

Zoneamento de risco climático para determinação de épocas de semeadura da cultura da soja na região MATOPIBA



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pesca e Aquicultura
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 18

Zoneamento de risco climático para determinação de épocas de semeadura da cultura da soja na região MATOPIBA

*Balbino Antonio Evangelista
Fernando Antônio Macena da Silva
Jones Simon
Leonardo José Motta Campos
Telma Maria do Vale*

Embrapa Pesca e Aquicultura
Palmas, TO
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pesca e Aquicultura

Prolongamento da Avenida NS 10,
cruzamento com a Avenida LO 18, sentido
Norte, loteamento Água Fria, Palmas, TO
Caixa Postal nº 90 , CEP 77008-900
Fone: (63) 3229-7800/ 3229-7850
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Unidade responsável pelo conteúdo

Embrapa Pesca e Aquicultura

Comitê de Publicações

Presidente: *Eric Arthur Bastos Routledge*

Secretária-Executiva:

Marta Eichemberger Ummus

Membros: *Alisson Moura Santos, Andrea
Elena Pizarro Munoz, Hellen Christina G. de
Almeida, Jefferson Christofolletti, Luciana
Cristine Vasques Villela, Luciana Nakaghi
Ganeco, Rodrigo Veras da Costa.*

Unidade responsável pela edição

Embrapa Pesca e Aquicultura

Coordenação editorial

Embrapa Pesca e Aquicultura

Supervisão editorial

Embrapa Pesca e Aquicultura

Normalização bibliográfica

Embrapa Pesca e Aquicultura

Editoração eletrônica e

tratamento das ilustrações

Jefferson Christofolletti

Daniel Arrais de Carvalho

Fotos da capa

ZITO, Roberto Kazuhiko

OLIVEIRA, Alvadi Barbosa de

ZANELLA, Viviane

1ª edição

Versão eletrônica (2017)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Informação Tecnológica

Zoneamento de risco climático para determinação de épocas de semeadura
da cultura da soja na região MATOPIBA / autores, Balbino Antonio
Evangelista... [et al.]. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2017.

44p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pesca e
Aquicultura, ISSN 2358-6273; 18).

1. zoneamento agrícola. 2. seguro rural. 3. geoprocessamento. 4.
modelagem agroclimática. I. Evangelista, Balbino Antonio. II. Silva, Fernando
Antônio Macena da. III. Simon, Jones. IV. Campos, Leonardo José Motta. V.
Vale, Telma Maria do. VI. Embrapa Pesca e Aquicultura. VII. Série.

CDD 664.942

© Embrapa 2017

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Caracterização climática da região MATOPIBA	12
Material e Métodos	14
Resultados e Discussão	20
Conclusões	40
Considerações Finais	40
Agradecimentos	41
Referências	42

Zoneamento de risco climático para determinação de épocas de semeadura da soja na região MATOPIBA

Balbino Antonio Evangelista¹

Fernando Antônio Macena da Silva²

Jones Simon³

Leonardo José Motta Campos⁴

Telma Maria do Vale⁵

Resumo

A agricultura de sequeiro, como atividade produtiva rentável e sustentável, é extremamente dependente das condições ambientais, especialmente da oferta climática, e exige cada vez mais o uso de técnicas e práticas modernas de cultivo. Neste contexto, este estudo teve como objetivos delimitar as áreas de riscos climáticos e indicar a época de semeadura da cultura da soja com baixos riscos para cada município da Região MATOPIBA, designada e delimitada por parte dos municípios que pertencem ao Estado do Maranhão, todo o Estado do Tocantins e também por parte dos municípios que compõem os estados do Piauí e Bahia, considerando o ciclo do cultivar e o tipo de solo. Para isso, utilizou-se o Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques - SARRA, que simula o desenvolvimento da planta

1 Geógrafo, D.Sc., Analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO.

2 Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

3 Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO.

4 Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

5 Engenheira Ambiental, Mestranda da Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO.

em função do consumo de água e da disponibilidade hídrica do solo. Ao SARRA foram incorporados dados e informações de clima, como precipitação pluvial e evapotranspiração de referência ETp; da cultura, como o coeficiente de cultura (Kc), duração do ciclo e respectivas fases fenológicas e da profundidade das raízes; e dos solos, como RUMax de 35 mm para os Solos Tipo 1 – textura arenosa, de 55 mm para os Solos Tipo 2 – textura média e de 75 mm para os Solos Tipo 3 – textura argilosa. Foram simuladas semeaduras para períodos decendiais e obtidos os índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) estimados pela razão entre a evapotranspiração real (ETR) e a evapotranspiração máxima da cultura (ETM) para as fases de semeadura-emergência e floração-enchimento de grãos, e resultados da análise frequencial para frequência de ocorrência de 80% dos índices. Os ISNAs foram georreferenciados por meio de latitude e longitude e incorporados ao sistema de informações geográficas (SPRING/INPE). Por meio de estimadores espaciais e de funções de álgebras de mapas, foram elaborados nove mapas contendo os períodos de semeadura representativos dos diferentes grupos de cultivares e de tipos de solos. O método utilizado neste estudo permitiu delimitar áreas de baixos riscos e nestas, indicar os períodos de semeadura da soja para cada município da região MATOPIBA. Os períodos de semeadura variaram entre 01 de outubro e 31 de janeiro, com janelas maiores para a soja precoce semeada em solos argilosos, bem como maiores restrições ou ausência de datas de semeadura ocorreram em municípios localizados na metade direita da região oeste da Bahia e extremo sul do Piauí, especialmente em solos arenosos.

Palavras chave: zoneamento agrícola, seguro rural, geoprocessamento, modelagem agroclimática.

Climate risk zoning for determination of soybean planting dates in the MATOPIBA region

Abstract

Environmental conditions are one of the main agents to provide profitability to slaughtering agriculture associated with sustainable farming techniques. The objective of this research is to delimit climatic risk zones considering the crop cycle and soil type to recommend the soybean sowing period with minimum risk of crop loss in each municipality of the MATOPIBA region, designed and delimited as part of the State of Maranhão, Tocantins State and part of the states of Piauí and Bahia. The Regional Analysis System of Risques Agroclimatiques - SARRA, which simulates the development of the plant in relation to water consumption and soil moisture content, was used. In this software, climatic data such as precipitation and reference evapotranspiration (ETp) of the crop, crop coefficient (Kc), crop cycle and phenological phases, as well as effective root depth and soil water storage capacity, As RUMax of 35 mm for the soils type 1 - sandy texture; 55 mm for Soils Type 2 - silty texture; e 75 mm for Type 3 Soils - clay texture. The sowing periods were simulated every ten days and obtained the water requirement (INSA) estimated by the real evapotranspiration (ETR) and the maximum evapotranspiration (ETM) for the emergency phase and the phase of forest grain filling, in addition to a frequency of analysis for frequency rates of occurrence of 80%. The ISNA was georeferenced

by latitude and longitude and incorporated into the Geographic Information System (SPRING/INPE). Through spacial estimators, nine maps were elaborated, including representative sowing periods of different crop groups and soil types. This research allowed the delimitation of low risk areas to indicate periods of soybean sowing for each municipality in the MATOPIBA region. Seeding periods range from october 1 to january 31, with a longer period for early sowing of soybeans in clay soils, and large restrictions or lack of sowing dates occurred in municipalities located in the semi-right region of western Bahia and Piauí especially in sandy soils.

Index Terms: agricultural zoning, agricultural insurance, geoprocessing, agroclimatic modeling.

Introdução

A agricultura é, sem dúvida, a atividade de maior risco dentre todos os setores da economia. E isso se deve a fatores externos como as instabilidades políticas e de mercado, ou àqueles inerentes à produção agrícola, tais como preparo do solo, semeadura, tratamentos culturais, controle de pragas, doenças e plantas invasoras e colheita. Todos esses fatores dependem muito das condições ambientais, ou seja, do solo e principalmente do clima, que ainda é considerado o fator mais importante e de maior impacto sobre a obtenção de máximas produtividades. A imprevisibilidade do clima e o seu difícil controle conferem às adversidades climáticas como o principal fator de risco e de insucesso na produção agrícola. Os chamados estresses abióticos como a seca, o excesso de chuvas, baixa luminosidade, temperaturas extremas podem, em alguma fase do ciclo da cultura, reduzir significativamente o rendimento das lavouras e a produção de sementes com qualidade, padrão de uniformidade e poder de expressão do seu potencial genético.

Dentre os estresses ambientais, ou abióticos, a restrição hídrica é o mais comumente encontrado, podendo reduzir em cerca de 40 % a produtividade da soja. A disponibilidade de água pode afetar a soja desde a germinação até o florescimento, enchimento de grãos e qualidade da semente (MANAVALAN et al., 2009). Através da redução da quantidade de água na planta, muitos processos fisiológicos são modificados, como a fotossíntese, o equilíbrio osmótico das células, a absorção e transporte de nutrientes, a transpiração e o crescimento e desenvolvimento celular (STRECK E ALBERTO, 2006; JALEEL et al., 2009). Esse desequilíbrio dos processos fisiológicos leva a redução da produção vegetal. Na soja, a disponibilidade hídrica durante o ciclo é a principal limitação da produtividade, independente do ciclo da cultivar, da época de semeadura e do local de plantio. O clima e o tipo de solo são as variáveis de maior influência na disponibilidade hídrica. Quando se retira a água, o fator limitante da produtividade, a resposta aos outros fatores de produção, como cultivares, aumenta significativamente. Contudo, o fornecimento adequado de água, não é

garantia de produtividade recorde de soja. (FARIAS, 2001 e FARIAS et al.,2011).

Em seu estudo CARVALHO et al. (2013) indicam que para produzir satisfatoriamente, a cultura da soja necessita de entre 450 mm e 800 mm de água durante o seu ciclo de desenvolvimento, dependendo não só das condições de temperatura da região, mas também do manejo, da data de semeadura e das características da cultivar. Por outro lado, o bom desempenho da cultura depende do volume de água adequado e também de uma boa distribuição das chuvas ao longo do ciclo, para satisfazer suas necessidades, principalmente, durante as duas fases mais críticas do seu ciclo que são a germinação-emergência e a floração-enchimento de grãos, quando chega a consumir entre 7 e 8 mm de água por dia.

No Brasil, em particular no Bioma Cerrado, dentre as variáveis meteorológicas, a precipitação pluvial é entendida como sendo a principal causa determinante das perdas de rendimento da cultura da soja. Embora o volume anual precipitado na região seja suficiente para o atendimento das necessidades da cultura, as chuvas apresentam grande variabilidade no tempo e no espaço, com repercussão direta sobre as épocas de semeadura, rendimento e manejo das lavouras (ASSAD et al., 2008, SILVA et al., 208 e EVANGELISTA et al., 2013).

Esses autores afirmaram também que, além disso, a ocorrência de veranicos durante a estação chuvosa e, principalmente, quando coincide com as fases produtivas da cultura, como formação das flores e enchimento dos grãos, pode representar perdas de grande impacto na renda do agricultor, com reflexo na produção agrícola e balança econômica nacional, uma vez que a soja é considerada uma das commodities mais importantes do País. E este cenário de redução de chuvas e ocorrência de veranicos tem se intensificado nos últimos quatro anos na região Cerrados, especialmente na fração MATOPIBA.

A região do MATOPIBA, definida como a interface de terras dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MIRANDA, 2014),

tem mostrado destaque no cenário agrícola nacional. Em 2015/2016 a região apresentou 7,8 % do total da produção brasileira de soja, que corresponde a 7,6 milhões de toneladas (CONAB, 2016). Contudo, existe um grande potencial de aumento de produção de grãos na região. Considerando as projeções do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (MAPA, 2015) a área de cultivo de soja passará de 33,1 milhões de hectares em 2016/2016, para 41,2 milhões de hectares em 2024. Neste contexto pode-se considerar que dos 8,1 milhões de hectares a ser incorporados, grande contribuição será procedente de terras do MATOPIBA.

Nesta região, considerada como uma das últimas fronteiras agrícolas do país, a cultura da soja tem se destacado e transformado rapidamente sua paisagem. Importante fonte de divisas, o grão é responsável por grande parte do fornecimento de proteína para animais, e de óleos para a indústria (GARAGORRY et al., 2015). Para garantir a sustentabilidade desta cultura, muitos estudos têm sido realizados visando o aumento da produtividade da soja, dentre eles, o zoneamento agrícola de risco climático.

Como exemplo do impacto das chuvas na produção da soja, na safra 2015/2016 os principais pólos de produção da região foram afetados com maior ou menor intensidade pela ação do “El Niño”, considerado de maior intensidade em relação aos outros anos, o que gerou efeito no déficit hídrico final, e redução de 41,2%, 31,8%, 64,8%, 23,2% na produção de soja do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, respectivamente (CONAB, 2016).

Por isso, recomenda-se que a produção de soja com alto rendimento, qualidade e expressão genética, resulte necessariamente de estudos prévios de aptidão agrícola e de riscos climáticos, principalmente a escolha certa da época de semeadura. Neste contexto, este estudo teve como objetivos: i) delimitar as áreas de riscos climáticos na região do MATOPIBA; ii) nas áreas de baixo risco, estabelecer as épocas de semeadura por município, considerando o ciclo dos cultivares e o tipo de solos.

Caracterização climática da região MATOPIBA

Embora a delimitação da Região MATOPIBA tenha sido oficializada recentemente, consultando a caracterização climática das Unidades Federais que a compõem, com foco na porção de terra que compõe esta Região, obtém-se que, segundo a classificação de KÖEPPEN (1948), toda a região pode ser considerada como tropical (Aw) nas variações seco e quente e úmida, com temperaturas médias mensais variando entre 25 e 27 °C na maior parte do território. Verifica-se uma distribuição irregular de chuvas ao longo do ano; uma estação seca, que tem início no mês de maio e termina no mês de setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril, com índices médios anuais entre 800 e 2.000 mm (ASSAD, 1994).

Na porção que pertence ao Maranhão, a temperatura apresenta médias anuais elevadas, em torno de 26 °C, mas diferem quanto ao comportamento pluviométrico, com volumes de 1.250 a 1.500 mm anuais e estação seca bem marcada; e diferem entre si, pela época de ocorrência das chuvas ou período chuvoso.

O clima no Tocantins é caracterizado por uma estação chuvosa e ocorre nos meses de outubro a abril, e outra estação seca, de maio a setembro. É condicionado pela ampla extensão latitudinal e pelo relevo de altitude pouco variável, entre 200 e 600 metros. Ao Norte do paralelo 6° S, região conhecida como “Bico do Papagaio”, de vegetação típica do bioma Amazônico, o clima é úmido, sem inverno seco. A temperatura média anual está em torno de 26 °C, e as precipitações pluviométricas variáveis entre 1.500 e 2.100 mm. Ao Sul do paralelo 6° S, o clima predominante é subúmido, os meses chuvosos e os secos se equilibram e as temperaturas médias anuais diminuem lentamente à medida que se eleva a altitude. As temperaturas médias anuais variam entre 23° (altitudes acima de 600 m) e 27 °C, e o regime pluviométrico entre 900 e 2.100 mm anuais.

A tipologia climática que ocorre na porção do estado do Piauí que integra o MATOPIBA é classificada por KÖEPPEN (1948) como tropical quente e úmido (Aw). As temperaturas médias variam entre 25 e 27 °C. As chuvas também são variáveis, tendo ao sul, cerca de 700 mm e mais ao norte, índices próximos a 1.200 mm anuais.

Na porção do oeste baiano, o clima caracteriza-se por uma estação seca (maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril) com precipitação pluviométrica média anual de 1.500 ± 500 mm. Os veranicos, períodos de seca de uma a três semanas, podem ocorrer durante a estação chuvosa, especialmente nos meses de janeiro e fevereiro. A temperatura média anual apresenta amplitude de 21,3 a 27,2 °C (EMBRAPA, 2014). Os índices pluviométricos na bacia do rio Preto, por exemplo, variam entre 800 e 1.600 mm anuais, concentrando-se as chuvas nos meses de novembro a março. Os maiores níveis localizam-se na porção do extremo oeste e diminuem à medida que avança para o leste.

Em estudo recente, após delimitação da Região MATOPIBA, LUMBRERAS et al. (2015) dividiram a região em cinco domínios climáticos, que foram identificados pelos símbolos sequenciais de C1 a C5. A distribuição espacial desses cinco domínios reflete a redução nos índices de umidade em direção sul e, de forma mais acentuada, de oeste para leste. Nas áreas de domínios C1 e C2, vizinhas ao Bioma Amazônia, ocorrem as maiores precipitações pluviométricas, superiores a 1.300 mm, períodos de estiagem mais curtos e índices de umidade positivos. Os climas C4 e C5, este último já pertencente ao domínio das caatingas e florestas caducifólias intermediárias para caatinga, distinguem-se por deficiência hídrica acentuada, típica do ambiente semiárido, com chuvas anuais podendo chegar a totais próximos a 600 mm.

Em síntese, pode-se afirmar que a variabilidade climática interanual da região é bastante acentuada, especialmente com relação à precipitação pluviométrica, e conseqüentemente à disponibilidade de água para as culturas.

Material e Métodos

O estudo foi realizado para a região MATOPIBA (Figura 1), definida como a interface de terras que compreende municípios dos estados do Maranhão, 135 municípios, Tocantins, 139, Piauí, 33, e Bahia, 30. É uma região de grande potencial de expansão para a agricultura moderna, e com alta variabilidade ambiental especialmente de solos e clima (MIRANDA et al., 2014).

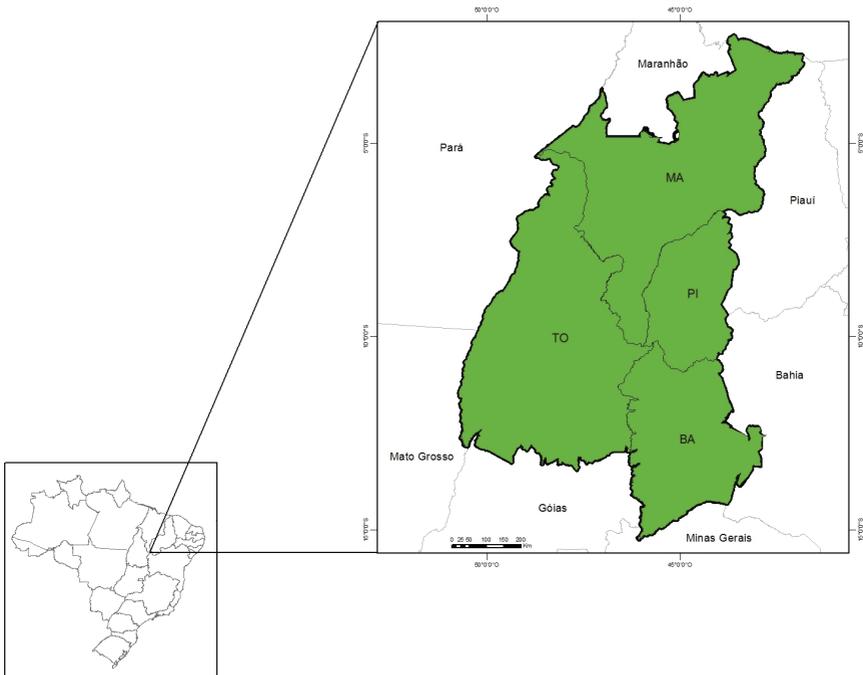


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.

Para realização do zoneamento agrícola de risco climático para a cultura da soja na região MATOPIBA, utilizou-se o modelo SARRA (Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques), desenvolvido por BARON et al. (1996). É considerado um modelo empírico, simples, e assim como o modelo FAO, descrito por DOORENBOS & KASSAN

(1979), simula o desenvolvimento da planta em função do consumo de água e disponibilidades hídricas do solo.

Por meio deste sistema, foi realizado o balanço hídrico da cultura como forma de estimar o atendimento às necessidades de água da planta em seus períodos críticos como semeadura – germinação e floração – enchimento de grãos (reprodutivo), por meio da interação entre a oferta de água das chuvas, a capacidade de armazenamento e disponibilidade hídrica dos solos, bem como da demanda de água e tolerância à restrição hídrica da cultura da soja.

Ressalta-se que por se tratar de um modelo agroclimático, parte-se do pressuposto de que não existem limitações quanto à fertilidade dos solos e danos às plantas devido à ocorrência de pragas e doenças. Ainda, que o produtor conhece o sistema de produção e utiliza as tecnologias de cultivo que lhe permitem obter o rendimento potencial da cultivar adotada.

Ao modelo SARRA foram incorporados: i) dados de precipitação pluviométrica e evapotranspiração de referência ou potencial; ii) dados físico-hídricos dos solos como profundidade, água disponível (AD) e reserva útil na zona radicular (RUR), e iii) dados de fisiologia da cultura como coeficiente de cultura (K_c), duração média do ciclo e das fases fenológicas e profundidade efetiva do sistema radicular.

Para realização do estudo, foram utilizados dados diários de precipitação pluvial obtidos de 345 postos que apresentaram séries históricas de medições com duração de 15 a 30 anos, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Nacional de Águas (ANA). A partir das informações das estações meteorológicas do INMET localizadas na região, foram estimadas as médias decendiais da evapotranspiração de referência (ET_0), aplicando-se o método de PENMAN-MONTEITH e interpolando para as localidades dos postos pluviométricos que não apresentaram esta informação.

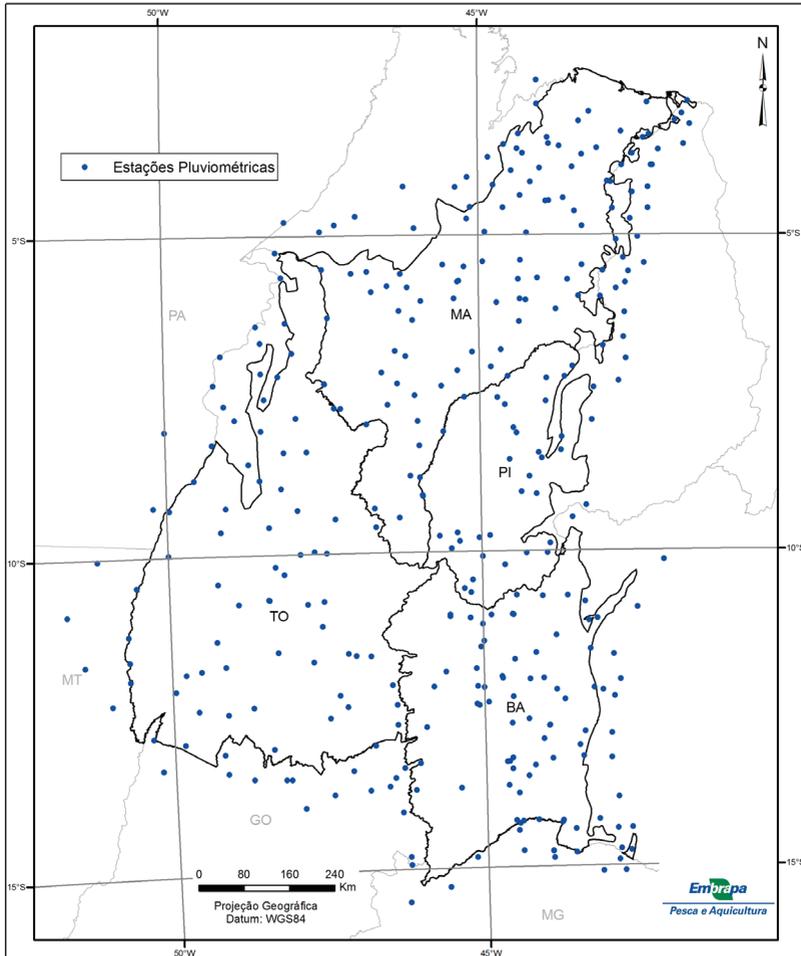


Figura 2. Distribuição espacial dos postos pluviométricos e climatológicos utilizados no estudo.

Foi necessário reduzir o número de classes de solos para que o estudo pudesse ser operacional. Assim, estes foram reclassificados por textura, ou seja, em função de suas características físico-hídricas, que determina a capacidade de retenção de água e disponibilização para as plantas. Foram agrupados em três tipos: i – solos de textura arenosa,

ii – solos de textura média, e iii – solos argilosos, estabelecido por LOPES-ASSAD et al. (2007).

Os solos Tipo 1 pertencem ao grupo de textura arenosa e têm como características físico-hídricas, baixa capacidade de retenção de água, teor de argila entre 15% e 35%, e mais de 70 % areia, com variação de textura no primeiro horizonte, e a Capacidade de Água Disponível (CAD) desses solos são variáveis entre 0,4 e 0,7 mm cm⁻¹.

Os solos Tipo 2 pertencem ao grupo de textura média e têm como características físico-hídricas, média capacidade de retenção de água, teores de argila entre 15% e 35 % e menos de 70% areia, e a Capacidade de Água Disponível (CAD) desses solos são variáveis entre 0,7 e 1 mm cm⁻¹.

E os solos Tipo 3 pertencem ao grupo de textura argilosa, tendo como características físico-hídricas uma alta capacidade de retenção de água, teores de argila maiores que 35% e menos de 15% de areia. A Capacidade de Água Disponível (CAD) desses solos são variáveis e maiores que 1 mm.

Neste tipo de estudo, é necessário definir a reserva útil máxima de água dos solos (RUMax). Assim, e por se tratar do balanço hídrico da cultura, foi considerada a capacidade de água disponível (CAD) média de cada grupo ou tipo de solo (mm/cm⁻¹ do solo) e também a profundidade efetiva de exploração das raízes da soja, ou seja, o perfil do solo com disponibilidade de água a ser explorado pela planta. Com isso, estimou-se a RUMax dos solos Tipo 1 em 35 mm, dos solos Tipo 2 em 55 mm e dos solos Tipo 3 em 75 mm.

Também, como parâmetro da cultura da soja, o estudo utiliza a duração média do ciclo e das respectivas fases fenológicas dos cultivares, bem como o coeficiente da cultura (Kc), que expressa o consumo de água da planta, e é relativo à evapotranspiração de referência que, por sua vez, representa as condições ambientais e atmosféricas. Foi interpolado para obtenção de um valor médio para períodos de dez dias durante

o ciclo do cultivar (Tabela 1). Assim como para os solos, os cultivares registrados no Registro Nacional de Cultivares (RNC/MAPA) foram classificados e agrupados, e estabelecida uma duração média dos ciclos e fases fenológicas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 1. Coeficientes de cultura (Kc) estabelecidos para períodos de dez dias (decêndios) durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja.

Ciclo	Períodos decendiais													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Grupo I	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,4	1,2	0,9	0,8	0,8	-	-
Grupo II	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	0,9	0,8	-
Grupo III	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	0,9	0,8

Tabela 2. Duração média do ciclo e respectivas fases fenológicas da cultura da soja (em dias).

Grupo/Ciclo	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV	Ciclo
	Emergência	Desenv. vegetativo	Formação grãos	Maturação	
Grupo I	10	35	40	30	115
Grupo II	10	40	45	30	125
Grupo III	10	45	50	35	140

Das simulações de balanço hídrico das culturas, são obtidos diferentes indicadores de oferta e demanda hídrica. Neste estudo, foram avaliados os valores de evapotranspiração real (ETR) e da evapotranspiração máxima da cultura (ETM). A partir da relação ETR/ETM obtém-se o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) da cultura em cada uma de suas fases fenológicas. As simulações foram realizadas para cada localidade representada pelos postos pluviométricos. A definição das áreas de baixo, médio e alto risco climático, bem como do estabelecimento da janela de semeadura com baixos riscos de perdas de rendimento, foi associado à ocorrência ou não de déficit hídrico nas fases de semeadura/emergência (fase I) e de formação dos grãos (floração/enchimento), consideradas aqui como as mais críticas em relação à necessidade de água para que a cultura possa atingir sua produção potencial.

O cálculo estatístico disponível no SARRA e utilizado para determinar o risco climático foi a análise frequencial. Foram obtidos os ISNAs apresentados no 8º decil da distribuição de frequências, ou seja, análise frequencial de 80%. Os valores obtidos nessa frequência são maiores ou iguais a todos os valores da série e inferiores a apenas 20% deles. Como exemplo prático, quando simulado a semeadura da soja de um dado ciclo em um dado tipo de solo, e obtido um ISNA a partir da análise frequencial de 80%, significa que este índice ocorreu em pelo menos 80% dos anos da série de 30 anos de medidas de chuva. Ainda, se o índice apresentado na Fase I for $\geq 0,50$ e na Fase III for $\geq 0,60$, significa que em pelo menos 24 dos 30 anos, a planta não sofreu restrição hídrica nas fases de semeadura, germinação e também na fase produtiva, caracterizando um cenário de baixo risco. O ISNA é variável entre 0 e 1 e sua associação às classes de risco está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Associação dos índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) da soja às respectivas classes de riscos.

Fase Crítica	Alto Risco	Médio Risco	Baixo Risco
Fase I	$\leq 0,40$	0,40 - 0,50	$\geq 0,50$
Fase III	$\leq 0,55$	0,55 - 0,65	$\geq 0,60$

Análise espacial dos índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) da soja

Esta etapa consistiu da sistematização e georreferenciamento dos índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) obtidos a partir do modelo SARRA. Conforme dito anteriormente, são realizadas simulações de época de semeadura para os 36 decêndios do ano, selecionando-se alternadamente o ciclo da cultura e o tipo de solo. Os resultados são apresentados em um arquivo de saída no qual estão listadas todas as estações pluviométricas com o seus respectivos ISNAs para cada fase fenológica.

Como cada posto pluviométrico apresenta suas coordenadas geográficas por meio de latitude e longitude, com a utilização de um sistema de informações geográficas (SIG), os ISNAs são espacializados para a determinação do mapa temático que representa as áreas de risco, bem como as melhores datas de semeadura para a cultura da soja no MATOPIBA.

Para georreferenciamento e interpolação dos índices, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento, os sistemas de informações geográficas (SIG), tais como os softwares ArcMap, da ESRI, e o SPRING, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Estes contêm estimadores espaciais estatísticos e geoestatísticos que permitiram calcular o ISNA para cada ponto da superfície, por meio da ponderação dos valores apresentados pelas estações vizinhas, e também funções de álgebras de mapas, que permitiram, entre outras, realizar cruzamentos entre diferentes mapas temáticos.

Por fim, foram gerados os mapas para caracterizar os riscos climáticos, considerando-se as variáveis: ciclo da cultivar, período de semeadura e classe ou tipo de solo. O mapa final do zoneamento de riscos climáticos relativos a cada simulação de semeadura resultou do cruzamento dos mapas de ISNAs das Fases I e III, e obedeceram aos critérios apresentados na Tabela 3.

Resultados e Discussão

O estudo de zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja para a região MATOPIBA está apresentado em nove mapas, sendo que cada um deles apresenta o período de semeadura da cultura por grupo de ciclo de cultivar e grupo de tipos de solos, e para todos os municípios da região. Em todos os mapas, os municípios que apresentam as variações de cores na tonalidade verde, iniciam a semeadura em outubro; os municípios que apresentam as cores nas tonalidades em azul iniciam o período de semeadura em novembro; enquanto os municípios que apresentam as cores nas tonalidades de

amarelo iniciam suas janelas de semeadura em dezembro e janeiro; e por fim, os municípios preenchidos pela cor vermelha não apresentam épocas de semeadura por estarem localizados em regiões de alto risco de quebra de produção devido a elevadas restrições hídricas.

Observa-se que normalmente acontece uma ampliação da janela ou período de semeadura da soja de ciclo precoce em relação aos ciclos médios e tardios, respectivamente. Da mesma forma, os períodos de semeadura da soja em solos do grupo de textura argilosa são maiores e com menores riscos que cultivos em solos do grupo de textura média e arenosos, respectivamente.

Observa-se que de uma maneira geral as datas iniciais de semeadura ocorrem em outubro nos municípios do Tocantins, em novembro no oeste da Bahia, sul do Maranhão e Piauí; e em dezembro e janeiro, na direção norte do Estado do Maranhão. Ainda, as áreas de maiores restrições hídricas são observadas nas regiões oeste da Bahia, mesmo nos polos produtores como Barreiras, Luiz Eduardo Magalhães, Correntina, São Desidério, Riachão da Neves, Formosa do Rio Preto, e outros; e sul do Piauí como Bom Jesus, Uruçuí, Corrente, Picos, Floriano, São Raimundo Nonato, Oeiras e Canto do Buriti, onde não são indicadas semeaduras para vários municípios, sendo com maior quantidade nos cenários de cultivos de ciclos tardios em solos arenosos. E nos últimos quatro anos os registros oficiais de estimativa de produção (CONAB e IBGE) mostraram que, em pelo menos três, foram observadas consideráveis taxas de quebras de produção nessas regiões.

Também é observada alta variabilidade nas épocas de semeadura da soja em municípios localizados nas regiões sul e central do Maranhão e sul do Piauí. Esta condição indica a ocorrência de uma zona de transição climática, e também que o método matemático estatístico aplicado aos ISNAs (análise frequencial) ou o de análise espacial (estimador ou interpolador) podem não ser os mais adequados para descrever as variabilidades temporais e espaciais dos riscos climáticos na região MATOPIBA.

As épocas de semeadura da soja de ciclo precoce (115 dias) em solos de textura arenosa, com capacidade média de armazenamento de 35 mm de água na profundidade da zona radicular estão apresentadas na Figura 3. Este cenário é bastante representativo desta região, especialmente para o Tocantins e oeste da Bahia, onde predominam solos arenosos. Como consequência da variabilidade temporal e espacial das chuvas e de suas interações com as características físico-hídricas dos solos, a demanda de água da cultura, bem como de sua tolerância à restrição hídrica, observam-se 19 diferentes períodos de semeadura. Dada à baixa capacidade de retenção de água desse grupo de solos e o reduzido volume de chuvas que ocorrem na região oeste da Bahia e sul do Piauí, pode-se observar grande região de alto risco e sem épocas de semeadura da soja sem risco de perdas de rendimento. E esta condição foi observada especialmente nos últimos três anos-safra, com consideráveis quebras de rendimento das lavouras (CONAB, 2016).

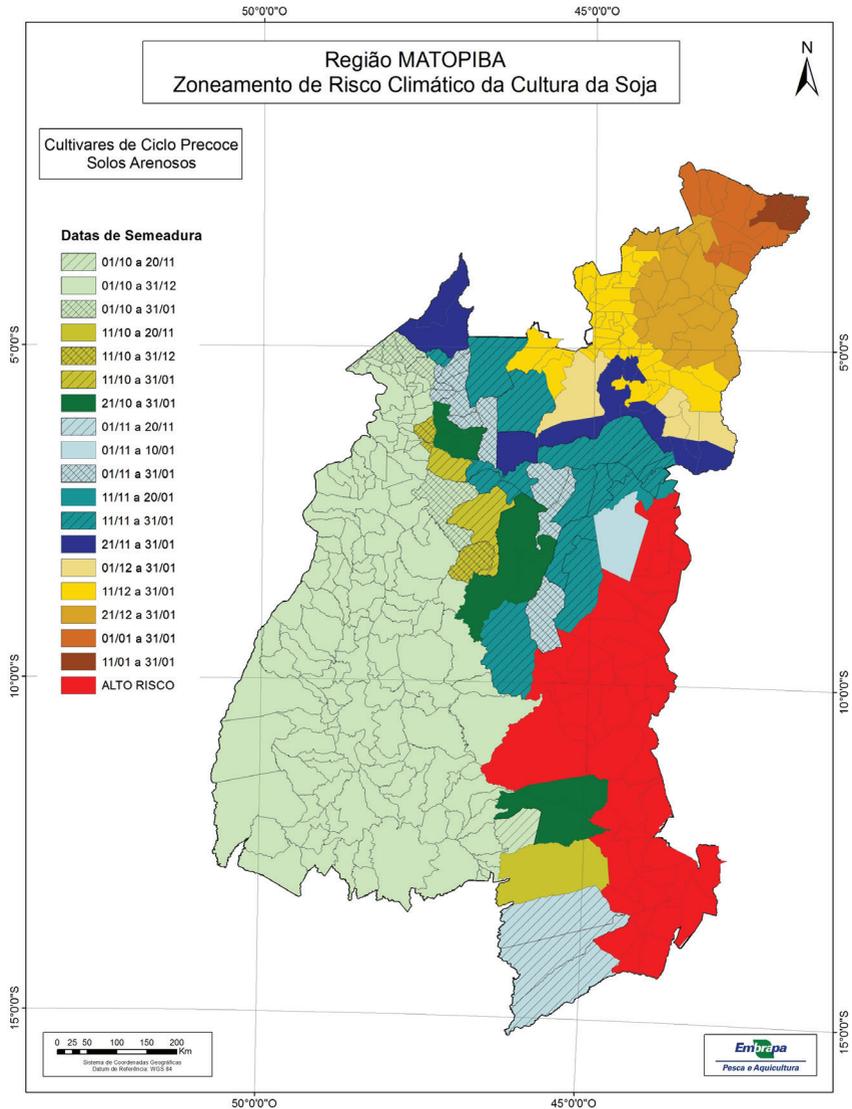


Figura 3. Épocas de semeadura da cultura da soja de ciclo precoce em solos de textura arenosa na região MATOPIBA.

Na Figura 4 estão apresentas os períodos de semeadura da soja de ciclo precoce (115 dias) em solos de textura média, com capacidade média de armazenamento de 55 mm de água no perfil da zona radicular efetiva da soja.

Observam-se 17 diferentes épocas de semeadura, com o início no primeiro decêndio de outubro se concentrando no Tocantins e se estendendo até o segundo decêndio de janeiro no extremo nordeste do Maranhão. Neste cenário de solos com maior capacidade de armazenamento de água, quando comparado aos arenosos, observa uma redução do número de municípios sem apresentar datas de semeadura com baixos riscos de quebra de rendimento (alto risco), localizado no oeste da Bahia e extremo sul do Piauí.

É importante ressaltar que este estudo propõe uma metodologia de zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) aperfeiçoada daquela adotada pelo MAPA e Secretaria de Desenvolvimento Agrário como instrumento orientador para liberação de crédito de custeio das lavouras amparado pelo seguro rural Proagro e Proagro Mais. E esta metodologia preconiza definir épocas de cultivo onde a probabilidade de sucesso esperada é de 80%, ou seja, produção viável em pelo menos 8 de cada 10 cultivos. Ainda, embora este estudo apresente municípios de alto risco e sem janela de semeadura da soja, não significa afirmar que não se deva ou que não se cultiva esta cultura nessas localidades, mas que a frequência de ocorrência de quebras de rendimento por restrição hídrica é superior a 20%, ou seja, mais que dois anos de cultivo em cada dez, e teria como consequência o não acesso ao seguro rural.

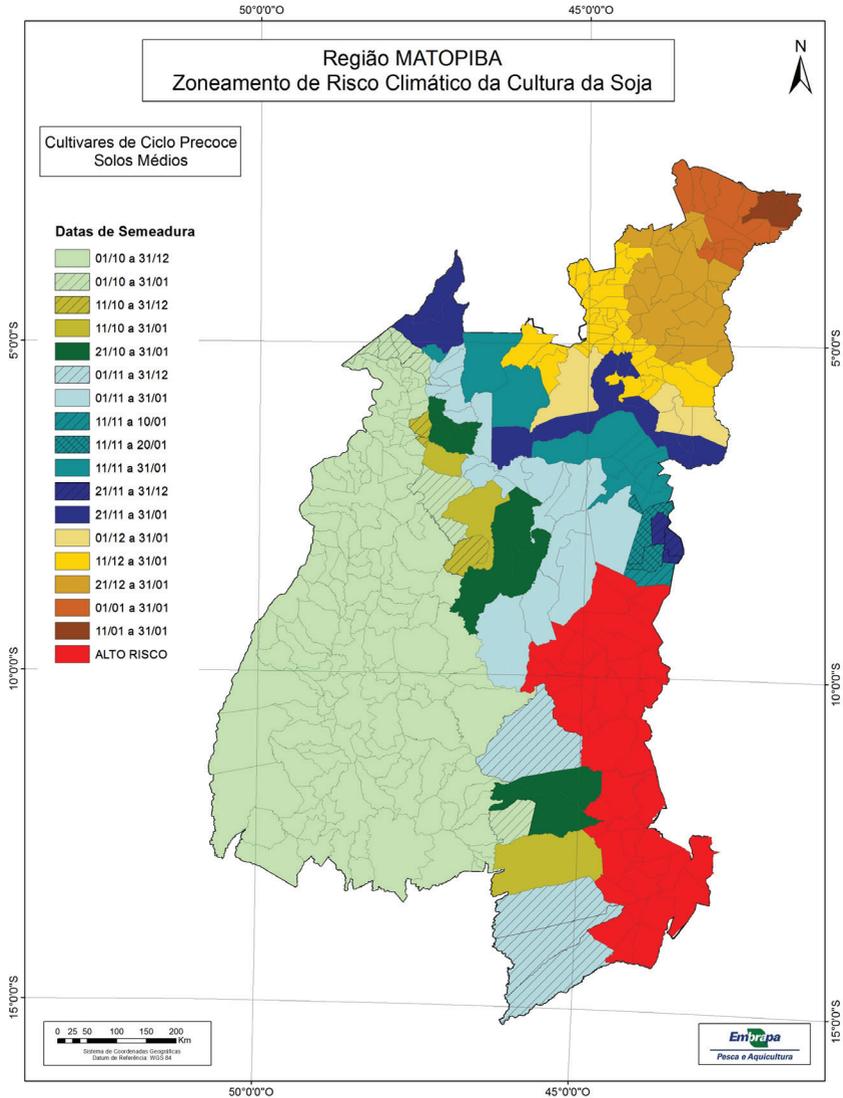


Figura 4. Épocas de semeadura dos cultivares de soja de ciclo precoce em solos de textura média na região MATOPIBA.

Na Figura 5 estão apresentadas 16 regiões com diferentes as épocas de semeadura da soja de ciclo precoce (115 dias) em solos de textura argilosa e com capacidade média de armazenamento de 75 mm de água na zona radicular da cultura. Embora este seja o melhor cenário para cultivo da soja com baixos riscos (ciclo curto e solos com maior capacidade de retenção de água), ele não é representativo de toda a região e só se aplica nas reduzidas áreas de solos argilosos. Mesmo nessa condição, observa-se um considerável número de municípios do sul do Piauí e oeste da Bahia (metade direita da região), classificados como de altos riscos e sem indicativo de épocas de semeadura e, mais uma vez evidenciando se tratar de sub-regiões produtoras de soja, mas submetidas a elevadas e frequentes restrições hídricas.

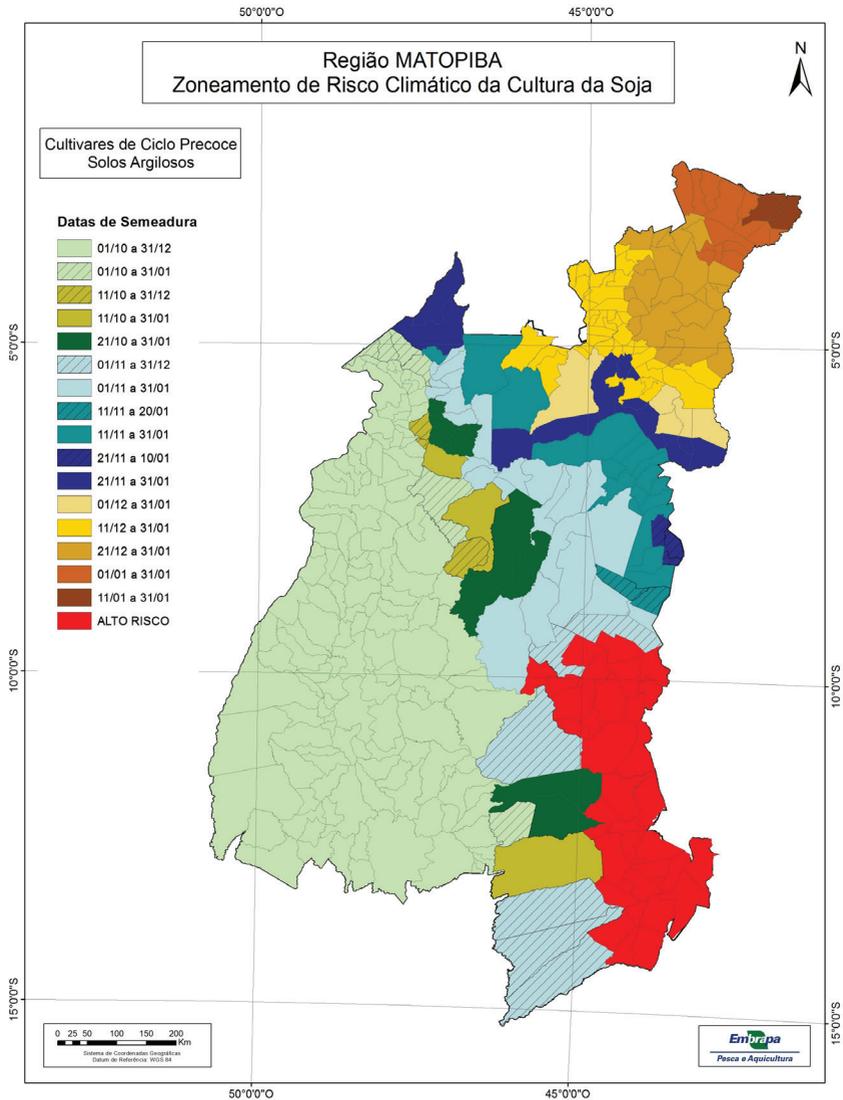


Figura 5. Épocas de semeadura dos cultivares de soja de ciclo precoce em solos de textura argilosa na região MATOPIBA.

A Figura 6 apresenta as épocas de semeadura da soja de ciclo médio (125 dias) em solos arenosos e com capacidade de armazenamento de 35 mm de água na zona radicular da cultura. Pode-se afirmar que este cenário também é representativo de considerável área de cultivo da região. São observadas 18 regiões com diferentes janelas de semeadura, e apresentam períodos menores quando comparados aos cenários de ciclo precoce nos mesmos solos. Nesses ambientes, praticamente o oeste da Bahia e dois terços do sul do Piauí apresentam alto risco e sem datas de semeadura.

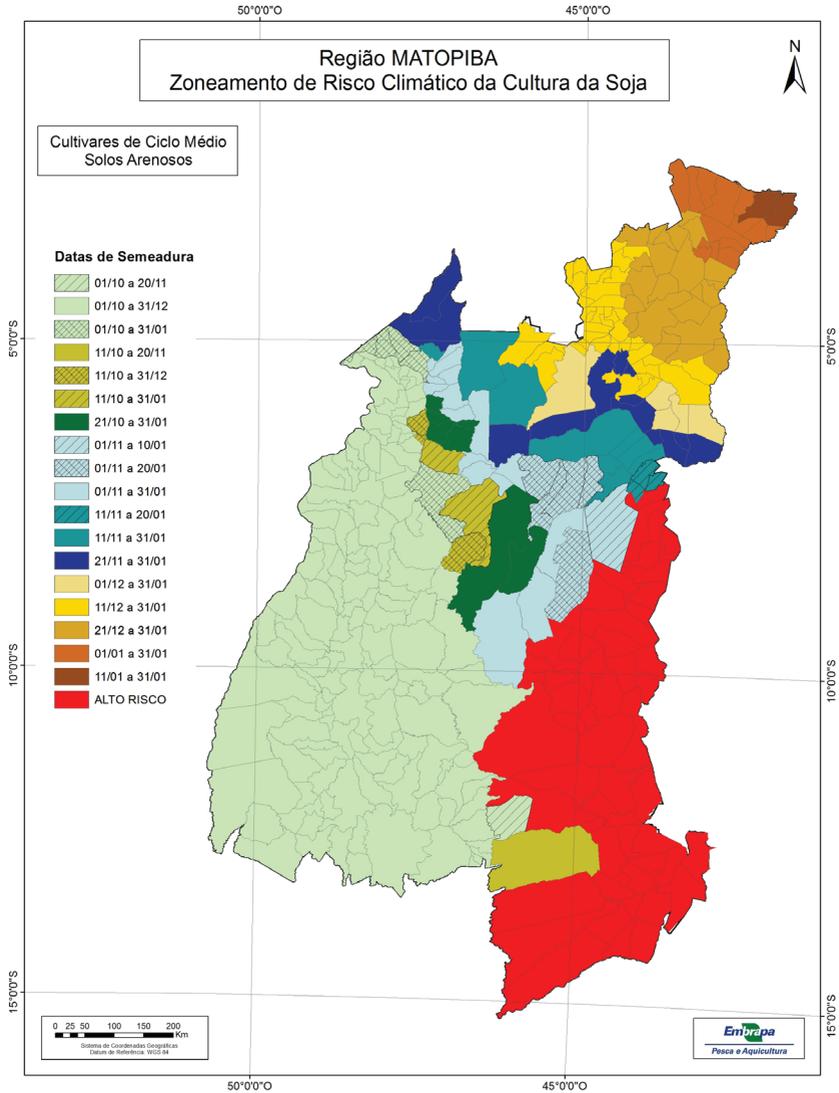


Figura 6. Épocas de semeadura dos cultivares de soja de ciclo médio em solos de textura arenosa na região MATOPIBA.

A Figura 7 apresenta as épocas de semeadura da soja de ciclo médio em solos de textura média e com capacidade de retenção média de 55 mm de água na zona radicular da soja. Neste cenário, observam-se 20 regiões homogêneas com diferentes períodos de semeadura. Quando comparado ao cenário de culturas de mesmo ciclo e em solos arenosos (Figura 4), observam-se poucas alterações. Solos de textura média ocorrem em extensões consideráveis da região e neles normalmente são utilizados cultivares de ciclo médio ou precoce, recomendações técnicas para que a lavoura permaneça por tempo menor sob risco de restrição hídrica.

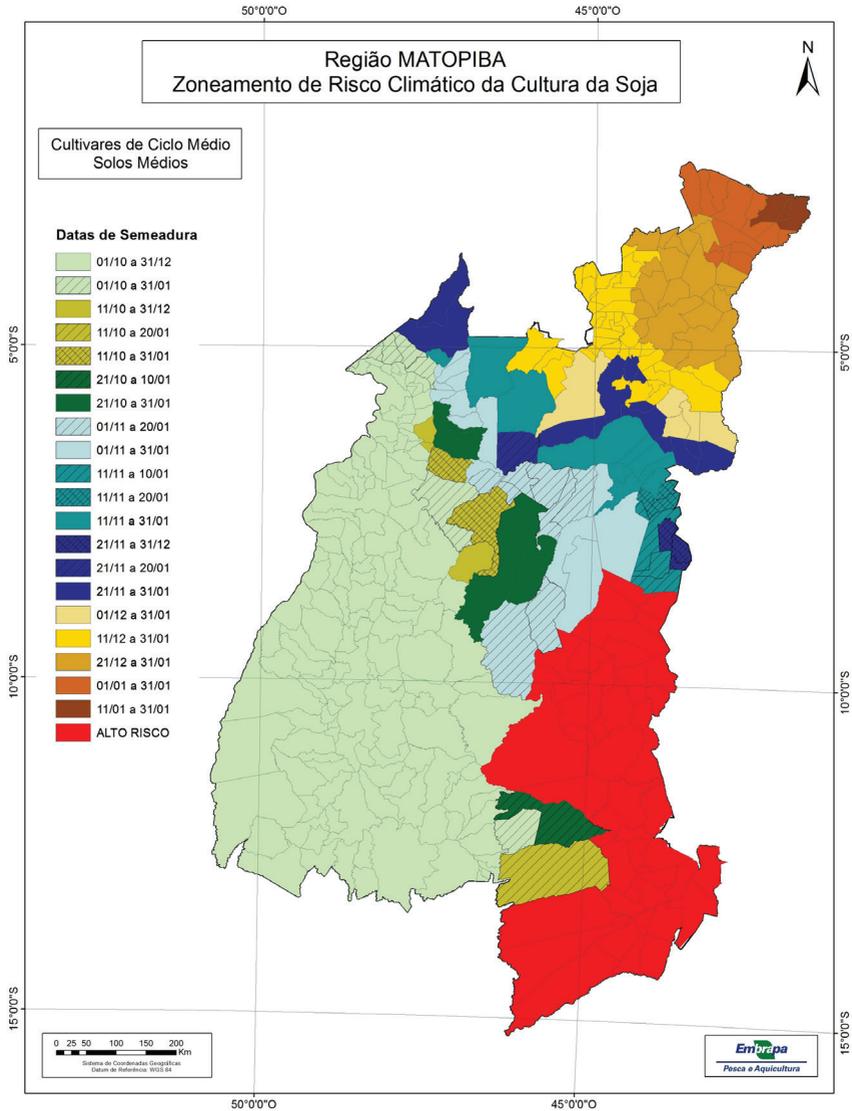


Figura 7. Épocas de semeadura dos cultivares de soja de ciclo médio em solos de textura média no MATOPIBA.

A Figura 8 apresenta as épocas de semeadura da soja de ciclo médio (125 dias) em solos de textura argilosa e com capacidade média de armazenamento de 75 mm de água. Nesta Figura estão apresentadas 20 zonas ou sub-regiões compostas por municípios que apresentam as mesmas janelas ou períodos de semeadura. Este cenário é pouco representativo da região, especialmente no Tocantins e oeste da Bahia, e ocorre em áreas reduzidas e pontuais de solos argilosos. Sob essas condições, observa-se redução, embora pequena, das áreas de alto risco no sul do Piauí e oeste da Bahia.

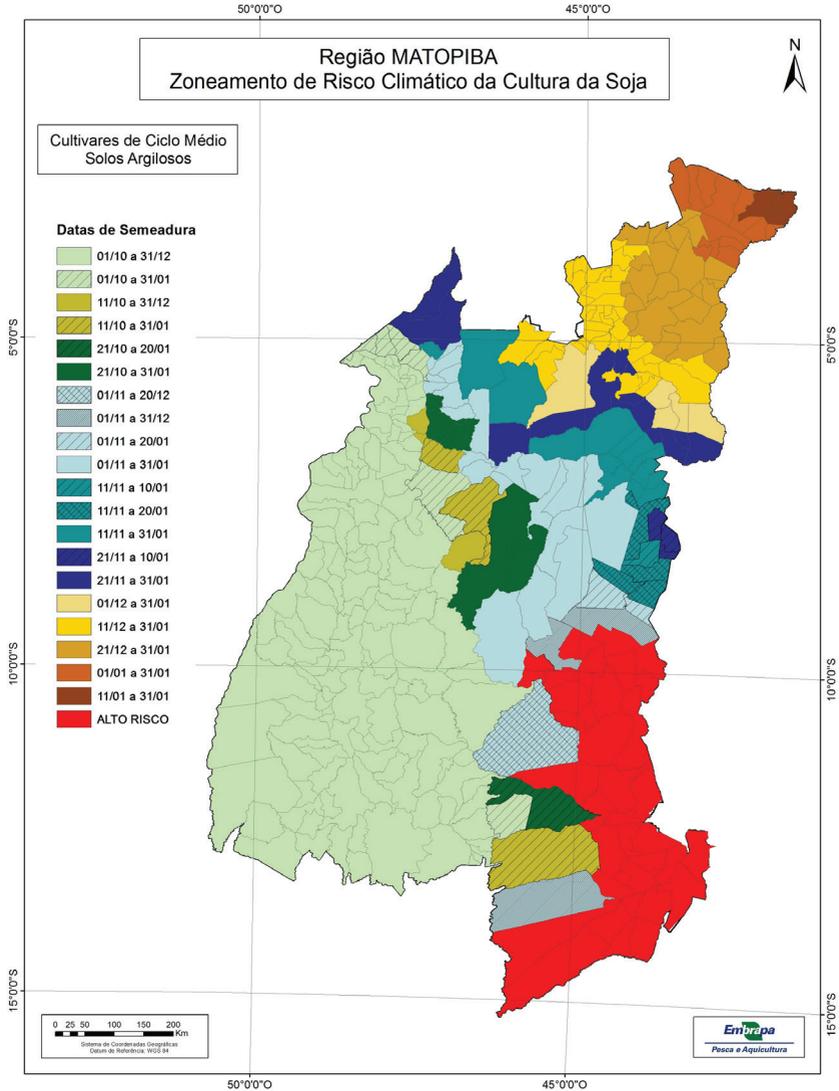


Figura 8. Épocas de semeadura dos cultivares de soja de ciclo médio em solos de textura argilosa na região MATOPIBA.

Os períodos de semeadura da soja de ciclo tardio (140) em solos arenosos e com capacidade de armazenamento médio de 35 mm de água estão apresentados na Figura 9. Em estudos de risco climático na agricultura, esta simulação ilustra o cenário de maior risco de quebra de rendimento das lavouras. Nos mapeamentos de cultivos de materiais de ciclo tardio em solos de textura arenosa, de baixa capacidade de armazenamento de água, ocorrem as maiores áreas de alto risco e também as menores janelas de semeadura nas zonas de baixo risco. Nesta condição também é observado o maior número de regiões com municípios com a mesma de janela de semeadura, num total de 21 sub-regiões homogêneas.

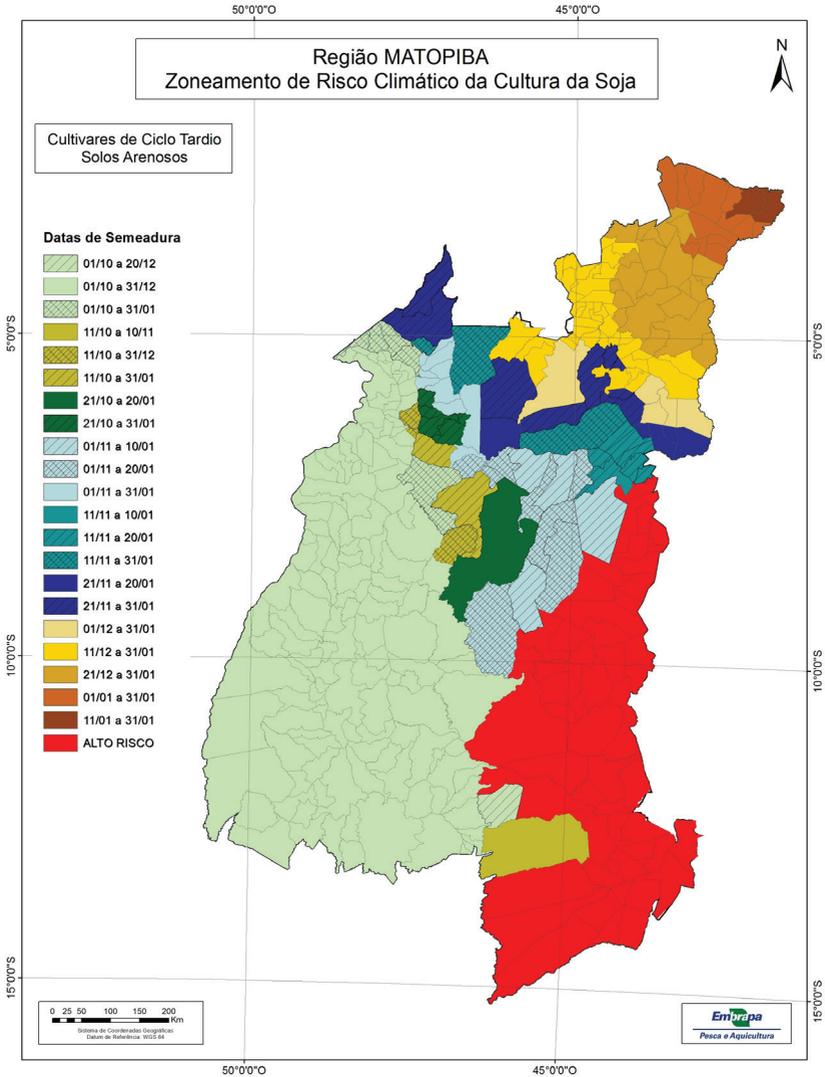


Figura 9. Épocas de semeadura dos cultivares de soja de ciclo tardio em solos de textura arenosa na região MATOPIBA.

Outro cenário simulado neste estudo e apresentado na Figura 10 apresenta os municípios e suas respectivas épocas de semeadura da soja de ciclo tardio em solos de textura média e com capacidade de retenção média de 55 mm de água. São observadas 22 sub-regiões de municípios com mesmo período de semeadura. Este é um cenário que ainda representa alguns ambientes de produção na região MATOPIBA, uma vez que, embora este grupo de solos seja representativo, os cultivares tardios não são comumente adotados, especialmente nas zonas de maior restrição de chuva (Bahia e Piauí).

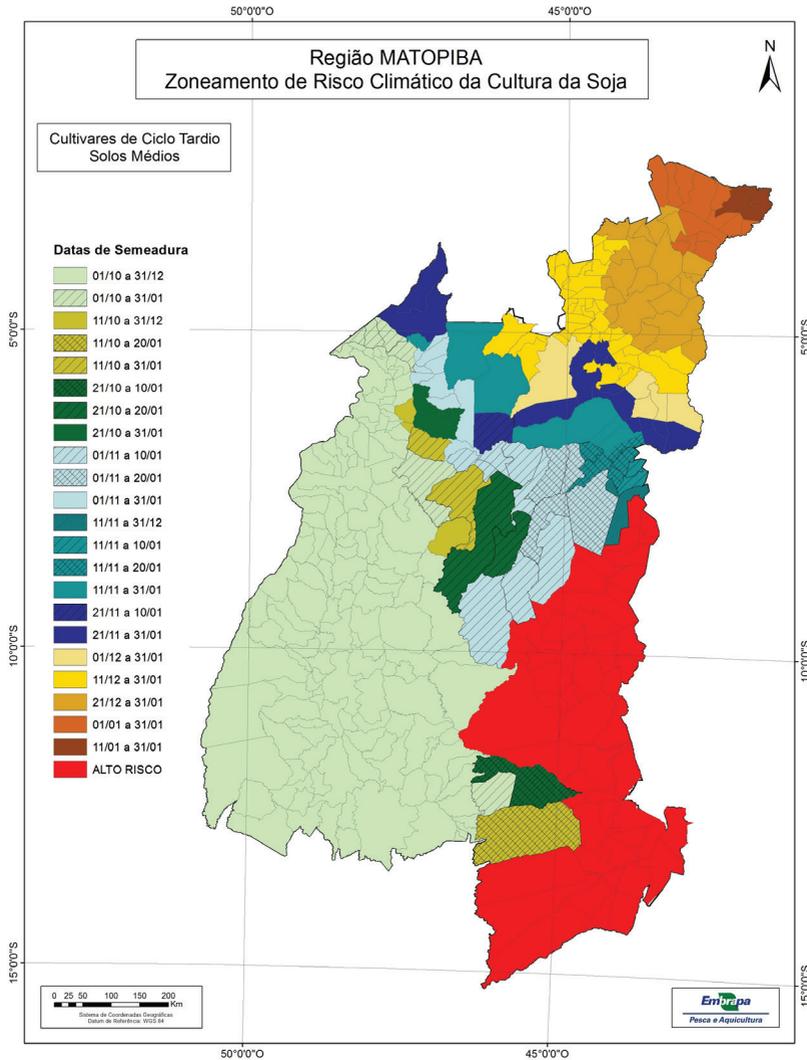


Figura 10. Épocas de semeadura dos cultivares de soja de ciclo tardio em solos de textura média na região MATOPIBA.

A Figura 11 apresenta as épocas de semeadura da soja de ciclo tardio cultivados em solos argilosos com capacidade de retenção média de 75 mm de água no perfil do solo explorado pelas raízes da planta. A alta variabilidade climática da região está representada nas 24 diferentes sub-regiões que agregam municípios com mesma janela de semeadura. Mesmo nesta simulação de semeaduras em solos de maior capacidade de armazenamento de água, observam-se as áreas de alto risco concentradas na região oeste da Bahia e extremo sul do Piauí.

É sabido que em ambientes que não apresentam restrições hídricas, os cultivares de ciclo tardio tendem a apresentar maior rendimento em relação aos precoces e médios. E embora a região MATOPIBA não apresente predominância desses solos argilosos, que normalmente ocorrem em pequenas áreas e na forma de manchas, os produtores que têm suas lavouras nesses solos podem adotar as épocas de semeadura apresentadas neste mapa (Figura 9) como condição de reduzir riscos e obter maiores rendimentos.

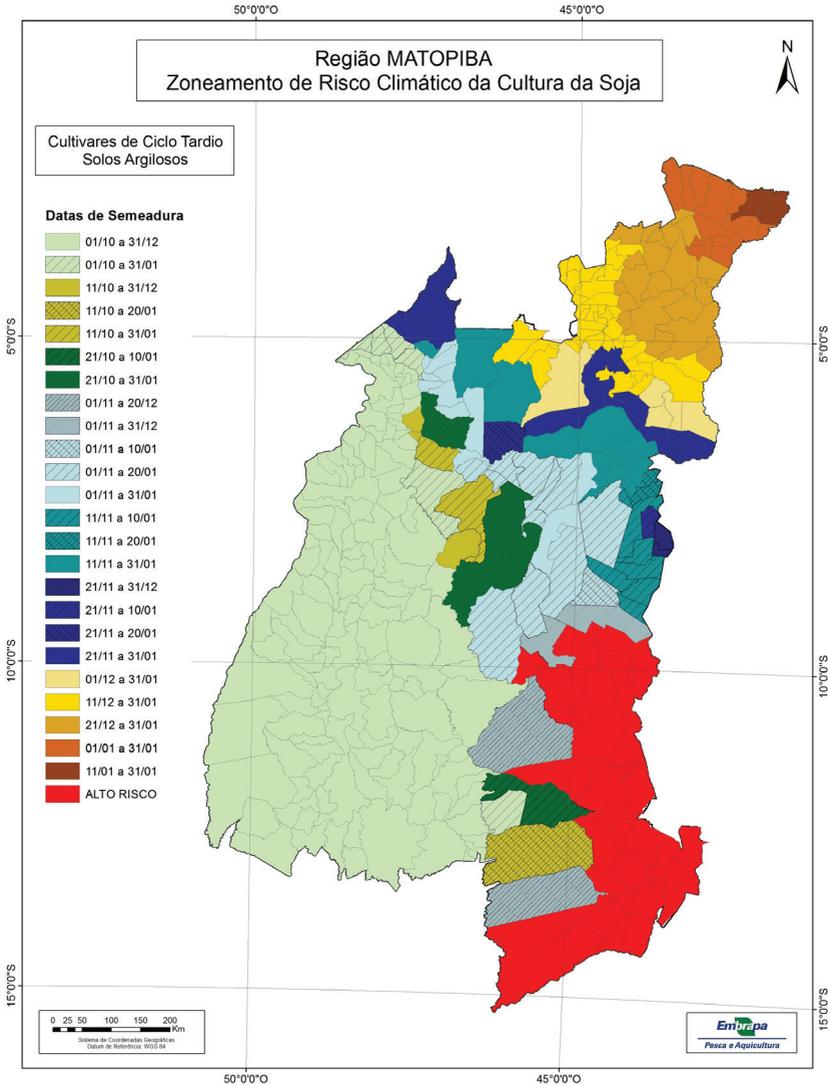


Figura 11. Épocas de semeadura dos cultivares de soja de ciclo tardio em solos de textura argilosa na região MATOPIBA.

Conclusões

A metodologia aplicada neste estudo permitiu delimitar as zonas de baixo risco e nelas, indicar os períodos de semeadura da soja dos grupos de ciclo precoce, médio e tardio nos solos de textura arenosa, média e argilosa para cada município da região MATOPIBA.

O cenário resultado da combinação dos solos de textura argilosa com o grupo de cultivares de soja de ciclo precoce foi aquele que apresentou as maiores janelas de semeadura e as menores áreas de alto risco. Por outro lado, as simulações com a combinação de cultivares do grupo dos tardios semeados em solos arenosos foram aqueles que apresentaram janelas de semeadura mais estreitas, bem como maior número de municípios sem indicativos de épocas de semeadura, ou seja, com risco de quebra de rendimento superior a 20% dos anos de cultivo.

Independente do tipo de solo e ciclo de cultivar analisados, as épocas que apresentaram menor risco climático para implantação foram os meses de novembro e dezembro, quando nas duas áreas estudadas a estação chuvosa já se encontra bem estabelecida.

As regiões oeste da Bahia e sul do Piauí foram aquelas que apresentaram maior número de municípios com alto risco e sem indicativos de épocas de semeadura. E aqueles localizados na zona de baixo risco apresentaram os menores períodos de semeadura.

Considerações Finais

O zoneamento agrícola de risco climático é considerado um instrumento dinâmico e assim sendo, deve passar por revisões e atualizações contínuas visando aperfeiçoamento para redução das incertezas de suas estimativas. E isto se torna possível na medida em que:

1. Aumenta o número de estações climatológicas e postos pluviométricos, bem como de suas séries históricas de medições diárias (mínima de 15 anos de observações);
2. Aumenta a precisão da escala ou resolução espacial, possível a partir do maior detalhamento das informações de solo;
3. São lançados novos cultivares adaptados aos diferentes ambientes ou regiões;
4. Ocorre o aperfeiçoamento das técnicas de análise espacial por meio das ferramentas de geoprocessamento; e
5. Ocorre evolução das técnicas de manejo da cultura, que propiciem maior retenção e melhor aproveitamento de água do solo.

Este estudo não tem a pretensão de restringir o cultivo da soja nos municípios ou regiões indicadas como sendo de alto risco, mas tão somente de orientar a tomada de decisão e demonstrar que o risco de perda de rendimento da lavoura pode ser superior a 20% dos anos de cultivo. E isto se deve por restrição do ambiente, especialmente da característica físico-hídrica dos solos; da oferta climática, especialmente volume e distribuição das chuvas e da elevada taxa de evapotranspiração; e do ciclo da cultivar recomendada para a região. E pode ser utilizado como instrumento de gestão de política pública quanto na tomada de decisão pelos diferentes agentes dos setores do agronegócio da soja na região MATOPIBA.

Agradecimentos

Em reconhecimento à Equipe que iniciou e foi capaz de transformar os estudos de risco climático na agricultura, tema importante e estratégico, em política pública de considerável retorno social, e que marcou o resgate da importância e credibilidade dos profissionais da agrometeorologia brasileira: Eduardo Delgado Assad, Luiz Antônio Rossetti, Silvano Carlos da Silva, José Renato Bolças Farias, Luiz Marcelo Aguiar Sans, Giberto Rocca da Cunha, Silvio Steinmetz, Paulo

Henrique Caramori, Hilton Silveira Pinto, Jurandir Zullo Jr., Hugo José Braga, Malaquias da Silva Amorin Neto (in memorian). Agradecimento extensivo a tantos outros que também deixaram suas contribuições relevantes.

Referências

ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, Jurandir; PINTO, Hilton Silveira. Zoneamento Agrícola de riscos climáticos. In: ALBUQUERQUE, Ana Christina Agebin; (ORG.), Aliomar Gabriel da Silva.. **Agricultura Tropical Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 1291-1318.

ASSAD, E. D.. **Chuva nos cerrados: análise e espacialização**. Brasília: Embrapa Spi, 1994. 423 p.

BARON, C.; PEREZ, P.; MARAUX, F.. **Sarrazon: bilan hydrique applique aou zonage**. Montpellier: CIRAD-CA, 1996. 26 p.

CARVALHO, Ivan Ricardo et al. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 17, p.969-984, dez. 2013. Semestral. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS_AGRARIAS/DEMANDA_HIDRICA.pdf>. Acesso em: 30 maio 2017.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. . Oitavo levantamento. **Acompanhamento da Safra Brasileira Grãos**, Brasília, v. 3, n. 8, p.1-134, maio 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 maio 2016.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 197 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMBRAPA. **Nota técnica do Arranjo MATOPIBA**. Brasília: DPD, 2014. 6 p. Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento.

EVANGELISTA, B. A.; SILVA, F. A. M. da; SILVA NETO, S. P. da. Uso das informações agrometeorológicas no monitoramento das culturas agrícolas, tendo como referência a soja. **Anuário da Associação Brasileira de Sementes e Mudas**, Pelotas, p.38-42, jul. 2013.

FARIAS, José Renato Bouças. **Limitações climáticas à obtenção de rendimentos máximos de soja**. In: Mercosoja 2011. Quinto Congreso de la Soja en el Mercosur. Rosario, Argentina. 2011.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R. de; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.415-421, 2001.

GARAGORRY, F.L.; MIRANDA, E.E.; MAGALHÃES, L.A. **MATOPIBA: Evolução recente da produção de grãos**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite - GITE, Campinas, 2015. 69p. (GITE - Nota Técnica, 9).

JALEEL, C. A., MANIVANNAN, P., WAHID, A., FAROOQ, M., AL-JUBURI, H. J., SOMASUNDARAM, R., & PANNEERSELVAM, R. (2009). **Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition**. Int J Agric Biol, 11(1), 100-105.

KÖEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Mexico, DF: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

LOPES-ASSAD, M. L.; BOSCHI, R. S.; NOMURA, E.; EVANGELISTA, B. A.; SILVA, J. S. V. Uso de informações de solos no zoneamento agrícola de risco climático. In: **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE.5p**. CD-Rom

LUMBRERAS, J.F.; CARVALHO FILHO, A.; MOTA, P.E.F. et al. **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 48 p. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 179).

MANAVALAN L.P., GUTTIKONDA S.K., TRAN L.S., NGUYEN H.T. (2009). **Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean**. *Plant Cell Physiol* 50, p.1260-1276.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2014/2015 a 2024/2025**. Brasília, 2015. 108 p.

MIRANDA, E. E. de; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. de. **Um sistema de inteligência territorial estratégica para o Matopiba**. Campinas: Embrapa-Gite, 2014. 26 p. (Embrapa-Gite. Nota técnica, 2). Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT2_SITEMatopiba.pdf>. Acesso em: 30 maio 2017.

MIRANDA, E.E.; MAGALHÃES, L.A.; CARVALHO, C.A. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite - GITE, Campinas, 2014. 18p. (GITE - Nota Técnica, 1).

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; Steinke, E.T; Muller, G.A. **Clima do Bioma Cerrado**. In: Albuquerque, A. C. S.; Silva, A. G. da. (Org.). *Agricultura tropical. Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas*. 1ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, v. 2, p. 93148.

STRECK C.M. E ALBERTO, N.A. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. *Ciência Rural*, v. 36, n. 2, 2006.

Embrapa

Pesca e Aquicultura

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**



CGPE 13846