



## Cenário agrícola para o plantio da cultura do feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] no estado do Maranhão baseado em projeções futuras de mudanças climáticas

*Agricultural scenario for the cultivation plant of the cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.] in the state of Maranhão based on future forecasts of climate change*

Raymyson Rhuryo de Sousa Queiroz<sup>1</sup>, Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes<sup>2</sup>, Danyelle Lopes da Rocha<sup>2</sup>, Rayane Cristine Cunha Moreira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Maranhão, Brasil.

Contato: [rrsqueiroz@hotmail.com](mailto:rrsqueiroz@hotmail.com)

### Palavras-Chave

balanço hídrico  
produção agrícola  
risco climático  
feijão

### RESUMO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] apresenta características que torna essa planta uma das mais cultivadas em regiões de população de baixa renda. O calendário agrícola para esta cultura é uma alternativa de planejamento eficiente para o cultivo com menos riscos ao agricultor. O presente estudo objetivou avaliar o risco climático para o plantio do feijão-caupi para diferentes cenários de mudanças climáticas no estado do Maranhão. O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Meteorologia e para a descrição do cenário climático futuro foram utilizadas simulações baseadas no modelo climático regional Eta, forçado pelo modelo climático global HadGEM2-ES. As projeções foram determinadas por região homogênea. Para definir as melhores épocas de plantio, foi utilizado o critério do Índice de Satisfação das Necessidades de Água da cultura, conhecido com ISNA, na fase inicial do ciclo e floração/enchimento de grãos. Foram realizadas simulações a cada 10 dias para diferentes épocas de plantio. A partir dessas simulações foram elaborados os calendários de risco climático futuros para cada tipo de solo. Os resultados revelam o aumento da temperatura do ar nos próximos trinta anos. Principalmente no cenário pessimista, pois o aumento de temperatura pode superar 2° C nos próximos 30 anos nas regiões do Médio Mearim e Chapada do Alto Itapecuru, com variabilidade na disponibilidade hídrica para o cultivo e mudanças nas janelas recomendadas para o plantio com baixo risco climático.

### Key-word

water balance  
agricultural production  
climate risk  
bean

### ABSTRACT

*Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] has characteristics that make it one of the most cultivated in low-income regions. The agricultural calendar for this crop is an efficient planning alternative for the least risky farmer. This study aimed to evaluate the climate risk for cowpea planting for different scenarios of climate change in the state of Maranhão. The experiment was developed at the Meteorology Laboratory and for the description of the future climate scenario we used simulations based on the regional climate model Eta, forced by the global climate model HadGEM2-ES. The projections were determined by homogeneous region. In order to define the best planting times, the criterion of the Water Needs Satisfaction Index of the crop, known as ISNA, was used in the initial phase of the cycle and flowering / grain filling. Simulations were performed every 10 days for different planting times. From these simulations, the future climate risk calendars were elaborated for each soil type. The results show an increase in air temperature over the next thirty years. Especially in the pessimistic scenario, as the temperature increase may exceed 2°C in the next 30 years in the regions of Médio Mearim and Chapada do Alto Itapecuru, with variability in water availability for cultivation and changes in the windows recommended for planting with low climatic risk.*

### Informações do artigo

Recebido: 27 de novembro, 2020

Aceito: 28 de janeiro, 2021

Publicado: 30 de abril, 2021

## Introdução

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] apresenta vários nomes comuns como: feijão-da-estrada, feijão-de-praia, feijão-de-rama, feijão fradinho, feijão-de-corda, entre outros. O feijão-caupi é descrito como uma leguminosa com destaque na alimentação humana de populações de baixa renda, principalmente, da África e América Latina, pois é uma das predominantes fontes de proteína (OLIVEIRA et al., 2015). No mundo, os principais produtores de feijão-caupi são as regiões tropicais da América; Ásia e África, onde é plantado um total mundial de 10,4 milhões de hectares (FAO, 2018).

Grandes áreas de plantação de feijão-caupi são encontradas nas regiões Norte e Nordeste, pois o cultivo tem grande representação socioeconômica para a agricultura familiar (SOUZA et al., 2011). A produção é facilitada em virtude das características do caupi, pois tolera temperaturas entre 18 e 34°C. Valores além dessa faixa resultam na predominância do desenvolvimento vegetativo com baixa produção de grãos (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2002). Além disso, é uma planta resistente à seca e de ciclo curto. Entretanto, em situação de déficit hídrico prolongado há perda por baixo rendimento de grãos (OLIVEIRA et al., 2005; RAMALHO et al., 2009). Dentre as regiões brasileiras, a Nordeste é a mais propícia a vivenciar o déficit hídrico por aridização e, posterior, desertificação devido às mudanças climáticas (MARENGO et al., 2011). O Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do Clima (IPCC) demonstra que os Gases de Efeito Estufa, em destaque o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), serão os principais causadores do aumento da temperatura média das superfícies até o ano 2100 de 0,9 a 1,7 °C nos cenários mais otimistas, e, de 2,6 a 4,8 °C no cenário mais pessimista (IPCC, 2013). Tais mudanças tem origem em 75% de gases oriundos de ações antrópicas de construção; transporte; indústria e energia (BAI et al., 2018).

O estado do Maranhão possui grande potencial agrícola, principalmente, de grãos. Em virtude da multiplicidade de características edafoclimáticas e a localização geográfica com acesso ao mar com o Porto do Itaqui. Neste contexto, o conhecimento sobre como as mudanças climáticas afetam a disponibilidade hídrica são essenciais na elaboração de um calendário e projetos agrícolas tornando-se um instrumento de política agrícola (SILVA et al., 2011; ASSAD et al., 2001).

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as possíveis alterações nas épocas de plantio do feijão-caupi nas principais regiões produtoras do estado do Maranhão para diferentes cenários de mudanças climáticas.

## Material e Métodos

O estado do Maranhão está localizado na região Nordeste do Brasil, abrange uma área com mais de 329 mil km<sup>2</sup> distribuídos entre os biomas Amazônico, Cerrado e Caatinga (IBGE, 2020). A diversidade fitogeográfica contribui para variações de pluviosidade anual de, aproximadamente, 700 mm na região central a 2200 mm

no Norte e temperatura média anual superior a 26 °C (Nugeo UEMA, 2020). A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Meteorologia, pertencente ao Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão, Campus Paulo IV. No período de setembro a novembro de 2018, onde com auxílio da base de dados do CPTEC/INPE, através do site <https://projeta.cptec.inpe.br/>, foi possível desenvolver as projeções de risco climático para o cultivo de feijão-caupi no Maranhão. Para a descrição do cenário climático futuro, foram utilizadas simulações baseadas no modelo climático regional Eta forçado pelo modelo climático global HadGEM2-ES - Hadley Centre Global Environmental Model, version 2 Earth System (COLLINS et al., 2011; MARTIN et al., 2011) e dois cenários baseados em forçantes radiativas denominadas de RCP - Representative Concentration Pathways (MOSS et al., 2010). Foram utilizados dois cenários um pessimista, o RCP 8.5 e outro intermediário, mais otimista, o RCP 4.5. O cenário RCP 4.5 estabelece a estabilização da forçante radiativa pouco depois de 2100, porém mantendo os níveis de radiação a longo prazo igual ou abaixo de 4,5 W.m<sup>-2</sup>. Este cenário é consistente com a estabilização da demanda energética mundial, programas de reflorestamento fortes e políticas climáticas rigorosas. Com relação às emissões de gases efeito estufa, a projeção de estabilização das emissões de metano, porém com leve aumento das emissões de CO<sub>2</sub> até 2040, com valor máximo atingido de 650 ppm equivalente na segunda metade do século XXI.

Por outro lado, o cenário RCP 8.5 projeta um futuro com crescimento contínuo da população e desenvolvimento tecnológico lento, com acentuadas emissões de CO<sub>2</sub>. Este cenário é sombrio, o mais pessimista para o século XXI em termos de emissões de gases do efeito estufa, sendo consistente com uma política que não priorizará a redução das emissões, com uma forte dependência de combustíveis fósseis. As projeções foram determinadas por região homogênea de precipitação, com utilização de coordenadas geográficas o centroide de cada região. As regiões foram selecionadas com base no nível de produção, sendo considerado as quatro maiores regiões produtoras de feijão-caupi (Tabela 1). A Figura 1 mostra a distribuição espacial das 10 regiões homogêneas.

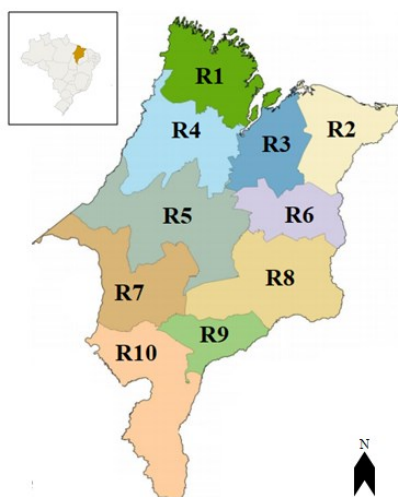
Tabela 1. Descrição das áreas selecionadas.

Região	Identificação	Coordenadas Geográficas
R2	Baixo Parnaíba	Lat. -2,29° e long. -42,96°
R4	Baixada Maranhense	Lat. -3,75° e long. -45,32°
R5	Médio Mearim	Lat. -4,77° e long. -45,71°
R8	Chapada do Alto Itapecuru	Lat. -5,97° e long. -44,12

Fonte: Autores (2018)

As projeções futuras foram realizadas para os próximos 30 anos (2019-2048). Para avaliar as projeções futuras de temperatura média do ar, os valores foram comparados com período de tempo presente (histórico) obtidos pelos modelos (1961-2005) para obtenção do desvio que representa o quanto a temperatura aumentou ou diminuiu.

Figura 1. Distribuição espacial das regiões homogêneas de precipitação pluvial



Fonte: Adaptado de Menezes, (2018)

A nova série de dados para a composição dos cenários futuros foi obtida somando-se os valores climatológicos observados entre 1987 e 2005 com os desvios de temperatura obtidos, conforme Equação 1.

$$TC = Tmc + Dt \tag{Eq.1}$$

Em que Tc corresponde à temperatura média do ar para os cenários de mudanças climáticas, (2019-2048), Tmc a temperatura média climatológica observada (1987-2005) e Dt o desvio de temperatura da projeção (2019-2048) em relação ao histórico obtido pelo modelo (1961-2005). Ressalta-se que no computo do balanço hídrico foram utilizados os dados de chuvas climatológicos (1987-2016) e não as projeções futuras uma vez que as variações apresentaram percentuais muito baixos.

Para definir as melhores épocas de plantio, com diferentes níveis de risco climático, foi utilizado o critério do ISNA - Índice de Satisfação das Necessidades de Água da cultura. O ISNA foi obtido pela Equação 2 após processos de interação desenvolvidos pelo modelo de Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimático (SARRAZON), desenvolvido por Baron et al. (1996).

$$ISNA = \frac{ETR}{ETM} \tag{Eq. 2}$$

Em que ETR corresponde a evapotranspiração real e ETM a evapotranspiração máxima da cultura.

As observações no SARRAZON foram obtidas a partir das variáveis especificadas na Tabela 2. As melhores datas de plantio foram aquelas em que a data de floração e enchimento de grãos não ocorreu em um período com pouca disponibilidade de água para a cultura.

Tabela 2. Variáveis de entrada no modelo SARRAZON

Clima			Solo	
Pd	Tr	ETp ou ET0	CAD	Áreas não aptas
30 anos (climatologia) de dados (1987-2016)	30 anos de dados para os cenários 4.5 e 8.5 entre 2019-2048	Método de Thornthwait e (1948) com base nos cenários de Tr	Tipo de solo (Tabela 3) e Pe do sistema radicular do feijão-caupi	SPA; APP; declividade superior a 45% ou solos pedregosos com declives acima de 20% e solos com menos de 50 cm de profundidade

APP - Área de Proteção Permanente; CAD - Capacidade de Armazenamento de Água no Solo; ETp - Evapotranspiração potencial; ET0 - evapotranspiração de referência; Pd - Precipitação diária; SPA - sistema de produção agrícola; Tr - temperatura do ar; Pe - Profundidade efetiva

Fonte: Autores (2018)

Tabela 3. Parâmetros utilizados para a análise de risco climático relacionado ao solo

Solos	Capacidade de Retenção de água	TA Teor de argila	AD/CAD	Tipos
Tipo I	Baixa	10% ≤ TA < 15% Ou TA ≥ 15% com Δ ≥ 50	AD = 0,6 mm.cm <sup>-1</sup> CAD = AD x Pe	Neossolos Quartzarênicos, Areias quartzosas e solos aluviais arenosos
Tipo II	Média	15% ≤ TA < 35% com Δ < 50	AD = 1,2mm.cm <sup>-1</sup> CAD = AD * Pe	Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro
Tipo III	Alta	TA ≥ 35%	AD = 1,8 mm.cm <sup>-1</sup> CAD = AD * Pe	Latossolos roxo, vermelho-escuro e vermelho-amarelo (com mais de 35% de argila); Cambissolos eutróficos e solos aluviais de textura média argilosa.

CAD - capacidade de armazenamento de água no solo e Pe - profundidade efetiva

Fonte: Adaptado de MAPA(2018)

## Feijão-caupi

Foram considerados nas análises do balanço hídrico com relação à planta a profundidade do sistema radicular, o ciclo produtivo, a duração das fases fenológicas e os coeficientes de crescimento (Kc), conforme descrito nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4. Características da cultura. Fase I: emergência; Fase II: crescimento vegetativo; Fase III: floração/enchimento de grão; Fase IV: maturação.

Cultura	Pe (cm)	CAD (mm)	Ciclo produtivo (dias)	Fases fenológicas
Feijão-caupi	30	Solo Tipo I = 18 Solo Tipo II = 36 Solo Tipo III = 54	70	Fase I – 15 Fase II – 25 Fase III – 20 Fase IV – 10

CAD - capacidade de armazenamento de água no solo e Pe - Profundidade efetiva.

Fonte: Andrade Júnior et al. (2002)

Tabela 5. Coeficientes de crescimento (Kc)

Cultura	Decêndios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Feijão-caupi	0,3	0,5	0,8	0,9	1,0	1,2	0,75	0,65

Fonte: Andrade Júnior et al. (2002)

Para a caracterização do risco climático associado aos cultivos do feijão no Estado do Maranhão, foram estabelecidas três classes de ISNA, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Classes de Índices de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) para o feijão-caupi

Cultura	Condição risco climático para o plantio		
	Baixo	Médio	Alto
Feijão-caupi	ISNA ≥ 0,60	0,60 > ISNA ≥ 0,50	ISNA < 0,50
Identificação visual de risco			

Fonte: Andrade Júnior et al. (2002)

Tabela 7. Desvios de temperatura do ar em relação à climatologia: Cenário 4.5 e 8.5

Região	Cenário	Período			
		2019-2028 (°C)	2029-2038 (°C)	2039-2048 (°C)	2019-2048 (°C)
R2	4.5	0,28	1,20	1,52	1,00
	8.5	0,64	1,67	2,20	1,51
R4	4.5	0,77	1,59	1,78	1,38
	8.5	1,12	2,18	2,59	1,96
R5	4.5	0,88	1,68	1,71	1,43
	8.5	1,33	2,34	2,67	2,12
R8	4.5	0,72	1,56	1,65	1,31
	8.5	1,29	2,15	2,68	2,04

Fonte: Autores (2018)

Foram realizadas 21 simulações a cada 10 dias (1º decêndio de outubro ao 3º decêndio de abril) para diferentes épocas de plantio, tendo como referência a estação de cultivo de cada região homogênea de precipitação.

A partir dessas simulações foram construídos calendários de risco climático baseado em cenários futuros de mudanças climáticas.

## Resultados e Discussão

A Tabela 6 demonstra os desvios de temperatura do ar observados em cada região homogênea por década entre 2019 e 2048 para os cenários 4.5 e 8.5, respectivamente. Observa-se o aumento progressivo da temperatura do ar entre 2019 e 2048 nos dois cenários analisados. No cenário mais otimista as temperaturas deverão aumentar em média de 0,28° C (Baixo Parnaíba) a 0,88° C (Médio Mearim) na primeira década, de 1,2° C (Baixo Parnaíba) a 1,68° C (Médio Mearim) na segunda década e 1,52° C (Baixo Parnaíba) a 1,78° (Baixada) na terceira década.

Em média, para o período 2019-2048, as regiões deverão sofrer um aumento de temperatura de 1° C na região do Baixo Parnaíba, 1,38° C na região da Baixada, 1,43° C na do Médio Mearim e 1,31° C na região da Chapada do Alto Itapecuru. No cenário pessimista, o aumento de temperatura pode superar 2° C nos próximos 30 anos nas regiões do Médio Mearim e Chapada do alto Itapecuru.

Os resultados são semelhantes ao de Filho et al. (2016) que em cenários RCP 4.5 e 8.5 as temperaturas médias do Norte e Nordeste devem aumentar de 0,5 a 2 °C entre 2016 a 2035. Os mesmos autores destacam que as regiões não costeiras terão maiores prejuízos, em virtude da maior concentração de áreas de cultivo e a não maritimidade. Silva et al. (2019) também evidenciam aumento nas temperaturas mínimas do Nordeste, em destaque o Agreste Alagoano e o Leste Maranhense, que poderão ocasionar um PIB nordestino -13,1% menor do que seria sem a alteração climática (DOMINGUES et al., 2011)

Os aumentos de temperatura projetados pelo modelo para os próximos 30 anos afetará a disponibilidade hídrica para o cultivo do feijão-caupi nas regiões analisadas. A tabela 7 mostra a disponibilidade hídrica das regiões destacando os totais anuais de deficiência e excesso hídrico para solos de texturas média (CAD=36mm) e argilosa (CAD=54mm) considerando a normal climatológica (1987-2005) e os cenários 4.5 e 8.5 (2019-2048), respectivamente.

Fica evidente que em ambas as situações, considerando tanto os cenários mais otimista e o pessimista, deverão ocorrer redução dos totais anuais de excedente hídrico e aumento dos totais anuais de deficiência hídrica. Logo, poderá haver menor disponibilidade hídrica para o cultivo do feijão em todas as regiões analisadas, principalmente na R4 que está localizada na Amazônia Maranhense. Segundo análises do IPCC (2013), a umidade do solo na região amazônica deve reduzir de -2 a -1 % durante os anos de 2016 a 2035.

Silva et al. (2010), em estudo do comportamento diário das trocas gasosas em feijoeiro sob deficiência hídrica, com reposição de 25% da água evapotranspirada, foi observado redução na taxa transpiratória e ressaltaram que a diminuição da fotossíntese líquida durante deficiência hídrica é resultado do fechamento estomático. Além disso, a deficiência hídrica ocasiona redução no crescimento da planta, afetando a formação e desenvolvimento de sementes, os quais influenciam diretamente na produção (ARRUDA et al., 2015).

Tabela 8. Disponibilidade hídrica: Solo textura média (CAD=36mm e 54mm)

Regiões	CAD (mm)	Normal (mm)		Cenário 4.5 (mm)		Cenário 8.5 (mm)		Desvio 4.5 (mm)		Desvio 8.5 (mm)	
		EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF
R2	36	551	777	500	985	451	1087	-51	208	-100	310
	54	533	759	482	967	433	1069	-51	208	-100	310
R4	36	790	627	664	859	602	987	-126	232	-188	360
	54	772	609	646	841	584	969	-126	232	-188	360
R5	36	481	692	395	922	333	1051	-86	230	-148	359
	54	463	674	377	904	315	1033	-86	230	-148	359
R8	36	203	675	127	900	76	1058	-76	225	-127	383
	54	185	657	109	882	58	1040	-76	225	-127	383

CAD - capacidade de armazenamento de água no solo; EXC – excesso de água; DEF- deficit de água

Fonte: Autores (2018)

Tabela 9. REGIÃO 2: BAIXO PARNAÍBA - SOLO II – TEXTURA MÉDIA: Média capacidade de armazenamento de água – teor de argila > 15% e < 35%: Disponibilidade de Água: 1,2 mm/cm de solo, profundidade do sistema radicular: 30 cm - CAD: 36 mm, ciclo de 70 dias, Fase I: emergência, Fase III: Floração/enchimento de grão

Datas				ISNA/Fases fenológicas					
Simulação		Plantio/colheita		Atual		RCP4,5		RCP8,5	
Início	Fim	Plantio	Colheita	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III
05/09	13/01	05/10	14/12	0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
15/09	23/01	15/10	24/12	0,02	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05
25/09	02/02	25/10	03/01	0,03	0,08	0,02	0,07	0,02	0,06
06/10	13/02	05/11	14/01	0,04	0,19	0,03	0,16	0,03	0,14
16/10	23/02	15/11	24/01	0,03	0,40	0,02	0,33	0,02	0,28
26/10	05/03	25/11	03/02	0,06	0,67	0,04	0,57	0,03	0,47
05/11	13/03	05/12	13/02	0,15	0,71	0,12	0,60	0,10	0,50
15/11	23/03	15/12	23/02	0,32	0,72	0,27	0,65	0,23	0,56
25/11	05/04	25/12	05/03	0,59	0,87	0,51	0,82	0,42	0,77
06/12	16/04	05/01	16/03	0,82	0,92	0,78	0,86	0,72	0,82
16/12	26/04	15/01	26/03	0,81	0,93	0,79	0,85	0,73	0,83
26/12	05/05	25/01	05/04	0,83	0,93	0,81	0,84	0,76	0,82
06/01	16/05	05/02	16/04	0,86	0,96	0,84	0,92	0,83	0,92
16/01	26/05	15/02	26/04	0,89	0,96	0,91	0,92	0,89	0,91
26/01	06/06	25/02	06/05	0,91	0,96	0,88	0,90	0,88	0,89
03/02	13/06	05/03	14/05	0,91	0,96	0,83	0,88	0,83	0,86
13/02	23/06	15/03	24/05	0,95	0,90	0,91	0,81	0,90	0,81
23/02	03/07	25/03	03/06	0,97	0,75	0,95	0,60	0,95	0,58
06/03	14/07	05/04	14/06	0,95	0,62	0,91	0,46	0,91	0,45
16/03	24/07	15/04	24/06	0,94	0,54	0,88	0,41	0,87	0,39
26/03	03/08	25/04	04/07	0,92	0,38	0,85	0,27	0,85	0,26

Obs: Valores adimensionais

Legenda	
	Baixo risco: ISNA ≥ 0,40
	Baixo risco: ISNA ≥ 0,60
	Médio risco: 0,60 > ISNA ≥ 0,50
	Alto risco: ISNA < 0,50

Fonte: Andrade Júnior et al. (2002)

Fonte: Autores (2018)

As Tabelas de 8 a 15 apresentam os resultados das simulações do balanço de água no solo considerando capacidades de armazenamento de água em solos de textura média (36mm) e argilosa (54mm) nas quatro regiões de estudo para os cenários 4.5 e 8.5. A Tabela 8 apresenta a redução do período apto para o plantio de feijão-caupi na Região 2 em comparação com o atual calendário agrícola, onde ocorre um atraso no início do período de baixo risco de plantio, que passou de 25/11 para 05/12 no cenário 4.5 e 25/12 para o 8.5, dessa forma, reduzindo em até três decêndios em 2048. A mesma redução ocorre na forma de adiantamento do período de baixo risco nos dois cenários. Portanto, o plantio deverá ser realizado quando ocorrer disponibilidade hídrica para as duas fases (I-emergência e III-floração/enchimento de grãos) para

que ocorra a maior probabilidade de sucesso no cultivo, assim deverá ser entre 25/12 a 15/03 e 25/03 para os dois cenários em solo de textura média. Nas simulações em solo argiloso para mesma Região (Tabela 9), não houve redução do período de baixo risco na fase III entre os cenários 4.5 e 8.5. Entretanto, ocorreu a redução entre as datas atuais e os cenários futuros, onde 20 dias aptos tornaram-se dias de médio e alto risco. O melhor plantio para simulações de solo argiloso é de 25/12 a 25/03.

A semeadura do feijão-caupi deve ser realizada no período chuvoso, com o objetivo de aproveitar a maior disponibilidade de água nesse período, visto que a planta possui duas fases de grande necessidade (CAMPOS et al., 2000). A primeira para o início da germinação e, principalmente, na fase de floração que é a de maior



demanda hídrica, pois um déficit antes da floração e no enchimento de grãos pode ocasionar a redução da produtividade do feijão-caupi (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002). Marengo et al. (2011) mencionam que a temperatura no Maranhão deve aumentar conforme projeções de 2010 a 2100, assim como a água dos aquíferos nordestinos poderá reduzir em até 70% até o ano 2050. As regiões 2 (Tabela 8 e 9) e 8 (Tabela 11 e 12) possuem médias pluviométricas menores em comparação com as demais regiões estudadas (BATISTELLA et al., 2013), dessa forma, os impactos das mudanças climáticas poderão ocorrer de forma mais expressiva. Logo, é possível verificar nas projeções 4.5 e 8.5 atrasos no início do período de baixo risco para o plantio na fase III, redução de dois decêndios na Tabela 9 e três decêndios na Tabela 11. Poderá ocorrer até 15 dias a menos para o início do plantio nos cenários futuros. O novo plantio para o solo de textura média da Região 8 (Tabela 10) deverá ser entre 25/11 a 15/02 nas condições climáticas para o cenário 4.5 e 15/12 a 15/02 para o cenário 8.5, já para o solo argiloso (Tabela 11) será entre 15/11 para o cenário 4.5 e 15/12 no 8.5 até 25/02.

As regiões 4 (Tabelas 12 e 13) e 5 (Tabelas 14 e 15) estão localizadas nas áreas de maiores índices pluviométricos do Estado do Maranhão, 2300 a 1300 mm e 2300 a 900 mm (BATISTELLA et al., 2013). Desse modo, as possíveis mudanças que ocorresse na temperatura e precipitação e, por consequente, na quantidade de água disponível no solo, deveriam ser extremas. O que é percebido na baixa alteração entre as datas atuais e futuras.

Portanto, na Região 4 houve mudanças na redução de dois decêndios na fase I, no solo textura média para o cenário 8.5 e um decêndio de risco médio para o plantio em solo argiloso no cenário 8.5 na fase III (Tabela 12). Já na Região 5, haverá um atraso de três decêndios na fase I no 8.5 em solo de textura média e dois decêndios para o cenário 8.5 em solo de textura média, além de um atraso e adiantamento no cenário 8.5 para solo argiloso na fase II (Tabela 14).

Os maiores intervalos de baixo risco para o plantio na fase III estão nas regiões 4 e 5 que foram de 13 a 12 decêndios, respectivamente. Porém, o plantio da Região 4 foi definido de 05/12 e 25/12 a 25/03 para o 4.5 e 8.5 em solo textura média, e de 15/12 a 25/03 para solos argilosos em ambos cenários. Na Região 5, o plantio difere apenas no atraso de um decêndio entre o cenário 4.5 em solo textura média e o 8.5 em argiloso.

Campos et al. (2010) verificaram uma redução significativa do período de cultivo de feijão-caupi no Estado da Paraíba, onde, na mesorregião da Borborema, será possível plantar apenas no decênio de 21 a 31 de janeiro conforme o cenário de acréscimo de temperatura do ar de 6 °C. Silva et al. (2010) indicam que o aquecimento global resultará na redução das áreas agrícolas de feijão-caupi no Nordeste Brasileiro.

No Maranhão, a elevação de temperatura ocasionará mudança no regime de chuvas em diferentes áreas do estado, o aumento ocorrerá mesmo em anos chuvosos de La niña (SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2016). Alterações no padrão pluviométrico afetam de forma direta a disponibilidade hídrica do solo para o cultivo.

Tabela 10. REGIÃO 2: BAIXO PARNAÍBA SOLO III – ARGILOSO – Alta capacidade de armazenamento de água – teor de argila > 35%. Disponibilidade de Água: 1,80 mm/cm de solo, profundidade do sistema radicular: 30 cm – CAD: 54 mm, Ciclo: 70 dias, Fase I: emergência, Fase III: Floração/enchimento de grão.

Datas				ISNA/Fases fenológicas					
Simulação		Plantio/colheita		Atual		RCP4.5		RCP8.5	
Início	Fim	Plantio	Colheita	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III
05/09	13/01	05/10	14/12	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
15/09	23/01	15/10	24/12	0,02	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05
25/09	02/02	25/10	03/01	0,03	0,09	0,02	0,06	0,02	0,06
06/10	13/02	05/11	14/01	0,04	0,19	0,03	0,17	0,03	0,14
16/10	23/02	15/11	24/01	0,03	0,39	0,02	0,27	0,02	0,28
26/10	05/03	25/11	03/02	0,06	0,67	0,04	0,56	0,03	0,47
05/11	13/03	05/12	13/02	0,15	0,78	0,10	0,56	0,10	0,56
15/11	23/03	15/12	23/02	0,32	0,82	0,27	0,75	0,23	0,63
25/11	05/04	25/12	05/03	0,59	0,91	0,51	0,87	0,42	0,81
06/12	16/04	05/01	16/03	0,83	0,95	0,78	0,90	0,72	0,88
16/12	26/04	15/01	26/03	0,84	0,95	0,80	0,89	0,78	0,86
26/12	05/05	25/01	05/04	0,85	0,95	0,83	0,88	0,80	0,87
06/01	16/05	05/02	16/04	0,86	0,96	0,85	0,94	0,84	0,93
16/01	26/05	15/02	26/04	0,89	0,96	0,91	0,94	0,89	0,93
26/01	06/06	25/02	06/05	0,91	0,96	0,88	0,93	0,88	0,92
03/02	13/06	05/03	14/05	0,91	0,97	0,87	0,91	0,86	0,90
13/02	23/06	15/03	24/05	0,95	0,94	0,92	0,87	0,91	0,86
23/02	03/07	25/03	03/06	0,97	0,84	0,96	0,71	0,95	0,70
06/03	14/07	05/04	14/06	0,95	0,75	0,91	0,54	0,91	0,53
16/03	24/07	15/04	24/06	0,94	0,67	0,88	0,51	0,87	0,49
26/03	03/08	25/04	04/07	0,92	0,55	0,90	0,37	0,90	0,35

Obs: Valores adimensionais

Legenda	
	Baixo risco: ISNA ≥ 0,40
	Baixo risco: ISNA ≥ 0,60
	Médio risco: 0,60 > ISNA ≥ 0,50
	Alto risco: ISNA < 0,50

Fonte: Andrade Júnior et al. (2002)

Tabela 11. REGIÃO 8: CHAPADA DO ALTO ITAPECURU - SOLO II – TEXTURA MÉDIA: Média capacidade de armazenamento de água – teor de argila &gt; 15% e &lt; 35%; Disponibilidade de Água: 1,2 mm/cm de solo, profundidade do sistema radicular: 30 cm - CAD: 36 mm, ciclo de 70 dias, Fase I: emergência, Fase III: Floração/enchimento de grão.

Datas				ISNA/Fases fenológicas					
Simulação		Plantio/colheita		Atual		RCP4.5		RCP8.5	
Início	Fim	Plantio	Colheita	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III
05/09	13/01	05/10	14/12	0,25	0,30	0,20	0,27	0,19	0,25
15/09	23/01	15/10	24/12	0,31	0,40	0,26	0,35	0,22	0,30
25/09	02/02	25/10	03/01	0,48	0,49	0,39	0,45	0,34	0,36
06/10	13/02	05/11	14/01	0,58	0,65	0,50	0,58	0,45	0,18
16/10	23/02	15/11	24/01	0,68	0,60	0,56	0,53	0,46	0,10
26/10	05/03	25/11	03/02	0,72	0,65	0,67	0,60	0,55	0,29
05/11	13/03	05/12	13/02	0,78	0,76	0,74	0,68	0,62	0,55
15/11	23/03	15/12	23/02	0,78	0,76	0,76	0,69	0,27	0,61
25/11	05/04	25/12	05/03	0,79	0,86	0,78	0,74	0,11	0,65
06/12	16/04	05/01	16/03	0,81	0,93	0,80	0,88	0,37	0,82
16/12	26/04	15/01	26/03	0,85	0,89	0,82	0,84	0,75	0,80
26/12	05/05	25/01	05/04	0,85	0,86	0,82	0,82	0,79	0,78
06/01	16/05	05/02	16/04	0,85	0,90	0,82	0,85	0,80	0,82
16/01	26/05	15/02	26/04	0,92	0,84	0,91	0,75	0,88	0,74
26/01	06/06	25/02	06/05	0,90	0,68	0,87	0,59	0,85	0,57
03/02	13/06	05/03	14/05	0,86	0,57	0,83	0,46	0,81	0,44
13/02	23/06	15/03	24/05	0,90	0,44	0,88	0,37	0,89	0,36
23/02	03/07	25/03	03/06	0,89	0,31	0,86	0,27	0,85	0,25
06/03	14/07	05/04	14/06	0,83	0,19	0,79	0,15	0,78	0,14
16/03	24/07	15/04	24/06	0,80	0,09	0,74	0,08	0,73	0,07
26/03	03/08	25/04	04/07	0,79	0,03	0,75	0,03	0,74	0,02

Obs: Valores adimensionais

## Legenda

	Baixo risco: ISNA $\geq$ 0,40
	Baixo risco: ISNA $\geq$ 0,60
	Médio risco: 0,60 > ISNA $\geq$ 0,50
	Alto risco: ISNA < 0,50

Fonte: Andrade Júnior *et al.*(2002)

Fonte: Autores (2018)

Tabela 12. REGIÃO 8: CHAPADA DO ALTO ITAPECURU SOLO III – ARGILOSO – Alta capacidade de armazenamento de água – teor de argila &gt; 35%; Disponibilidade de Água: 1,80 mm/cm de solo, profundidade do sistema radicular: 30 cm – CAD: 54 mm, Ciclo: 70 dias, Fase I: emergência, Fase III: Floração/enchimento de grão.

DATAS				ISNA/FASES FENOLÓGICAS					
Simulação		Plantio/colheita		Atual		RCP4.5		RCP8.5	
Início	Fim	Plantio	Colheita	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III
05/09	13/01	05/10	14/12	0,25	0,30	0,20	0,27	0,19	0,25
15/09	23/01	15/10	24/12	0,31	0,49	0,26	0,43	0,22	0,33
25/09	02/02	25/10	03/01	0,48	0,53	0,39	0,49	0,34	0,38
06/10	13/02	05/11	14/01	0,58	0,69	0,50	0,59	0,45	0,18
16/10	23/02	15/11	24/01	0,68	0,70	0,56	0,65	0,46	0,11
26/10	05/03	25/11	03/02	0,72	0,74	0,69	0,68	0,57	0,29
05/11	13/03	05/12	13/02	0,80	0,80	0,63	0,53	0,63	0,53
15/11	23/03	15/12	23/02	0,81	0,85	0,79	0,75	0,27	0,63
25/11	05/04	25/12	05/03	0,82	0,90	0,80	0,82	0,12	0,70
06/12	16/04	05/01	16/03	0,81	0,94	0,81	0,90	0,41	0,85
16/12	26/04	15/01	26/03	0,85	0,93	0,84	0,89	0,77	0,85
26/12	05/05	25/01	05/04	0,85	0,91	0,84	0,87	0,83	0,84
06/01	16/05	05/02	16/04	0,86	0,93	0,84	0,88	0,82	0,85
16/01	26/05	15/02	26/04	0,92	0,90	0,91	0,83	0,88	0,82
26/01	06/06	25/02	06/05	0,90	0,80	0,88	0,71	0,87	0,69
03/02	13/06	05/03	14/05	0,86	0,68	0,83	0,56	0,83	0,52
13/02	23/06	15/03	24/05	0,90	0,60	0,91	0,50	0,89	0,47
23/02	03/07	25/03	03/06	0,91	0,42	0,88	0,34	0,87	0,32
06/03	14/07	05/04	14/06	0,84	0,32	0,83	0,26	0,82	0,24
16/03	24/07	15/04	24/06	0,83	0,16	0,79	0,12	0,77	0,11
26/03	03/08	25/04	04/07	0,80	0,07	0,77	0,05	0,76	0,04

Obs: Valores adimensionais

## Legenda

	Baixo risco: ISNA $\geq$ 0,40
	Baixo risco: ISNA $\geq$ 0,60
	Médio risco: 0,60 > ISNA $\geq$ 0,50
	Alto risco: ISNA < 0,50

Fonte: Andrade Júnior *et al.* (2002)

Fonte: Autores (2018)

Tabela 13. REGIÃO 4: BAIXADA MARANHENSE - SOLO II – TEXTURA MÉDIA: Média capacidade de armazenamento de água – teor de argila > 15% e < 35%; Disponibilidade de Água: 1,2 mm/cm de solo, profundidade do sistema radicular: 30 cm - CAD: 36 mm, ciclo de 70 dias, Fase I: emergência, Fase III: Floração/enchimento de grão.

DATAS				ISNA/FASES FENOLÓGICAS					
Simulação		Plantio/colheita		Atual		RCP4.5		RCP8.5	
Início	Fim	Plantio	Colheita	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III
05/09	13/01	05/10	14/12	0,04	0,09	0,03	0,08	0,03	0,07
15/09	23/01	15/10	24/12	0,16	0,15	0,13	0,14	0,12	0,10
25/09	02/02	25/10	03/01	0,14	0,18	0,11	0,18	0,09	0,16
06/10	13/02	05/11	14/01	0,17	0,25	0,13	0,25	0,11	0,21
16/10	23/02	15/11	24/01	0,16	0,49	0,13	0,49	0,11	0,46
26/10	05/03	25/11	03/02	0,29	0,72	0,28	0,72	0,21	0,64
05/11	13/03	05/12	13/02	0,39	0,75	0,39	0,74	0,31	0,65
15/11	23/03	15/12	23/02	0,47	0,83	0,47	0,82	0,38	0,78
25/11	05/04	25/12	05/03	0,67	0,90	0,67	0,88	0,61	0,85
06/12	16/04	05/01	16/03	0,83	0,90	0,83	0,88	0,78	0,85
16/12	26/04	15/01	26/03	0,86	0,90	0,86	0,87	0,83	0,85
26/12	05/05	25/01	05/04	0,83	0,92	0,82	0,90	0,80	0,89
06/01	16/05	05/02	16/04	0,88	0,94	0,88	0,93	0,85	0,92
16/01	26/05	15/02	26/04	0,91	0,94	0,91	0,92	0,90	0,91
26/01	06/06	25/02	06/05	0,92	0,93	0,91	0,90	0,90	0,89
03/02	13/06	05/03	14/05	0,93	0,92	0,92	0,89	0,91	0,88
13/02	23/06	15/03	24/05	0,95	0,88	0,94	0,83	0,93	0,81
23/02	03/07	25/03	03/06	0,96	0,73	0,95	0,65	0,94	0,62
06/03	14/07	05/04	14/06	0,95	0,57	0,93	0,47	0,92	0,43
16/03	24/07	15/04	24/06	0,94	0,46	0,91	0,37	0,90	0,34
26/03	03/08	25/04	04/07	0,91	0,37	0,90	0,31	0,89	0,29

Obs: Valores adimensionais

Legenda

	Baixo risco: ISNA ≥ 0,40
	Baixo risco: ISNA ≥ 0,60
	Médio risco: 0,60 > ISNA ≥ 0,50
	Alto risco: ISNA < 0,50

Fonte: Andrade Júnior et al. (2002)

Fonte: Autores (2018)

Tabela 14. REGIÃO 4: BAIXADA MARANHENSE SOLO III – ARGILOSO – Alta capacidade de armazenamento de água – teor de argila > 35%; Disponibilidade de Água: 1,80 mm/cm de solo, profundidade do sistema radicular: 30 cm – CAD: 54 mm, Ciclo: 70 dias, Fase I: emergência, Fase III: Floração/enchimento de grão.

DATAS				ISNA/FASES FENOLÓGICAS					
Simulação		Plantio/colheita		Atual		RCP4.5		RCP8.5	
Início	Fim	Plantio	Colheita	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III
05/09	13/01	05/10	14/12	0,02	0,09	0,03	0,08	0,03	0,07
15/09	23/01	15/10	24/12	0,16	0,15	0,13	0,14	0,12	0,10
25/09	02/02	25/10	03/01	0,14	0,18	0,11	0,21	0,09	0,16
06/10	13/02	05/11	14/01	0,17	0,25	0,13	0,26	0,11	0,21
16/10	23/02	15/11	24/01	0,16	0,51	0,13	0,43	0,11	0,46
26/10	05/03	25/11	03/02	0,29	0,76	0,28	0,66	0,21	0,67
05/11	13/03	05/12	13/02	0,39	0,80	0,31	0,71	0,31	0,71
15/11	23/03	15/12	23/02	0,47	0,87	0,47	0,87	0,38	0,83
25/11	05/04	25/12	05/03	0,67	0,92	0,67	0,90	0,61	0,88
06/12	16/04	05/01	16/03	0,84	0,92	0,84	0,90	0,82	0,87
16/12	26/04	15/01	26/03	0,87	0,93	0,87	0,91	0,84	0,89
26/12	05/05	25/01	05/04	0,86	0,94	0,85	0,92	0,83	0,91
06/01	16/05	05/02	16/04	0,89	0,94	0,90	0,94	0,88	0,93
16/01	26/05	15/02	26/04	0,92	0,94	0,91	0,94	0,90	0,93
26/01	06/06	25/02	06/05	0,92	0,94	0,91	0,92	0,90	0,91
03/02	13/06	05/03	14/05	0,93	0,94	0,92	0,92	0,91	0,91
13/02	23/06	15/03	24/05	0,95	0,91	0,94	0,88	0,94	0,86
23/02	03/07	25/03	03/06	0,96	0,81	0,95	0,74	0,94	0,71
06/03	14/07	05/04	14/06	0,95	0,66	0,93	0,56	0,93	0,53
16/03	24/07	15/04	24/06	0,94	0,61	0,91	0,50	0,91	0,46
26/03	03/08	25/04	04/07	0,93	0,45	0,91	0,36	0,90	0,33

Obs: Valores adimensionais

Legenda

	Baixo risco: ISNA ≥ 0,40
	Baixo risco: ISNA ≥ 0,60
	Médio risco: 0,60 > ISNA ≥ 0,50
	Alto risco: ISNA < 0,50

Fonte: Andrade Júnior et al. (2002)

Fonte: Autores (2018)



Tabela 15. REGIÃO 5: MÉDIO MEARIM - SOLO II – TEXTURA MÉDIA: Média capacidade de armazenamento de água – teor de argila > 15% e < 35%: Disponibilidade de Água: 1,2 mm/cm de solo, profundidade do sistema radicular: 30 cm - CAD: 36 mm, ciclo de 70 dias, Fase I: emergência, Fase III: Floração/enchimento de grão.

DATAS				ISNA/FASES FENOLÓGICAS					
Simulação		Plantio/colheita		Atual		RCP4.5		RCP8.5	
Início	Fim	Plantio	Colheita	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III
05/09	13/01	05/10	14/12	0,07	0,21	0,06	0,21	0,06	0,18
15/09	23/01	15/10	24/12	0,12	0,15	0,11	0,15	0,10	0,12
25/09	02/02	25/10	03/01	0,18	0,22	0,16	0,24	0,14	0,18
06/10	13/02	05/11	14/01	0,42	0,39	0,42	0,41	0,35	0,34
16/10	23/02	15/11	24/01	0,47	0,61	0,47	0,61	0,42	0,55
26/10	05/03	25/11	03/02	0,40	0,68	0,42	0,68	0,31	0,58
05/11	13/03	05/12	13/02	0,57	0,71	0,62	0,70	0,42	0,62
15/11	23/03	15/12	23/02	0,65	0,75	0,67	0,74	0,57	0,68
25/11	05/04	25/12	05/03	0,76	0,83	0,77	0,81	0,72	0,78
06/12	16/04	05/01	16/03	0,82	0,88	0,82	0,87	0,77	0,83
16/12	26/04	15/01	26/03	0,81	0,89	0,81	0,89	0,77	0,86
26/12	05/05	25/01	05/04	0,82	0,90	0,82	0,90	0,80	0,87
06/01	16/05	05/02	16/04	0,87	0,91	0,86	0,91	0,86	0,90
16/01	26/05	15/02	26/04	0,89	0,89	0,89	0,87	0,89	0,84
26/01	06/06	25/02	06/05	0,91	0,74	0,90	0,72	0,89	0,68
03/02	13/06	05/03	14/05	0,90	0,72	0,90	0,69	0,89	0,65
13/02	23/06	15/03	24/05	0,92	0,73	0,91	0,72	0,90	0,67
23/02	03/07	25/03	03/06	0,94	0,45	0,93	0,45	0,93	0,42
06/03	14/07	05/04	14/06	0,84	0,29	0,83	0,28	0,81	0,25
16/03	24/07	15/04	24/06	0,82	0,20	0,80	0,20	0,80	0,18
26/03	03/08	25/04	04/07	0,83	0,08	0,82	0,07	0,80	0,06

Obs: Valores adimensionais

Legenda

	Baixo risco: ISNA ≥ 0,40
	Baixo risco: ISNA ≥ 0,60
	Médio risco: 0,60 > ISNA ≥ 0,50
	Alto risco: ISNA < 0,50

Fonte: Andrade Júnior et al. (2002)

Fonte: Autores (2018)

Tabela 16. REGIÃO 5: MÉDIO MEARIM SOLO III – ARGILOSO – Alta capacidade de armazenamento de água – teor de argila > 35%: Disponibilidade de Água: 1,80 mm/cm de solo, profundidade do sistema radicular: 30 cm – CAD: 54 mm, Ciclo: 70 dias, Fase I: emergência, Fase III: Floração/enchimento de grão.

DATAS				ISNA/FASES FENOLÓGICAS					
Simulação		Plantio/colheita		Atual		RCP4.5		RCP8.5	
Início	Fim	Plantio	Colheita	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III	FASE I	FASE III
05/09	13/01	05/10	14/12	0,07	0,22	0,06	0,22	0,06	0,19
15/09	23/01	15/10	24/12	0,12	0,15	0,11	0,15	0,10	0,12
25/09	02/02	25/10	03/01	0,18	0,23	0,16	0,26	0,14	0,18
06/10	13/02	05/11	14/01	0,42	0,41	0,42	0,42	0,35	0,35
16/10	23/02	15/11	24/01	0,47	0,64	0,47	0,60	0,42	0,56
26/10	05/03	25/11	03/02	0,40	0,70	0,42	0,72	0,31	0,61
05/11	13/03	05/12	13/02	0,57	0,74	0,42	0,65	0,42	0,65
15/11	23/03	15/12	23/02	0,67	0,80	0,69	0,80	0,62	0,72
25/11	05/04	25/12	05/03	0,79	0,89	0,81	0,87	0,77	0,85
06/12	16/04	05/01	16/03	0,84	0,92	0,83	0,91	0,81	0,89
16/12	26/04	15/01	26/03	0,82	0,92	0,83	0,91	0,80	0,89
26/12	05/05	25/01	05/04	0,83	0,93	0,83	0,92	0,81	0,91
06/01	16/05	05/02	16/04	0,87	0,93	0,87	0,92	0,86	0,91
16/01	26/05	15/02	26/04	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88
26/01	06/06	25/02	06/05	0,91	0,83	0,90	0,81	0,89	0,76
03/02	13/06	05/03	14/05	0,90	0,81	0,90	0,79	0,89	0,74
13/02	23/06	15/03	24/05	0,92	0,82	0,91	0,81	0,90	0,76
23/02	03/07	25/03	03/06	0,94	0,62	0,94	0,61	0,93	0,55
06/03	14/07	05/04	14/06	0,85	0,40	0,84	0,40	0,82	0,35
16/03	24/07	15/04	24/06	0,83	0,30	0,83	0,29	0,82	0,26
26/03	03/08	25/04	04/07	0,85	0,14	0,85	0,14	0,83	0,12

Obs: Valores adimensionais

Legenda

	Baixo risco: ISNA ≥ 0,40
	Baixo risco: ISNA ≥ 0,60
	Médio risco: 0,60 > ISNA ≥ 0,50
	Alto risco: ISNA < 0,50

Fonte: Andrade Júnior et al. (2002)

Fonte: Autores (2018)

## Conclusão

As projeções indicam aumento nas temperaturas médias mensais para os dois cenários 4.5 (otimista) e 8.5 (pessimista) entre 2019 e 2048 em todas as regiões analisadas;

Os aumentos projetados na temperatura do ar, caso ocorram, afetarão a disponibilidade hídrica futura das regiões analisadas, com redução e aumento dos totais anuais de excesso hídrico e deficiência hídrica, respectivamente que poderão afetar a produtividade da cultura do feijão-caupi;

A redução da disponibilidade hídrica, devido ao provável aumento da temperatura do ar nos próximos 30 anos (2019-2048), em todas as regiões analisadas, poderá afetar a duração do período favorável (baixo risco climático) ao plantio (menor janela de plantio) do feijão-caupi, principalmente no cenário pessimista.

## Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

## Referências

- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SANTOS, A. A.; SOBRINHO, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. S.; ROCHA, M. M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi** (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Terezina: Embrapa Meio-Norte. Sistema de produção, 108 p, 2002.
- ARRUDA, I. M.; MODA-CIRINO, V.; BURATTO, J. S.; FERREIRA, J. M. Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 146-154, jun. 2015. DOI 10.1590/1983-40632015v45n2p146-154.
- ASSAD, E. D.; MACEDO, M.A.; CÂMARA, G.; *et al.* Avaliação de métodos para espacialização de índices de necessidade hídrica das culturas e sua aplicação em zoneamento agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, p.581-587, dez. 2001. ISSN 0104-1347.
- BAI, X.; DAWSON, R. J.; ÜRGE-VORSATZ, D.; DELGADO, G. C.; BARAU, A. S.; DHAKAL, S. SCHULTZ, S. Six research priorities for cities and climate change. **Nature Climate Change**, v. 555, 23-25 p., fev. 2018. DOI 10.1038/d41586-018-02409-z.
- BARON, C.; PEREZ, P.; MARAUX, F. Sarrazon: Bilan hydrique applique au zonage Montpellier. **CIRAD**, p. 26, 1996.
- BATISTELLA, M.; BOLFE, É. L.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. de C. **Relatório do Banco de Dados do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão**. Campinas, SP: Embrapa, 2013. 124 p.: il. (Relatório Técnico / Embrapa Monitoramento por Satélite).
- CAMPOS, F.; FILHO, F. R. F.; LOPES, A. C. A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B.; ROCHA, M. M. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* L.Walp.): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 5, n. 2, p. 110-116, jan. 2000.
- CAMPOS, J. H. 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**, Campina Grande, v.14, n.4, p.396-404, abr. 2010. DOI 10.1590/S1415-43662010000400008.
- COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HILTON, T.; HUGHES, J.; JONES, C. D.; JOSHI, M.; LIDDICOAT, S.; MARTIN, G.; O'CONNOR, F.; ERA, J.; SENIOR, C.; SITCH, S.; TOTTERDELL, I.; WILTSHIRE, A.; WOODWARD, S. Development and evaluation of an Earth-system model HadGEM2. **Geoscientific Model Development**, n. 4, 1051-1075, maio 2011. DOI 10.5194/gmdd-4-997-2011.
- DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S.; RUIZ, R. M. Cenários de Mudanças Climáticas e Agricultura no Brasil: Impactos Econômicos na Região Nordeste. **Revista Econômica do Nordeste** v. 42, n. 2, 2011. ISSN 2357-9226.
- FILHO, H. M.; MORAES C.; BENNATI, P.; RODRIGUES, R. de A.; GUILLES, M.; ROCHA, P.; LIMA, A.; VASCONCELOS, I. Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil. **Working Paper**, n. 141, 2016.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO FAOSTAT. **Crops. Cow peas**, dry. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 29 out. 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidade e Estados: area territorial. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma.html> . Acesso em 27 de jun. de 2020.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2013. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, I. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- MARENGO, J. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2ed., p. 212, 2011. Disponível em: [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod\\_probio/Livr\\_o2\\_completo.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Livr_o2_completo.pdf) . Acesso em: 19 novembro de 2018.
- MARTIN, G. M., *et al.* The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 3, p. 723-757, set. 2011. DOI 10.5194/gmd-4-723-2011
- MENEZES, R. H. N. **Caracterização climática do Maranhão**. 2018. Regiões Homogêneas de Precipitação. Disponível em: <http://www.aged.ma.gov.br/files/2019/02/10.-Prof-Ronaldo-Characteriza%C3%A7%C3%A3o-clim%C3%A1tica-do.pdf>. Acesso em 20 nov. 2018.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Anexo I: Parâmetros de Risco Climático. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/risco-seguro/risco-agropecuaria/documentos/Parametrosderiscoclimatico.pdf>. Acesso em 30 de out. 2018.
- MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HILBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VUUREN, D. P. V.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747-756, fev. 2010. DOI 10.1038/nature08823.
- NuGEO UEMA, NÚCLEO GEOAMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO, Laboratório de Meteorologia, [http://www.nugeo.uema.br/?page\\_id=81](http://www.nugeo.uema.br/?page_id=81), acesso 20 de abr. de 2020
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. O. L.; MEDEIROS, R. D.; SILVA, P. R. V. P.; SMIDERLE, O. J.; MOURÃO JÚNIOR, M. **Técnicas de manejo para o cultivo do caupi em Roraima**. Boa Vista – RR: Embrapa Roraima, 2002, p. 18. (Circular Técnica 03).

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 86-95, abr. 2005. DOI 10.1590/S0100-69162005000100010.

OLIVEIRA, R. L. L.; MOREIRA, A. R.; COSTA, A. V. A.; SOUZA, L. C. S.; LIMA, L. G. S.; SILVA, T. L. Modelos de determinação não destrutiva de área foliar de feijão caupi *Vigna unguiculata* (L.). **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 17-27, ago. 2015. DOI 10.14688/1984-3801/gst.v8n2p17-27.

RAMALHO, M. A. P.; SILVA, G. S.; DIAS, L. A. S. Genetic plant improvement and climate changes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, n. 2, p. 189-195, mar. 2009.

SANTOS, J. R. N.; ARAÚJO, M. L. S.; SILVA JÚNIOR, C. H.; SANTOS, J. S.; ALMEIDA, J. L.; LIMA, T. V.; SOUSA, L. V. P.; AGUIAR, P. H. M.; SILVA, F. B. Tendências de extremos climáticos na região de transição amazônia-cerrado no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, n. 26, p. 130-154, jun. 2020. ISSN 2237-8642.

SILVA, P. E.; SILVA, C. M. S.; SPYRIDES, M. H. C.; ANDRADE, L. M. B. Análise de Índices de Extremos Climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o Período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 2, ago. 2019. DOI 10.11137/2019\_2\_137\_148.

SILVA, C. D. S.; SANTOS, P. A. C.; LIRA, J. M. S.; SANTANA, M. C.; SILVA JÚNIOR, C. D. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 7-13, out. 2010. ISSN 1983-2125.

SILVA, V. de P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; SILVA, M.T.; AZEVEDO, P. V. Impact of global warming on cowpea bean cultivation in northeastern Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 11, p. 1760-1768, nov. 2010. DOI 10.1016/j.agwat.2010.06.006.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.2, p.131-138, fev. 2011. DOI 10.1590/S1415-43662011000200004.

SILVA, F. B.; SANTOS, J. R. N.; FEITOSA, F. E. C. S.; SILVA, I. D. C.; ARAÚJO, M. L. S.; GUTERRES, C. E.; SANTOS, J. S.; RIBEIRO, C. V.; BEZERRA, D. S.; NERES, R. L. Evidências de Mudanças Climáticas na Região de Transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 330-336, set. 2016. DOI 10.1590/0102-778631320150149.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consociado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 715-721, mar. 2011. DOI 10.1590/S0006-87052011000300030.