; 3,0 e 5,0 °C e de aumento de 25% na precipitação pluvial. Nessas condições durante o terceiro período simulado, tendo em vista a maior oferta hídrica, as áreas agrícolas com baixo risco climático nas CCA, que variaram de 3,8 a 29,1%, sofrem acréscimos significativos passando a variar entre 3,9-30,1; 2,3-23,9 e 0,6-19,9% para os cenários de aumento da temperatura média do ar de 1,5; 3,0 e 5,0 °C, respectivamente. Todavia, a disponibilidade de áreas com baixo risco se torna decrescente em consequência dos cenários de aumento na temperatura média do ar até um valor mínimo de 0,6% para o aquecimento de 5,0 °C durante o último período simulado, associada ao aumento de 25% na

precipitação média. Na tentativa de identificar o impacto das mudanças do clima na produção regional do café, Assad et al. (2004) verificaram que, se ao acrescentar 1,0 °C na temperatura média do ar ocorre aumento na demanda evapotranspirativa, provocando maior deficiência hídrica, mesmo se considerando um acréscimo de 15% na precipitação pluvial. O acréscimo de 1,0 °C na temperatura média do ar provocou aumento de 61,6 para 85,9% nas áreas inaptas para o cafeeiro da espécie *Coffea arábica*. Por outro lado, ao aumentar para 3,0 °C, 99,9% do Estado de Goiás passariam à condição de inapto, inclusive para o café irrigado.

A Tabela 2 exhibe a variação das áreas com alto, médio e baixo riscos climáticos durante os cenários de mudanças climáticas. É possível verificar que as condições de decréscimo de 25% na precipitação podem ser ainda mais pessimistas do ponto de vista da distribuição de áreas de baixo risco, ao longo do período de cultivo do algodoeiro no NEB. Para o cenário de aumento de 5,0 °C e decréscimo de 25% na precipitação pluvial, as áreas com baixo risco climático variaram no último período simulado, entre 0,0-11,1%. Tais valores são bem inferiores quando comparados com aqueles dos cenários com aumento de 25% na precipitação.

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 et al., 2004). Na agricultura, tal vulnerabilidade é responsável pela quebra de produção das espécies produtoras de alimentos. Em todos os cenários climáticos analisados neste estudo, o

Tabela 1. Área agrícola (%) do algodoeiro herbáceo na região Nordeste do Brasil, com alto (AR), médio (MR) e baixo risco climático (BR) para o cultivo do algodoeiro herbáceo na região Nordeste do Brasil para as condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial, aumento de 3,0 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial e aumento de 5,0 °C na temperatura média do ar e 25% na precipitação pluvial

Períodos de semeadura	AR	MR	BR	AR	MR	BR	AR	MR	BR	AR	MR	BR
	CCA			Aumento de 1,5 °C			Aumento de 3,0 °C			Aumento de 5,0 °C		
11 a 20 / 11	65,2	13,3	21,5	64,7	7,9	27,4	66,7	8,8	24,5	68,5	10,6	20,9
11 a 20 / 12	64,7	10,8	24,5	58,3	10,5	31,2	62,0	9,5	28,5	64,8	9,2	26,0
11 a 20 / 01	55,7	15,2	29,1	53,6	16,3	30,1	59,0	17,1	23,9	63,2	16,9	19,9
11 a 20 / 02	71,2	12,5	16,3	72,3	11,8	15,9	78,6	8,9	12,5	82,7	7,1	10,2
11 a 20 / 03	84,0	5,6	10,4	83,1	6,6	10,3	87,4	4,9	7,7	90,3	3,8	5,9
11 a 20 / 04	84,9	4,8	10,3	84,5	4,9	10,6	87,5	4,8	7,7	91,6	3,2	5,2
11 a 20 / 05	87,7	3,9	8,4	87,3	4,1	8,6	89,7	4,3	6,0	93,5	3,0	3,5
11 a 20 / 06	94,0	2,2	3,8	94,1	2,0	3,9	95,8	1,9	2,3	97,7	1,7	0,6

Tabela 2. Área agrícola (%) do algodoeiro herbáceo na região Nordeste do Brasil, com alto (AR), médio (MR) e baixo risco climático (BR) para o cultivo do algodoeiro herbáceo na região Nordeste do Brasil para as condições climáticas atuais (CCA), aumento de 1,5 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial, aumento de 3,0 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial e aumento de 5,0 °C na temperatura média do ar e redução de 25% na precipitação pluvial

Períodos de semeadura	AR	MR	BR	AR	MR	BR	AR	MR	BR	AR	MR	BR
	CCA			Aumento de 1,5 °C			Aumento de 3,0 °C			Aumento de 5,0 °C		
11 a 20 / 11	65,2	13,3	21,5	73,1	12,9	14,0	76,2	16,8	7,0	81,3	16,3	2,4
11 a 20 / 12	64,7	10,8	24,5	67,6	10,6	21,8	70,7	14,0	15,3	74,0	14,9	11,1
11 a 20 / 01	55,7	15,2	29,1	67,8	16,5	15,7	73,9	13,7	12,4	79,7	9,4	10,9
11 a 20 / 02	71,2	12,5	16,3	85,1	5,9	9,0	87,7	5,2	7,1	89,6	4,3	6,1
11 a 20 / 03	84,0	5,6	10,4	90,9	3,5	5,6	92,9	3,4	3,7	94,7	3,0	2,3
11 a 20 / 04	84,9	4,8	10,3	92,3	2,8	4,9	94,4	2,0	3,6	96,2	2,4	1,4
11 a 20 / 05	87,7	3,9	8,4	93,8	2,1	4,1	95,5	2,0	2,5	97,8	1,7	0,5
11 a 20 / 06	94,0	2,2	3,8	97,2	1,5	1,3	98,6	1,1	0,3	99,7	0,3	0,0

aumento na temperatura média do ar acentuará, dentre muitos outros efeitos, o abortamento de flores, que é fator restritivo à manutenção da produtividade do algodoeiro.

Os impactos oriundos dos cenários simulados podem ser minimizados considerando-se duas situações: a primeira está relacionada às práticas de manejo mitigadores implantados, ou seja, elaboração de processos que tentam minimizar os efeitos sobre as plantas da elevação das temperatura média do ar ou do aumento dos períodos de estiagem e a segunda situação trata de estudos genéticos para a adaptação da cultura às novas condições climáticas. Tal adaptação pode ser forçada através do chamado melhoramento genético, convencional ou pela engenharia genética. Com o aumento na temperatura média do ar nas próximas décadas, a agricultura de sequeiro continua sendo uma prática de alto risco no semiárido brasileiro; desta 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 (Campos et al., 2010).

As evidências do aquecimento global têm levado muitos pesquisadores a avaliarem os efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura de sequeiro, particularmente para as regiões do mundo em que os recursos hídricos são escassos e limitados (Sultan et al., 2005; Lobell et al., 2006; Kouressy et al., 2008; Jarvis et al., 2008; Thornton et al., 2009). Para uma adaptação melhor da cultura é necessário utilizar técnicas da biotecnologia que possibilitem introduzir novos genes nas plantas, criando tolerância à seca e às temperaturas médias do ar 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 et al., 2004). 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. Desta forma e a fim de manter a produção do algodoeiro no Nordeste do Brasil, nos próximos anos, tanto no que diz respeito à qualidade quanto à quantidade, deve-se tomar medidas que levem em consideração a possibilidade da temperatura média do ar sofrer acréscimos acentuados durante este século.

CONCLUSÕES

1. Os riscos climáticos para o cultivo do algodoeiro herbáceo na região nordeste do Brasil aumentam substancialmente quando os aumentos da temperatura do ar são associados ao decréscimo de precipitação pluvial. Quanto maior a anomalia negativa de chuva, menos apta se tornará a região.

2. No cenário de aquecimento de 1,5 °C na temperatura média do ar, a disponibilidade de áreas favoráveis ao cultivo do algodoeiro está diretamente relacionada com a maior oferta hídrica dos cenários de aumento na precipitação pluvial.

3. O aumento da temperatura média do ar acima de 1,5 °C torna-se fator limitante ao cultivo do algodoeiro na região, mesmo diante do aumento da oferta hídrica.

LITERATURA CITADA

- Alfonsi, R. R.; Pedro Júnior, M. J.; Brunini, O.; Barbieri, U. Condições climáticas para cana-de-açúcar. In: Paranhos, S. B (org.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.42-55.
- Amaral, J. A. B. do; Silva, M. T. Zoneamento agrícola do algodão herbáceo no nordeste brasileiro safra 2007/2008 - Estado do Ceará. Embrapa-CNPA, Campina Grande, 2007, 8p. Comunicado Técnico 321
- Assad, E. D.; Pinto, H. S. Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira. São Paulo: Embrapa Agropecuária – CEPAGRI/UNICAMP, 2008. 84p.
- Assad, E. D.; Pinto, H. S.; Zullo Júnior, J.; Ávila, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.1057-1064, 2004.
- Azevedo, P. V. de; Silva, F. D. S. Risco climático para o cultivo do algodoeiro na região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, p.408-416, 2007.
- Baron, C.; Sultan, B.; Balme, M.; Sarr, B.; Traoré, S.; Lebel, T.; Janicot, S.; Dingkuhn, M. From GCM grid cell to agricultural plot: scale issues affecting modeling of climate impact. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, v.360, p.2095-2108, 2005.
- Campos, J. H. B. da C.; Silva, M. T.; Silva, V. P. R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.396-404, 2010.
- Campos, J. H. B. da C.; Silva, V. de P. R. da; Azevedo, P. V. de; Borges, C. J. R.; Soares, J. M.; Moura, M. S. B.; Silva, B. B. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, p.150-156, 2008.
- Chakraborty, S. Effects of climate change. In Waller, J. M. L.; Waller, S. J. (Ed.). Plant pathologist's pocketbook. CAB International, 2001. p.203-207.
- Eagleman, A. M. An experimentally derived model for actual evapotranspiration. Agricultural Meteorology, v.8, p.385-409, 1971.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007 – Rio de Janeiro: EPE, 2008. 244p.
- Figueiredo Júnior, L. G. M. Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho no Estado de São Paulo: ESALQ, 2004. 68p. Tese Doutorado
- Gonçalves, R. B. V.; Zullo Júnior, J. Relação entre a resposta espectral da cana-de-açúcar, registrada e serie temporal de imagens do satélite AVHRR/NOAA, e condições agroclimáticas descritas pelo índice ISNA. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.16, p.211-219, 2008.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.ibge.gov.br>, 25 Ago. 2009.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007 – The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 33p.

- Jarvis, A.; Lane, A.; Hijmans, R. J. The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.126, p.13-23, 2008.
- Kouressy, M.; Dingkuhn, M.; Vaksman, M.; Heinemann, A. B. Adaptation to diverse semi-arid environments of sorghum genotypes having different plant type and sensitivity to photoperiod. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.148, p.357-371, 2008.
- Lobell, D. B.; Field, C. B.; Cahill, K. N.; Bonfils, C. Impacts of future climate change on California perennial crop yields: model projections with climate and crop uncertainties. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.141, p.208-218, 2006.
- Marengo, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.16, p.1-18, 2001.
- Nieuwenhuis, G. J. A.; Wit, A. J. W.; van Kraalingen, D. W. G.; van Diepen, C. A.; Boogaard, H. L. Monitoring crop growth conditions using the global water satisfaction index and remote sensing. In: *ISPRS Commission VII Mid-term Symposium Remote Sensing: From Pixels to Processes*, Enschede: The Netherlands. 2006. CD-Rom
- Silva, M. T.; Amaral, J. A. B. Zoneamento de risco climático para a cultura do amendoim no Estado do Rio Grande do Norte. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7, p.93-99, 2007.
- Silva, V. de P. R. da. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v.58, p.575-596, 2004.
- Silva, V. de P. R. da; Azevedo, P. V. de; Brito, R. S.; Campos, J. H. B. C. Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil. *Environmental Monitoring Assessment*, v.161, p.45-59, 2010a.
- Silva, V. de P. R. da; Campos, J. H. B. C.; Silva, M. T.; Azevedo, P. V. de. Impact of global warming on cowpea bean cultivation in northeastern Brazil. *Agricultural Water Management*, v.1, p.1-9, 2010b.
- Silva, V. de P. R. da; Pereira, E. R. R.; Azevedo, P. V. de; Campos, J. H. C. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação e do número de dias chuvosos no estado da Paraíba. *Revista Ciência da Vida*, v. 29, p.50-62, 2009.
- Sultan, B.; Baron, C.; Dingkuhn, M.; Sarr, B.; Janicot, S. Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.128, p.93-110, 2005.
- Thorntwaite, C. W.; Mather, J. R. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.
- Thornton, P. K.; Jones, P. G.; Alagarswamy, G.; Andresen, J. Spatial variation of crop yield response to climate change in East Africa. *Global Environmental Change*, v.19, p.54-65, 2009.