

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UniEVANGÉLICA  
CURSO DE AGRONOMIA**

**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA SOJA NO  
BRASIL FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**Otávio Boldori de Oliveira**

**ANÁPOLIS-GO  
2019**

**OTÁVIO BOLDORI DE OLIVEIRA**

**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA SOJA NO  
BRASIL FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário de Anápolis-UniEVANGÉLICA, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

**Área de concentração:** Agrometeorologia.

**Orientador:** Prof. Dr. João Maurício Fernandes Souza

**ANÁPOLIS-GO  
2019**

Oliveira, Otávio Boldori de

Modelagem de distribuição potencial da soja no Brasil frente às mudanças climáticas / Otávio Boldori de Oliveira. – Anápolis: Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, 2019.

46 p.

Orientador: Prof. Dr. João Maurício Fernandes Souza.

Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Agronomia – Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, 2019.

1. Variáveis bioclimáticas. 2. MaxEnt 3. Mapas. I. Otávio Boldori de Oliveira II. Modelagem de distribuição potencial da soja no Brasil frente às mudanças climáticas.

CDU 504

**OTÁVIO BOLDORI DE OLIVEIRA**

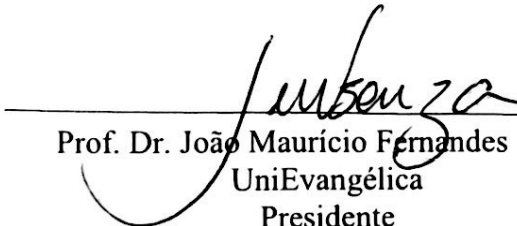
**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA SOJA NO BRASIL  
FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**


Monografia apresentada ao Centro  
Universitário de Anápolis –  
UniEVANGÉLICA, para obtenção do título de  
Bacharel em Agronomia.


**Área de concentração:** Agrometeorologia.

Aprovada em: 11/12/19

Banca examinadora

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Maurício Fernandes Souza  
UniEvangélica  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Me. Elson de Jesus Antunes Júnior  
UniEvangélica

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Ma. Lorena Alves de Oliveira  
UniEvangélica

Dedico esse trabalho à Deus, por esta conquista.  
Aos meus pais, pelo trabalho árduo e por todo o incentivo.

## AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, eu agradeço de todo meu coração por me acolher e proteger, por toda força e por ser essencial na minha vida, meu guia.

Aos meus pais Janilton e Ylclea, que sempre lutaram e fizeram de tudo para me educar e ensinar. Por eles eu dedico meus estudos, e meu trabalho, por me apoiarem em cada etapa da minha vida, pela coragem e dedicação, aos meus pais, irmãos e familiares.

Aos meus professores, do jardim de infância ao do ensino superior, pela dedicação em ensinar e paciência em ajudar, seus conhecimentos foram de grande importância para minha capacitação e ao meu orientador Prof. Dr. João Maurício e aos meus colegas da UEG, Rafael e Micael, pelos seus conhecimentos, incentivo, motivação durante o trabalho e pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, agradeço de todo meu coração.

À UniEvangélica, pelo corpo docente, diretório e acadêmico, por todo o ensino, e para as pessoas que convivi neste espaço nos últimos anos, é pela oportunidade ofertada de cursar no exterior, onde tive imenso prazer de ir estudar e conhecer novos amigos, experiências, viagens e conhecimento.

Aos meus amigos da UniEvangélica e do IPB, pelo companheirismo e imenso apoio nos momentos mais difíceis. Todos sabem como sou grato pelo apoio de todos, por todas as vezes que me ajudaram e apoiaram em trabalhos e seções de estudos.

À todas as pessoas que me contribuíram de forma direta ou indiretamente, agradeço a força e companheirismo. Obrigado!

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer! ”.

Mahatma Gandhi  
vi

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELA .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
2.1. SOJA NO BRASIL E NO MUNDO.....	13
2.2. ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA SOJA .....	15
2.3. EXIGÊNCIAS CLIMÁTICA DA SOJA .....	17
<b>2.3.1. Radiação Solar .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2. Fotoperíodo .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.3. Temperatura do ar .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.4. Exigências Hídricas .....</b>	<b>20</b>
2.4. EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA CULTURA DA SOJA.....	21
2.5. IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA GLOBAL .....	23
2.6. MODELAGEM DE CULTURAS AGRÍCOLAS .....	24
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>38</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> – Área de produção de soja (grãos) no País, com destaque para os dez municípios mais produtores, safra 2014/15.....	10
<b>FIGURA 2</b> – Área plantada (mil ha <sup>-1</sup> ) e produção de soja (mil t <sup>-1</sup> ) no Brasil ao longo das safras dos últimos dez anos, 2008/2019.....	14
<b>FIGURA 3</b> – Série histórica da produção de soja no Brasil em milhões toneladas, da safra de 1980/81 a 2018/19.....	15
<b>FIGURA 4</b> – Variação anual do fotoperíodo em diferentes latitudes do Hemisfério Sul.....	18
<b>FIGURA 5</b> – Grupos de maturação da soja e suas faixas de latitude para o Brasil.....	23
<b>FIGURA 6</b> – Esquema representativo do processo de criação de um modelo de distribuição de espécie, mostrando a sobreposição de pontos de ocorrências com as variáveis ambientais (coberturas geográficas), resultando na distribuição prevista.....	26
<b>FIGURA 7</b> – Modelo de distribuição potencial da soja para o cenário atual -7A (2019) e futuro – 7B (2070), obtidos a partir do modelo MaxEnt.....	31
<b>FIGURA 8</b> – Modelo de distribuição da perda e estabilidade da adequabilidade climática da cultura da soja no Brasil, comparando o cenário atual e o cenário futuro .....	33
<b>FIGURA 9</b> - Modelo de distribuição da perda de adequabilidade climática, mostrando as áreas que terá maior está maior perda no Brasil.....	34
<b>FIGURA 10</b> – Gráfico da perda de adequabilidade climática com o número de células atingidas por estas perdas. ....	35

## LISTA DE TABELA

<b>TABELA 1</b> – Valores de contribuição de cada variável incluída no modelo de distribuição potencial gerado para a cultura da soja.....	31
--	----

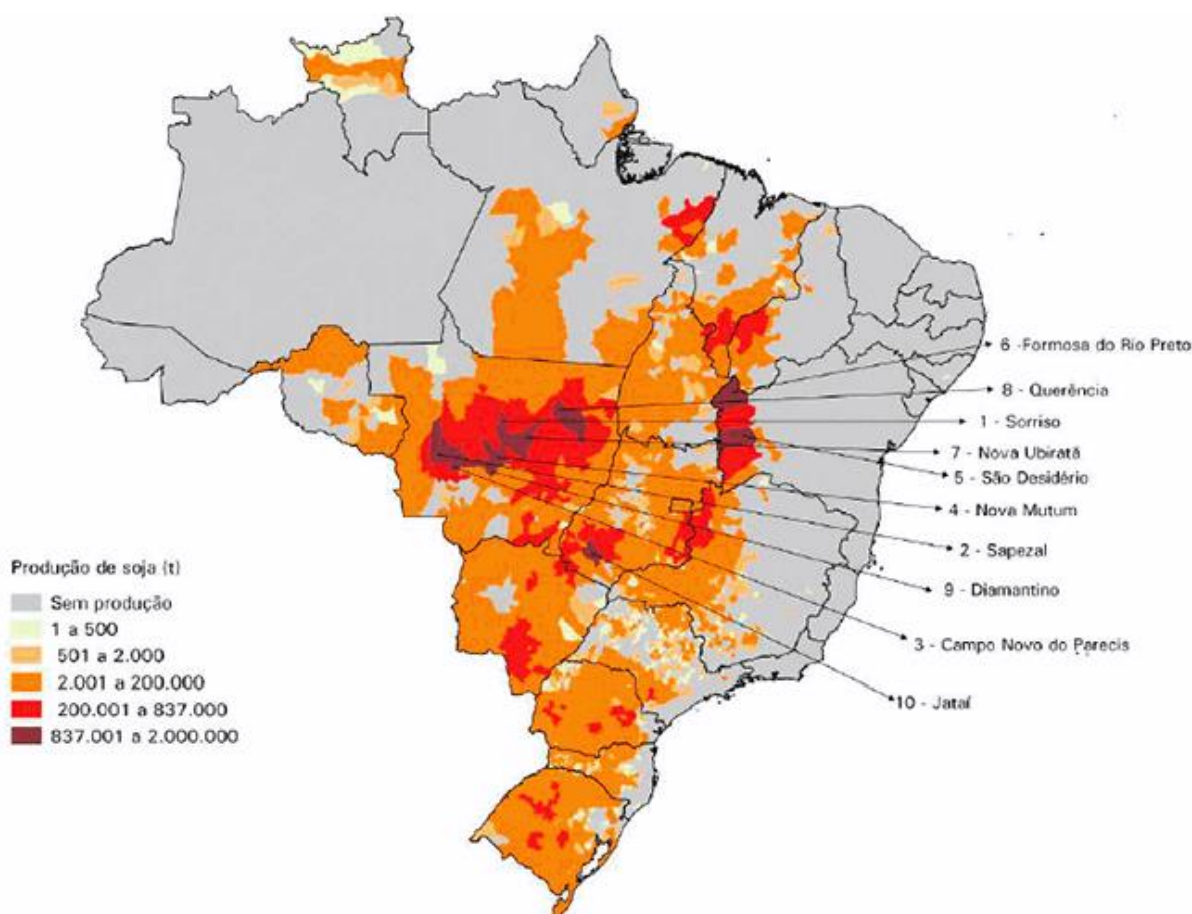
## RESUMO

A modelagem agrometeorológica permite gerar conhecimento e criar ferramentas eficazes para à tomada de decisões operacionais e estratégicas na produção agrícola. Essa técnica vem sendo empregada para predizer os potenciais sítios futuros para as espécies, estimar mudanças da sua distribuição geográfica frente às mudanças climáticas. Dentro deste contexto o objetivo com este trabalho foi determinar e prever a distribuição atual e futura da cultura da soja no Brasil frente às mudanças climáticas. Para isso foi utilizado dados dos pontos de ocorrência da cultura no país, do banco de dados do BIEN, e dados climáticos atuais, e de previsão climáticas futuras do banco de dados do WorlClim, onde essas projeções foram realizadas por meio do algoritmo MaxEnt, implementado no software R, as variáveis bioclimáticas utilizadas foram a Bio1 = Temperatura média anual, Bio7 = Faixa anual de temperatura, Bio14 = Precipitação do mês mais seco, Bio16 = Precipitação do trimestre mais chuvoso e uma variável topográfica (altitude – DEM). Partindo desses dados foram realizados os zoneamentos para a cultura no cenário atual e no cenário futuro para o ano de 2070. E a partir dos mapas de predição, foram definidas as regiões de maior probabilidade futura da ocorrência, comparando os mapas de distribuição atual e futuro da cultura. No cenário atual a Região Sul e Sudeste do país atingiu valores próximos de 0,88, que indicam que são áreas mais propícias para produção da cultura. A Região Norte apresenta os menores valores de adequação ambiental, com valores entre 0,0 a 0,09. Algumas áreas da Região Centro-Oeste e o Nordeste do Brasil apresentam certas adequabilidades para o cultivo da soja. No cenário futuro as áreas favoráveis a cultura onde apresentava condições adequáveis com valores próximos de 0,88, perderá estas condições, com valores menores chegando a 0,83. A região Norte do país não apresentará dados de adequabilidades em praticamente toda a sua região, com valores de 0,0 a 0,8, e também grande parte da região Centro-Oeste e Nordeste do país. O valor obtido para estes modelos foi AUC=0,828. A partir da geração dos modelos de distribuição potencial foi possível verificar que em condições comparando o cenário atual e futuro, o Brasil pode ter uma diminuição da sua adequabilidade climática em torno de 50% da área cultivável com soja. Uma das soluções para superar estes impactos climáticos sobre a agricultura é a adoção de estratégias tecnológicas que se adapte às variações climáticas de maneira a aumentar a produção das áreas em cultivo, ou que pelo menos minimize os impactos sobre a cultura, podendo sofrer alterações na data de semeadura da soja, evitando estresse hídrico, e aumentando os investimentos em melhoramentos genéticos, com espécies tolerantes a seca.

**Palavras-chave:** Variáveis Bioclimáticas, MaxEnt, Mapas.

## 1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das principais espécies agrícolas cultivadas no mundo. O Brasil é o segundo maior produtor mundial, cultivando praticamente em todo o seu território (Figura 1), ocupando na safra (2018/2019), uma área de cerca de 35,822 milhões ha<sup>-1</sup>, com produção de 114,843 milhões t<sup>-1</sup> de grãos de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019). A soja é explorada em quase todos os Estados do Brasil, pois o desenvolvimento de variedades geneticamente adaptadas às diferentes condições de clima, solo e latitude proporcionaram o cultivo desta leguminosa em todas as regiões do país. Sendo o Mato Grosso, hoje é o Estado com maior produção e detentor da melhor produtividade média (ALAMBERT, 2010; CONAB, 2019).



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Produção Agrícola Municipal 2015.

**FIGURA 1** – Área de produção de soja (grãos) no País, com destaque para os dez municípios mais produtores, safra 2014/15.

O complexo soja é uma das principais economias do país e, para o setor continuar competitivo e inserido no mercado globalizado, os agricultores buscam constantemente o aumento da sua produtividade, com objetivo de obter maior rentabilidade. A este propósito observa-se o lançamento de novas tecnologias. As principais tecnologias vão desde o desenvolvimento de novos fertilizantes, defensivos agrícolas, máquinas e equipamentos modernos até cultivares adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas e resistentes a doenças e insetos praga (CARVALHO et al., 2009).

Apesar das novas tecnologias a produtividade de uma planta depende basicamente da sua constituição genética, entretanto os fatores edafoclimáticos, e outros fatores que integram o meio ambiente, podem exercer maior ou menor influência no seu desempenho, tanto no crescimento, desenvolvimento e produtividade (URBEN FILHO et al., 1993). A capacidade produtiva do solo, por exemplo, também tem grande importância no seu desempenho. Estes fatores podem reduzir significativamente os rendimentos das lavouras e restringir os locais de melhor produtividade (FARIAS et al., 2009; GARCIA et al., 2007).

Segundo Bonato et al. (1998) ao longo do ciclo de produção da soja, ela está sujeita a estresses causados por necessidades hídricas, térmicas e fotoperiódicas que resultam na diminuição tanto da produtividade, quanto da qualidade do grão, sendo que a época de semeadura tem interferência em ambos os fatores.

Neste contexto, a modelagem agrometeorológica permite gerar conhecimento e criar ferramentas eficazes para a tomada de decisões operacionais e estratégicas na produção agrícola, que permitem simular o desenvolvimento e produção das culturas, com previsões virtuais e com ótima resolução, a partir da integração e análise do comportamento dos componentes edafoclimáticos (solo-clima-planta), responsáveis pela produção das culturas (EVANGELISTA, 2011).

Essa técnica vem sendo empregada para prever os potenciais sítios futuros para as espécies (FICETOLA et al., 2007), estimar mudanças da sua distribuição geográfica frente às mudanças climáticas (PEARSON; DAWSON, 2003) e identificar localidades potenciais futuras para a ocorrência de espécies de importância (RODRIGUEZ et al., 2007). O interesse por esse tipo de ferramenta é crescente, em razão da necessidade de informações rápidas e fundamentadas para direcionar ações conservacionistas, o que evita a perda acelerada da biodiversidade (GIANNINI, 2012).

Modelos de distribuição de espécies têm sido aproveitados em uma série de estudos que tem em vista prever a provável redistribuição frente à mudança climática de acordo com os

diferentes cenários futuros (PETERSON et al., 2001; OBERHAUSER; PETERSON, 2003; SIQUEIRA; PETERSON, 2003; ARAÚJO et al., 2006; COLOMBO, 2007). Estes modelos bioclimáticos são elaborados utilizando técnicas de modelagem que relacionam a ocorrência de uma espécie com preditores ambientais a fim de encontrar habitats potenciais nos quais a população se mantém estável (BARBOSA, 2011). Os resultados desses modelos são usados para verificar a redução, manutenção ou aumento das áreas que são adequadas para as espécies analisadas (SIQUEIRA et al., 2009).

Dentro deste contexto, o objetivo com este trabalho foi determinar e prever a distribuição atual e futura da cultura da soja no Brasil frente às mudanças climáticas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. SOJA NO BRASIL E NO MUNDO

A soja tem como centro de origem a China. Inicialmente rasteira e cultivada nas margens dos rios, foi domesticada e introduzida provavelmente no período de 1500 a 1027 a.C. Três mil anos depois, a soja se espalhou pela Ásia, onde começou a ser utilizada como alimento. Em 1730, teve início a disseminação da cultura da soja no continente europeu, com finalidade de ornamentação. Em 1804, iniciou a utilização do grão para o consumo na alimentação animal, na Iugoslávia. Nos Estados Unidos, a soja chegou em 1765, e foi o primeiro país do continente americano a cultivá-la (HARTMAN et al., 2011).

No início do século XX passou a ser cultivada comercialmente nos Estados Unidos, onde houve um rápido crescimento na sua produção, com o desenvolvimento das primeiras variedades cultivadas comerciais (MELO, 2005), sendo atualmente a mais importante oleaginosa cultivada no mundo (SANTOS NETO et al., 2013).

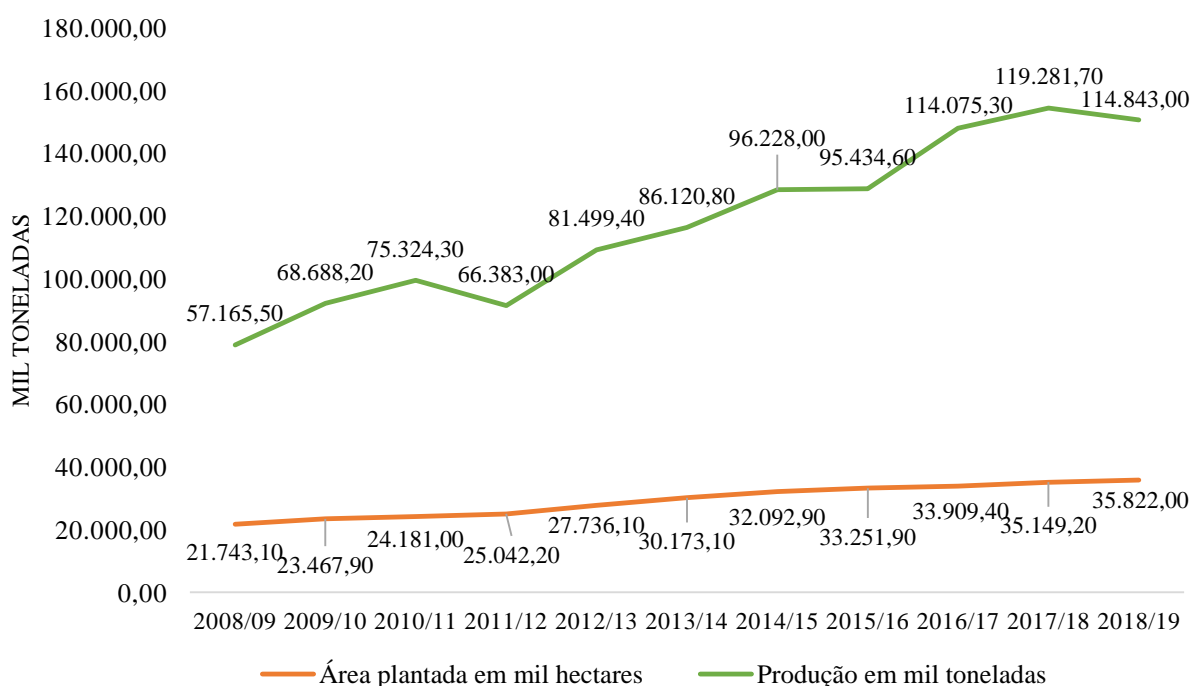
No Brasil deu início no final do século XIX, mais precisamente na região da Bahia, em 1883. Depois, em 1891 foi levado para o Sul do país, para a região de São Paulo e Rio Grande do Sul, no qual apresentou melhor adaptação (SEDIYAMA et al., 2013). Entre 1900 e 1901, o Instituto Agrônomo de Campinas, SP, distribuiu pela primeira vez, sementes de soja para produtores do estado de São Paulo e, nessa mesma data, agricultores do Rio Grande do Sul iniciaram o cultivo do grão. A cultura encontrou efetivas condições para se desenvolver e expandir, dadas as semelhanças climáticas do ecossistema de origem (sul dos EUA), bem como dos materiais genéticos existentes no país, com as mesmas e características predominantes principalmente no extremo sul do Brasil (EMBRAPA, 2004).

Em 1917, a partir da descoberta da utilização do grão para alimentação animal e extração de óleo, a produção aumentou e, na década de 70, os americanos tornaram-se produtores de dois terços da soja produzida no mundo, status alcançado a partir de processos de industrialização dos grãos para extrair o farelo de soja para a alimentação animal e produção de derivados (HARTMAN et al., 2011).

Em 1949, foi quando o Brasil começou a aparecer nas estatísticas mundiais, e somente em 1960 que a soja se estabeleceu como uma cultura de grande importância para economia do país (FARIAS et al., 2009). A partir da década de 60, nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, que a soja se estabeleceu como cultura economicamente

importante, passando a ser cultivada em grandes extensões, levando o país ao segundo lugar no contexto mundial em produção (HIROMOTO; VELLO, 1986).

A soja, além de ser a principal oleaginosa cultivada no mundo, faz parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial. Sendo que 82% da produção mundial concentram-se em apenas três países: Estados Unidos, Brasil e Argentina (USDA, 2015; CONAB, 2019). Os maiores produtores mundial do grão de soja é o Estados Unidos e o Brasil. A produção de soja no mundo hoje gira entorno de 362,075 milhões/t, com uma área plantada de 125,691 milhões/ha. O EUA hoje o maior produtor tem uma produção de 123,664 milhões/t, com uma área plantada de 35,657 milhões/ha e uma produtividade de 3.468 kg por hectare (USDA, 2019). Atualmente o Brasil é o segundo maior produtor, têm uma produção de 114,843 milhões/t, com uma área plantada de 35,822 milhões/ha e uma produtividade de 3.206 kg por hectare, de acordo com a Figura 2 (CONAB, 2019).



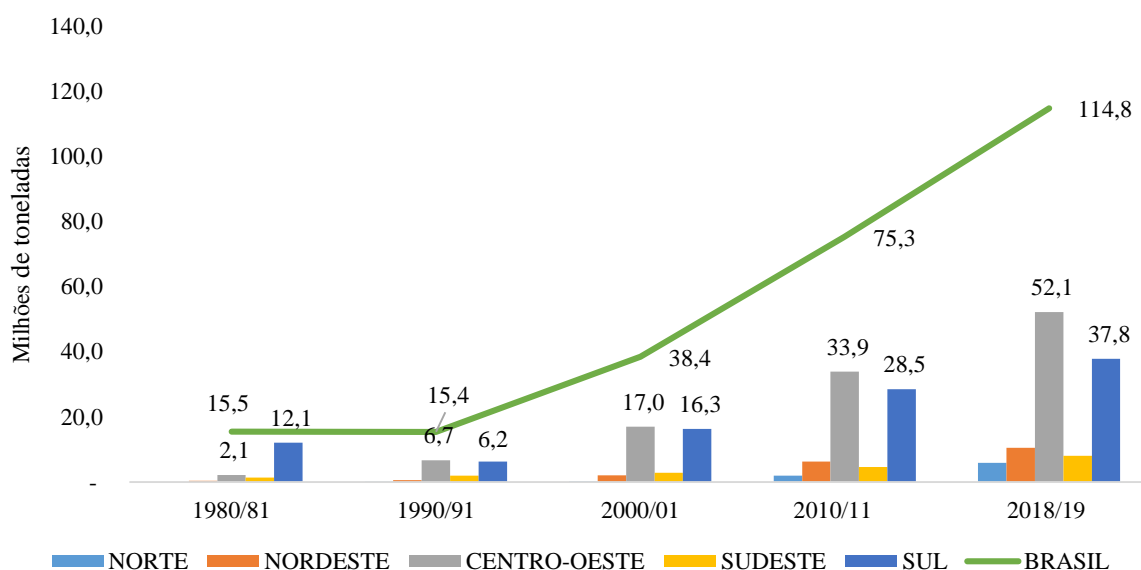
Fonte: CONAB, 2019.

**FIGURA 2** – Área plantada (mil ha<sup>-1</sup>) e produção de soja (mil t<sup>-1</sup>) no Brasil ao longo das safras dos últimos dez anos, 2008/2019.

O melhoramento de cultivares tem levado em consideração as regiões de cultivo, adaptando as faixas de temperatura e fotoperíodo para cada genótipo (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005). A soja hoje é explorada em quase todos os Estados brasileiros. O Mato

Grosso, hoje é o maior Estado produtor. O segundo e o terceiro estados com maiores áreas plantadas - Paraná e Rio Grande do Sul - estão na Região Sul onde a soja foi inicialmente cultivada comercialmente. Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia são os demais principais Estados produtores. Estes estados juntos detêm 90% da área e da produção brasileira de soja (ALAMBERT, 2010; CONAB, 2019).

Em 1980, o Brasil produziu mais de 15,5 milhões de toneladas de soja, sendo a região Sul responsável por 78% da produção. Já na safra de 1990/91, a produção da região do Centro-Oeste superou a região Sul com uma produção aproximada de 6,7 milhões t<sup>-1</sup>, representando 43,5% de toda soja produzida no país, e a região Sul com aproximadamente 40,2% da soja nacional, a partir desse período o Centro-Oeste passou a liderar o ranking de maiores produtores do nacional de soja. Na safra de 2018/19 a produção foi de 114,8 milhões de toneladas, no qual a região Centro-Oeste produziu 45,3%, e a região Sul 32,9% da produção brasileira, conforme Figura 3 (CONAB, 2019; EMBRAPA, 2019).



Fonte: CONAB, 2019.

**FIGURA 3** – Série histórica da produção de soja no Brasil em milhões de toneladas, da safra de 1980/81 a 2018/19.

## 2.2. ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA SOJA

A soja teve origem na Ásia, na região nordeste da China, é hoje uma das leguminosas mais importante do mundo. Atualmente cultivada no Brasil e em diversos outros países, é uma planta herbácea e de ciclo anual e uma planta pertencente ao reino Plantae, divisão



Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Faboideae (Papilionoideae), gênero Glycine (SEDIYAMA et al., 2009). É uma planta dicotiledônea que apresenta estrutura formada pelo um conjunto de raízes e da parte aérea. O desenvolvimento pode ser dividido em dois períodos, o vegetativo, desde a semeadura até o florescimento e o reprodutivo, do florescimento a colheita (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

Cultivares de soja possuem ciclo que variam entre 75 e 210 dias podendo ser classificados em grupos de maturação como precoce, semi-precoce, médio, semi-tardio e tardio, dependendo da região de cultivo. A altura da planta depende da interação das condições da região e do cultivar, que pode variar entre 0,3 a 2,5 m (BORÉM, 2005).

O caule é do tipo herbáceo, ereto, mais ou menos pubescente e com ramificação diversificada de acordo com a cultivar. O sistema radicular é predominantemente axial fasciculado. Da raiz pivotante surgem as raízes secundárias que se ramificam, a uma profundidade de 15 cm, podendo atingir, entretanto, um comprimento de até 180 cm, apresentando nódulos ligados à epiderme por filamentos. Os nódulos são consequências da presença de bactérias *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii* localizadas no seu interior e são capazes de fixar o nitrogênio do ar atmosférico, fornecendo-o à planta e recebendo em troca hidrato de carbono (SEDIYAMA, 2016; BORÉM, 2005). As folhas apresentam de três tipos: duas cotiledonares, duas folhas unifoliadas e folhas trifolioladas (SEDIYAMA, 2016).

As principais variedades comerciais possuem folhas trifoliadas, têm flores de fecundação autógama, apresentam caule hispido, pouco ramificado e raiz com eixo principal e muitas ramificações. Desenvolvem vagens (legumes) levemente arqueadas, e que podem conter de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas. Apresentam crescimento indeterminado (sem racemo terminal), determinado (com racemo terminal) ou semideterminado (intermediário) (NEPOMUCENO; FARIAS; NEUMAIER, 2008).

O tipo determinado abrange plantas que possuem inflorescência racemosa terminal e axilar, tendo crescimento vegetativo paralisado após o seu florescimento, ou ainda podem crescer cerca de 10% de sua altura final. No tipo de crescimento semideterminado, as plantas possuem inflorescência racemosa terminal e axilar. Ao florescerem, já atingiram cerca de 70% da altura final. Nas plantas com tipo de crescimento indeterminado, a gema vegetativa é mantida após o florescimento, desenvolvendo, assim, os nós, com alongamento do caule e sem inflorescência racemosa terminal (NOGUEIRA et al., 2009).

## 2.3. EXIGÊNCIAS CLIMÁTICA DA SOJA

### 2.3.1. Radiação Solar

As plantas verdes são organismos capazes de aproveitar a energia térmica do Sol, a partir da fotossíntese, para produção de energia química. A radiação solar caracteriza-se como um conjunto de ondas eletromagnéticas que incidem sobre a superfície terrestre. A radiação utilizada pelas plantas para o processo fotossintético está contida na faixa da luz visível (400 nm – 700 nm), correspondendo a 45% - 50%, aproximadamente, do total de radiação incidente (OMETTO, 1981). Apenas 5% da energia total que incide na superfície terrestre é aproveitada pelas plantas para formação de carboidratos (TAIZ; ZIEGER, 2004).

A radiação solar é um dos fatores que mais limitam o crescimento e desenvolvimento vegetal, pois toda a energia essencial para a realização da fotossíntese, ou seja, transformação do CO<sub>2</sub> atmosférico em energia metabólica é proveniente dessa radiação (TAIZ; ZIEGER, 2006).

Dessa maneira, a radiação solar está profundamente ligada à produtividade da soja devido ao fato de envolver-se na fotossíntese, expansão foliar, pegamento de vagens e sementes, alongação de haste principal e ramificações, e fixação biológica de nitrogênio (CÂMARA, 2000). A energia solar é conservada na forma de ATP e NADPH, para produzir açúcares e/ou cadeias de carbono para rotas de biossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2006).

A radiação solar também está relacionada com a taxa respiratória, onde a respiração aumenta conforme o incremento da taxa de crescimento e em condições de senescência (JONES, 1994; PEREIRA, 2002; TAIZ; ZIEGER, 2006). Outros mecanismos fisiológicos são a ativação de diversas enzimas que estão envolvidas no processo fotossintético (TAIZ; ZIEGER, 2006).

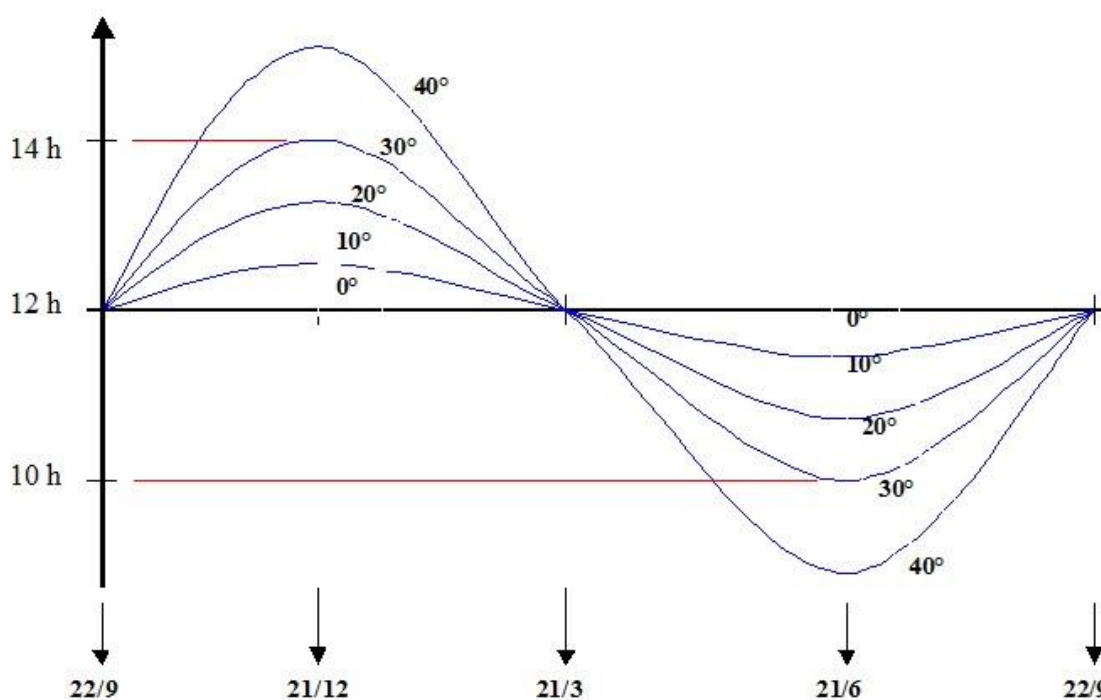
O excesso de radiação absorvido pela planta promove um aumento de sua temperatura, proporcionando um incremento no fluxo transpiratório, ocorrendo o fechamento dos estômatos, a fim de evitar que a planta entre em déficit hídrico, o que caracteriza um efeito negativo da radiação na transpiração e na fotossíntese (ANDRIOLO, 1999; TAIZ; ZIEGER, 2004).

### 2.3.2. Fotoperíodo

O fotoperíodo é o principal fator influenciador na definição do ciclo da soja entre a data de emergência até a data de maturação. A soja é uma planta sensível à duração das horas de luz,

florescendo quando o comprimento dos dias é inferior a determinado valor, denominado fotoperíodo crítico (CÂMARA et al., 1997). O comprimento do dia é conhecido como fotoperíodo e as respostas do desenvolvimento das plantas ao fotoperíodo são chamados de fotoperiodismo. Então o tempo em horas entre o nascer e o pôr do sol é denominado fotoperíodo (GOUDRIAAN; VAN LAAR, 1994) e é função da latitude local (HARTWIG, 1973) (Figura 4).

A sensibilidade da soja ao fotoperíodo ainda é uma grande restrição para uma adaptação mais ampla da cultura. Pois é uma característica variável entre cultivares, isto é, cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima do qual seu florescimento é atrasado. Por isto a soja é considerada de dias curtos (FARIA et al., 2007).



Fonte: CORRÊA, 2008.

**FIGURA 4** – Variação anual do fotoperíodo em diferentes latitudes do Hemisfério Sul.

De acordo com Rangel (2006) para que a soja floresça é necessário um período de luz inferior a 13 horas. Marion (2004) já cita que em períodos de luminosidade superiores a 16 horas, o florescimento e a frutificação da soja são inibidos. Portanto, existem cultivares que não obedecem a regra em que, somente há florescimento em períodos luminosos inferiores a 13 horas.

Portanto, pesquisas brasileiras conseguiram prolongar o período juvenil da planta (denominado período juvenil longo) através de cruzamentos, e com este avanço tecnológico, desenvolveram cultivares próprias para as regiões tropicais com alto potencial de rendimento, excelentes qualidades de grãos e características agronômicas desejáveis (GIANLUPPI et al., 2009; EMBRAPA, 2011).

O período juvenil longo é uma fonte não tradicional de florescimento tardio, pois permanece vegetativa por mais tempo do que cultivares convencionais quando expostas há dias curtos, podendo florescer mais cedo sob dias longos comparada à algumas cultivares convencionais. Assim, as cultivares com períodos juvenis longos parecem ser menos sensíveis ao fotoperíodo do que a maioria das cultivares tradicionais (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

### **2.3.3. Temperatura do ar**

Além do fotoperíodo, a temperatura também é um fator que afeta a indução floral, interferindo dessa maneira, no ciclo e na biometria da planta. As condições ótimas de temperatura para a cultura da soja estão entre 20°C e 30°C, sendo a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento está em torno de 30°C, e 25°C a temperatura ideal para emergência rápida e uniforme (GIANLUPPI et al., 2009; EMBRAPA, 2011; FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Sendo não recomendado a semeadura da soja com temperaturas do solo abaixo dos 20°C, pois comprometera sua germinação e a emergência da planta (FARIAS; NEPOMECENO; NEUMAIER, 2007), o crescimento é paralisado abaixo dos 10°C (GARNER; ALLARD, 1930). Temperaturas acima de 40°C inibem o desenvolvimento, provocam distúrbios na floração e prejudicam a retenção de vagens, esse problema se agrava por ocorrência de déficits hídricos (EMBRAPA, 2011).

A soja é uma planta de metabolismo C3 de fixação de carbono, se desenvolve melhor na faixa de temperatura entre 20-30°C (HOFSTRA, 1972; HESKETH et al., 1973; EGLI; WARDLAW, 1980). As temperaturas mais baixas estimulam o aumento no período para que ocorra o florescimento, quando comparadas com temperaturas mais elevadas, ou seja, existe uma relação inversa entre temperatura média e o número de dias para a floração (PASCALE, 1969; EMBRAPA, 2008).

Em dias longos em que as situações de temperaturas médias do ar noturnas estão em torno de 24°C, condicionam rápido crescimento vegetativo, promovendo florescimento precoce, e temperaturas médias abaixo de 24°C normalmente retardam o florescimento em cerca de 2 a 3 dias, para cada 0,5°C de decréscimo (PASCALE, 1969; WHIGHAM; MINOR, 1978). Tanto o florescimento quanto o estabelecimento de vagens podem ser prejudicados devido as temperaturas, sendo que as temperaturas mais elevadas provocam um maior abortamento de flores (PEREIRA, 2002).

As diferentes datas de floração, entre anos, de um cultivar semeada numa mesma época e em uma mesma latitude, acontece devido às variações de temperatura. Sendo assim, a floração precoce ocorre em decorrência de altas temperaturas, acarretando a diminuição da planta. Agravando ainda mais, se houver insuficiência hídrica e/ou fotoperiódica (resposta diferencial das cultivares ao comprimento do dia) durante a fase de crescimento vegetativo (EMBRAPA, 2013).

#### **2.3.4. Exigências Hídricas**

Entre os principais fatores do clima que determinam a melhor época de semeadura da soja está a umidade e a temperatura do solo. A semeadura em solo com insuficiência hídrica prejudica o processo de germinação, expondo as sementes às pragas e aos microrganismos do solo (TECNOLOGIAS, 2006; GARCIA et al., 2007).

A disponibilidade de água é muito importante, essencialmente, em duas fases de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grão. Durante a fase de germinação-emergência, tanto o excesso quanto o déficit são prejudiciais à uma boa uniformidade na população de plantas (EMBRAPA, 2013).

Durante seu ciclo, a soja necessita de 450-800 litros de água m<sup>-2</sup> para alcançar boas produtividades, sendo está variação hídrica uma interação com outros fatores climáticos e sistema de manejo (DOORENBOS; KASSAN, 1979; REICHARDT, 1987). A necessidade hídrica aumenta conforme o avanço da cultura. O período reprodutivo é o mais crítico com relação à exigência de água pela soja para garantir o alto rendimento de grãos, e a ocorrência de chuvas nesse período é o fator mais determinante para esta cultura (ASSAD et al., 2001; FARIAS et al., 2001).

Segundo Berlato (1986), a necessidade máxima hídrica se dá na floração e no enchimento de vagens, sendo nessa fase necessários 7 a 8 mm dia<sup>-1</sup> disponíveis para a cultura,

é decrescendo após esse período. Déficit hídricos expressivos, provocam alterações fisiológicas na planta, durante a floração e o enchimento dos grãos, como o fechamento estomático e o enrolamento das folhas, por decorrência, causam a queda prematura de folhas e flores e abortamento de vagens, diminuindo o rendimento de grãos (EMBRAPA, 2013).

O déficit hídrico é outro fator que, quando combinado com temperaturas próximas a 40°C, intensificam o problema de antecipação da floração e, como resultado, provoca à redução do ciclo vegetativo (EMBRAPA, 2008). Sendo assim necessário o conhecimento da quantidade de água consumida pela cultura durante suas fases de crescimento, sendo possível ajustar as datas de semeadura de forma que as fases de maior necessidade hídrica coincidam com os períodos aos quais é mais provável ter água disponível (FARIAS et al., 2001).

#### 2.4. EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA CULTURA DA SOJA

A produtividade de uma planta depende basicamente da sua constituição genética, entretanto os fatores edafoclimáticos, e outros fatores que integram o meu ambiente, podem exercer maior ou menor influência no seu desempenho, tanto no crescimento, desenvolvimento e produtividade. O uso racional de tecnologias permite controle, parcial ou total, de alguns fatores ambientais. Evitando ou minimizando efeitos nocivos, e mostrando seu potencial produtivo. Os fatores que podem ser controlados são: correção e fertilização do solo, variedades genéticas, tratamento de sementes e inoculações, irrigação, época de plantio correta, espaçamento (URBEN FILHO et al., 1993).

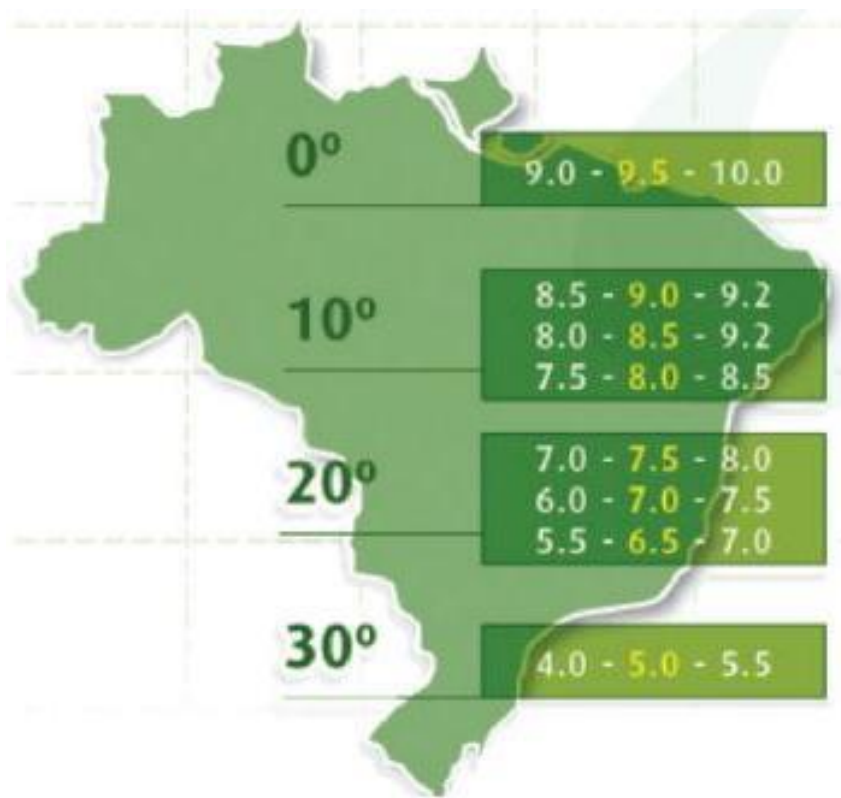
Dentre estes fatores condicionantes, o clima é o de mais difícil controle, limitando as máximas produtividades, isto agrava devido à dificuldade de previsão climática adversas, como estresses abióticos (a seca, o excesso de chuva, as temperaturas extremas, a baixa luminosidade). Outros fatores também têm grande importância, como a capacidade produtiva do solo, por exemplo. Estes fatores podem reduzir significativamente os rendimentos das lavouras e restringir os locais de melhor produtividade (FARIAS et al., 2009; GARCIA et al., 2007).

A cultivar da soja, o seu tempo de desenvolvimento não é fixo, e pode variar mais ou menos entre genótipos com ciclos diferentes. Esse tempo pode variar conforme as condições de estresse provocada pelo ambiente, quando semeada em épocas muito distintas do período recomendado ou em faixas de latitude, porque apresentam diferenças na duração do fotoperíodo, na soma térmica e por excesso ou deficiência hídrica (ALMEIDA, 2005).

Portanto, cada cultivar tem uma faixa limitada de adaptação em função do seu grupo de maturidade. No Brasil, o desenvolvimento de variedades geneticamente adaptadas às diferentes condições climáticas, solo e latitude, possibilitaram o cultivo desta em todas as regiões do país e, em quase todos os Estados é explorada. Sendo uma espécie muito sensível ao fotoperíodo, considerada planta de dias curtos (GARCIA et al., 2007). Devido à sensibilidade da soja ao fotoperíodo, a adaptabilidade de cada cultivar varia na medida em que se desloca o seu cultivo em direção ao sul ou ao norte, ou seja, quando varia a latitude (EMBRAPA, 2012).

À medida que se caminha para o norte e se aproxima do equador, vai diminuindo a variação na temperatura e no fotoperíodo entre as estações do ano, assim a época de semeadura da soja passa a ser menos dependente desses dois fatores e definida mais em função da distribuição das chuvas. Então quanto mais ao sul, sob condições de maiores latitudes, os fatores temperatura, fotoperíodo e umidade são os determinantes da melhor época de semeadura para soja, porque variam mais no tempo (GARCIA et al., 2007).

Por exemplo, cultivares sensíveis ao fotoperíodo, quando cultivadas fora de suas áreas de adaptação (Figura 5), apresentam menor tempo de desenvolvimento vegetativo, com a consequente redução no tamanho das plantas e da produtividade, temperaturas mais elevadas e deficiência hídrica tendem a acelerar o desenvolvimento da planta em todas as fases, enquanto temperaturas amenas e períodos chuvosos tendem a manter a planta em estado vegetativo mesmo em fase de maturação completa. Devido a esses fatores as indicações da pesquisa indicam a observação dos prazos do calendário agrícola, para que as plantas apresentem um comportamento padrão de desenvolvimento (ALMEIDA, 2005). Cada décimo dessa numeração significa em torno de dois dias de variação no ciclo total das cultivares, tanto para mais quanto para menos (EMBRAPA, 2011).



Fonte: Adaptado de Alliprandini et al., 2009.

**FIGURA 5** – Grupos de maturação da soja e suas faixas de latitude para o Brasil.

## 2.5. IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA GLOBAL

De acordo com a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC, 1992), aponta-se que a mudança climática diz respeito ao conjunto de fenômenos atmosféricos decorrentes de atividades humanas que alteram a composição global da atmosfera, sendo mais intensa do que a variabilidade climática dos últimos tempos. Outra definição é pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (PACHAURI; REISINGER, 2007), que diz que, mudanças climáticas se refere a mudanças no estado clima que podem ser identificadas pelas mudanças na média e/ou variabilidade de suas propriedades, e que persistem por um extenso período. E as alterações climáticas não são consequências apenas de fenômenos naturais, mas também de ações antrópicas, especificamente, devido ao aumento excessivo de emissão de gases de efeito estufa, que provém do desflorestamento e da queima de combustíveis fósseis (ETHERIDGE, 1998).

O fenômeno do efeito estufa pode ser compreendido como um processo terrestre natural. Porém, as ações antrópicas vêm aumentando drasticamente este processo, com a emissão dos GEE (Gases do Efeito Estufa) de longa duração, gerando o aquecimento global. O



CO<sub>2</sub> é um dos mais importantes gases em se tratando de emissões, concentrações e absorção de energia (RODRIGUES, 2013). E de acordo com Goldemberg; Lucon (2007), o principal gás responsável pelo aumento do efeito estufa é o CO<sub>2</sub>, que é proveniente da queima de combustíveis fósseis, emitidas diretamente pelas atividades antropogênicas, afetando o balanço do carbono no planeta.

No caso do aumento dos níveis de CO<sub>2</sub>, sendo este gás fonte primária de carbono responsável pela produção de biomassa vegetal através da fotossíntese, espera-se que a elevação de seus níveis aumente a taxa de crescimento das plantas, resultando em maiores produtividades (STRECK, 2005; MARTINEZ et al., 2015). Porém, maiores níveis de CO<sub>2</sub> deverão causar redução na condutância estomática, devido à menor abertura dos estômatos, reduzindo as perdas de água por transpiração (LEAKEY, 2009; SILVA et al., 2012). A redução da transpiração, portanto, diminui a quantidade de água conduzida através dos vasos condutores da planta e absorvida pelas raízes, restringindo a taxa de absorção de nutrientes, o que poderá acarretar adubações maiores para que se possa manter os atuais índices de produtividade (WALTER et al., 2015).

## 2.6. MODELAGEM DE CULTURAS AGRÍCOLAS

A mudança climática global devido ao seu constante aumento dos GEEs na atmosfera, tende a ocorrer o aumento de temperaturas, assim como mudanças nos padrões de chuva. Estas alterações nos padrões terão efeitos amplos sobre o ambiente e, de modo consequente, sobre os recursos hídricos e agricultura. O Brasil, sendo um país de grande extensão territorial, mostra variações acentuada nos padrões climáticos, sendo possíveis alterações climáticas que poderão implicar na produção agrícola (ASSAD et al., 2004; PBMC, 2013). No entanto, modelos de crescimento e desenvolvimento de culturas, tem se mostrado ótimas ferramentas na compreensão da elevada taxa de níveis de CO<sub>2</sub>, do aumento da temperatura do ar e as variações na chuva, e se influenciarão o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas (RAUFF; BELLO, 2015).

A modelagem de distribuição potencial (MDP) foram desenvolvidos inicialmente como uma importante ferramenta para estimar a distribuição geográfica potencial de organismos em regiões pobremente amostradas, e se tornou um procedimento comum para determinar a amplitude da distribuição geográfica das espécies e culturas (EVANGELISTA, 2011; RAXWORTHY et al., 2003). Pois, é uma técnica usada para estimar áreas de real ou potencial

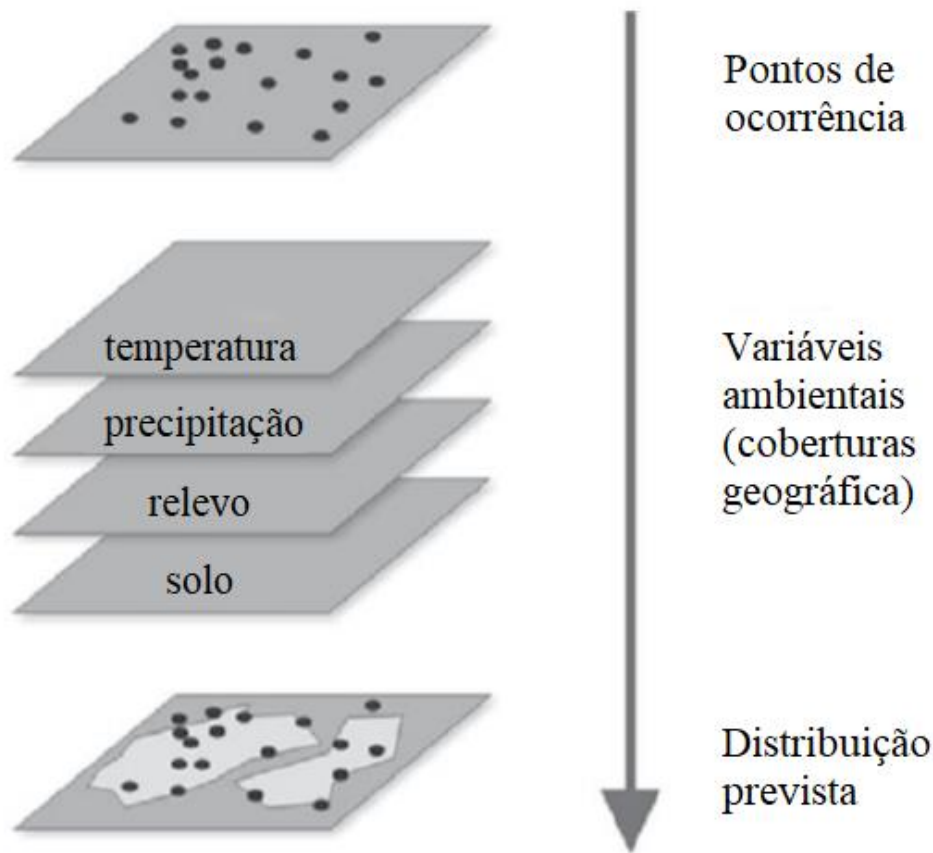
distribuição, ou conjuntos de habitats favoráveis para uma determinada espécie, com base em suas presenças observadas e, algumas vezes, ausências. Esses métodos relacionam nichos com áreas de distribuição (SOBERÓN; NAKAMURA, 2009).

O aumento da atividade de pesquisa referente aos efeitos das mudanças climáticas, sobre a biodiversidade, aponta que se trata de uma preocupação mundial. A forma mais direta e operacional de analisar os efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade está na análise das alterações das áreas de distribuições das espécies (contração ou expansão). De acordo com essa abordagem, as distribuições potenciais atuais das espécies são correlacionadas com variáveis climáticas com o objetivo de determinar um envelope climático (que delimita o conjunto de condições ambientais que são teoricamente adequadas para a persistência das espécies) (LACERDA, 2013).

A MDP de uma dada unidade biológica é realizada através das características ambientais de pontos de ocorrências já conhecidos (GIOVANELLI et al., 2010). O modelo decorrente representa uma aproximação do potencial de distribuição, como locais com condições que podem permitir a sobrevivência da espécie, de acordo com as variáveis utilizadas (Figura 6). Porém o modelo não aponta a distribuição fina da espécie, devido a diversos fatores histórico-evolutivo, barreiras geográficas, interações bióticas e interações antrópicas (PHILLIPS et al., 2006).

Modelos de distribuição de espécies, também conhecidos como modelos bioclimáticos ou modelos de nicho ecológico - ENMs, são métodos úteis para calcular a ocorrência de espécies em áreas anteriormente não avaliadas (GUISAN; ZIMMERMANN, 2000; GUISAN; THUILLER, 2005). Os resultados produzem previsões probabilísticas de onde a espécie poderá ou não estar presente e a área projetada reproduz a distribuição potencial da espécie estudada apoiada nos preditores ambientais utilizados na modelagem (GUISAN; THUILLER, 2005; ARAÚJO; GUISAN, 2006).

As ENMs usam os aspectos ambientais de ocorrência das espécies para definir as áreas com maior adequabilidade para a população (PETERSON et al., 2011). Estes modelos, são ferramentas estatísticas e computacionais usadas para avaliar a adequação ambiental das espécies em toda a sua extensão geográfica e gerar hipóteses sobre mudanças em sua distribuição (GASTÓN et al., 2011; VAZ et al., 2015).



Fonte: PEREIRA; SIQUEIRA, 2007.

**FIGURA 6** – Esquema representativo do processo de criação de um modelo de distribuição de espécie, mostrando a sobreposição de pontos de ocorrências com as variáveis ambientais (coberturas geográficas), resultando na distribuição prevista.

O MaxEnt é um modelo muito utilizado para indicar probabilidades de distribuição, a partir de informações incompletas, com poucos dados (PHILLIPS et al., 2006), pois disponibiliza um excelente potencial para extrair informações biogeográficas úteis a partir de poucos registros de ocorrências das espécies (PEARSON et al., 2007).

O MaxEnt prediz uma distribuição potencial baseando-se no princípio de que esta distribuição deve ser condizente com tudo que é conhecido para a espécie, mas devendo evitar limitações infundadas. Desta forma, o MaxEnt encontra a probabilidade de distribuição com máxima entropia, a qual é próxima da distribuição uniforme, mas que é restringida pelas informações disponíveis (PHILLIPS et al., 2006). O Modelo MaxEnt foi empregado em vários trabalhos como do Sciamarelli et al, 2008, Gheshlagh et al., 2017 e Parreira, 2018 e vários outros, como estimativa de modelagem e predição de espécies.

O programa R é uma linguagem e ambiente para computação e gráficos estatísticos, um conjunto integrado de instalações de software para a manipulação de dados, cálculo e exibição gráfica, pois, o R fornece uma ampla variedade de técnicas estatísticas e técnicas gráficas e é altamente extensível (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019).

Estes modelos de distribuição podem contribuir para a avaliação do estado de conservação das regiões de ocorrência preferencial das espécies e mesmo para monitorar alterações do uso da terra, barramentos, retificações, agricultura e de características hidrográficas. As bases de dados existentes em sistemas de informação geográficas (SIG) são ferramentas úteis nesta avaliação, incluindo informações que servem como suporte de decisão para guiar políticas de conservação e manejo, como também para tomar decisões no campo (DAUWALTER; RAHEL, 2008).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foram utilizados os registros de ocorrência de distribuição da soja disponíveis no banco de dados do BIEN *Data Geoportal* (<http://biendata.org/>). Utilizou só registro de ocorrência da cultura no Brasil para descrever seu nicho ecológico. Foi realizada uma análise fatorial com rotação Varimax nos dados de distribuição do site BIEN, que é uma maneira de reduzir um conjunto de dados que é mais manejável e mais compreensivo, pois eles transformam os fatores iniciais em novos fatores mais fáceis de interpretar.

Realizou-se o download da base de dados climáticos, para o clima atual (~1950-2000), (WORLDCLIM, 2004), e dos dados futuros (2xCO<sub>2</sub>, condições climáticas, modelo CCM3), ambos com resolução de 10 minutos (~340 km<sup>2</sup>) (GOVINDASAMY et al., 2003). Os pontos de ocorrência foram mapeados na grade de células com resolução espacial de 10 minutos (~340 km<sup>2</sup>). Os dados obtidos do banco de dados do BIEN não determinam qual variedade foi plantada em cada município, pois o melhoramento genético de plantas tem aumentado a produtividade das culturas, e reduzindo o efeito climático sobre elas.

A modelagem de distribuição potencial frente às mudanças climáticas foi realizada com os dados de variações climatológicas e de altitude obtidos do banco de dados do *site WorldClim version 1.4* (<http://worldclim.org/>) – Global Climate Data é uma base de dados climáticos globais que fornece *layers* em diferentes resoluções espacial referentes ao clima atual, e para cenários climáticos passados e futuro, os dados podem ser utilizados para mapeamento e modelagem espacial (HIJMANS et al., 2005), com resolução espacial de 10 minutos (~340 Km<sup>2</sup>), das 19 variáveis bioclimáticas disponíveis, 4 foram selecionadas pelo método de ordenação – PCA (Análise de Componentes Principais) que reduz a dimensionalidade do conjunto inicial, proporcionando coerência na explanação dos resultados dos modelos (SEGURADO et al., 2006), considerando-se a correlação entre as variáveis de maneira a minimizar sua colinearidade (TERRIBILE et al., 2012). As variáveis climáticas utilizadas nas ENMs foram:

Bio 1 = Temperatura média anual;

Bio 7 = Faixa anual de temperatura;

Bio 14 = Precipitação do mês mais seco;

Bio 16 = Precipitação do trimestre mais chuvoso;

E uma variável topográfica (altitude – DEM).

A escolha das variáveis bioclimáticas está relacionado ao estudo de modelagem de distribuição de espécie – (MDE) que são realizados utilizando o método correlativo, que compara os registros de campo das espécies com um conjunto de preditos ambientais (GUISAN; THUILLER, 2005; GUISAN; ZIMMERMANN, 2000). De tal forma, a MDE opera obtendo as condições ambientais adequadas aos organismos, para, então, identificar o conjunto de habitats que satisfazem as suas necessidades no espaço geográfico (PEARSON, 2010). Estes dados servem de preditor da distribuição das espécies, para o sucesso dos modelos produzidos.

As variáveis selecionadas são importantes para gerar os modelos de distribuição pois, a temperatura é um fator que afeta a planta, interferindo no ciclo e na biometria da planta. As condições ótimas de temperatura para a cultura da soja estão entre 20°C e 30°C, sendo a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento está em torno de 30°C, e 25°C a temperatura ideal para emergência rápida e uniforme (GIANLUPPI et al., 2009; EMBRAPA, 2011; FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Para gerar os modelos de distribuições potenciais da soja, foi realizada projeções de abrangência desta cultura a partir do modelo Maximum Entropy (MaxEnt; PHILLIPS et al., 2006), implementado no software R 3.6.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019). O MaxEnt utiliza os dados de presença e pseudo-ausência, que busca encontrar a distribuição mais próxima da distribuição uniforme (PHILLIPS et al., 2006).

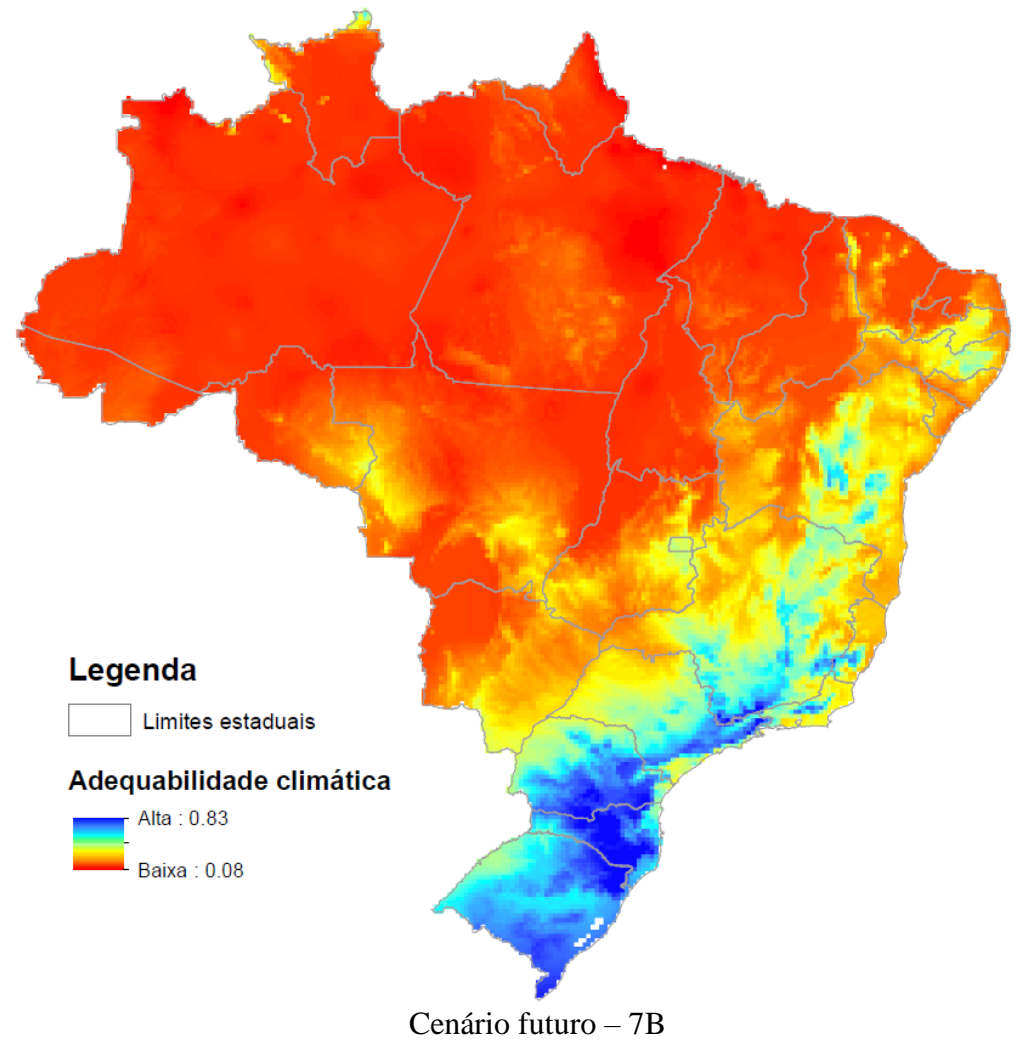
Partindo desses dados obtidos com o mapa foi realizado o zoneamento para a cultura da soja, sob condições climáticas futuras para o ano de 2070, estes dados foram baseados nos cenários de emissão RCP4.5, derivados de quatro Modelos de Circulação Geral Atmosfera-Oceano (AOGCM), estes dados de previsão são baseados na emissão de CO<sub>2</sub>. Após a obtenção destes modelos de distribuição, eles foram tratados no ArcGis 10.2.2 (ESRI, 2014) para ter uma melhor apresentação visual dos mapas. E a partir desta geração de mapas de predição, foram definidas as regiões de maior probabilidade futura da ocorrência, comparando os mapas de distribuição atual e futuro da cultura.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adequação ambiental para o cultivo da soja no Brasil no cenário atual – Figura 7A, atingiu seus maiores valores na Região Sul e Sudeste do país, onde está representada por cores mais frias, sendo áreas consideráveis favoráveis ao cultivo da soja, atingindo valores próximos de 0,88, que indicam que são áreas mais propícias para produção da cultura. Na medida em que vai diminuindo a latitude diminuem-se as condições de adequabilidade da cultura, representadas pelas cores quentes, sendo que a Região Norte apresenta os menores valores de adequação ambiental, com valores entre 0,0 a 0,09. Algumas áreas da Região Centro-Oeste e o Nordeste do Brasil apresentam certas adequabilidades para o cultivo da soja.

No cenário futuro – Figura 7B, as áreas de distribuição da soja pelo país tendem a migrar para o Sul do país, região na qual ainda apresentará boas condições para o cultivo da cultura, pois, as temperaturas apresentaram essas melhores condições, nas áreas mais ao Norte do país perderão sua adequação ambiental, apresentando condições desfavoráveis para a produção de soja, devido as altas temperaturas. Comparando os dois cenários, à previsão para o cenário de 2070, o país pode perder mais da metade da sua área cultivável em relação as condições climáticas - Figura 8. As áreas favoráveis a cultura onde apresentava condições adequáveis com valores próximos de 0,88, perderá estas condições, com valores menores chegando a 0,83. E áreas com boas condições e valores medianos, diminuirá drasticamente, migrando toda a produção para as regiões mais ao Sul do Brasil. A região Norte do país não apresentará dados de adequabilidades em praticamente toda a sua região, com valores de 0,0 a 0,8, e também grande parte da região Centro-Oeste e Nordeste do país.

Os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo MaxEnt foram avaliados pelo valor de AUC. O valor de AUC (*area under the ROC curve*) é a métrica de avaliar os modelos de distribuição, uma vez que trabalha com precisões das classificações, e mede a qualidade das previsões do modelo, os valores para classificação varia entre 0,0 a 1,0, em que valores acima de 0,5 são considerados melhores modelos de previsões. O valor obtido para este modelo foi AUC=0,828.



Fonte: Autor, 2019.

**FIGURA 7** – Modelo de distribuição potencial da soja para o cenário atual – 7A (2019) e futuro – 7B (2070), obtidos a partir do modelo MaxEnt.



Das variáveis utilizadas na geração dos modelos de distribuição, as que mais influenciaram no modelo foram relacionadas com a temperatura média anual e precipitação do trimestre mais chuvoso (Tabela 1). A temperatura média anual foi a qual apresenta maior ganho de informação, já as variáveis bioclimáticas de faixa anual de temperatura e precipitação do mês mais seco não teve nenhuma interferência na modelagem dos mapas.

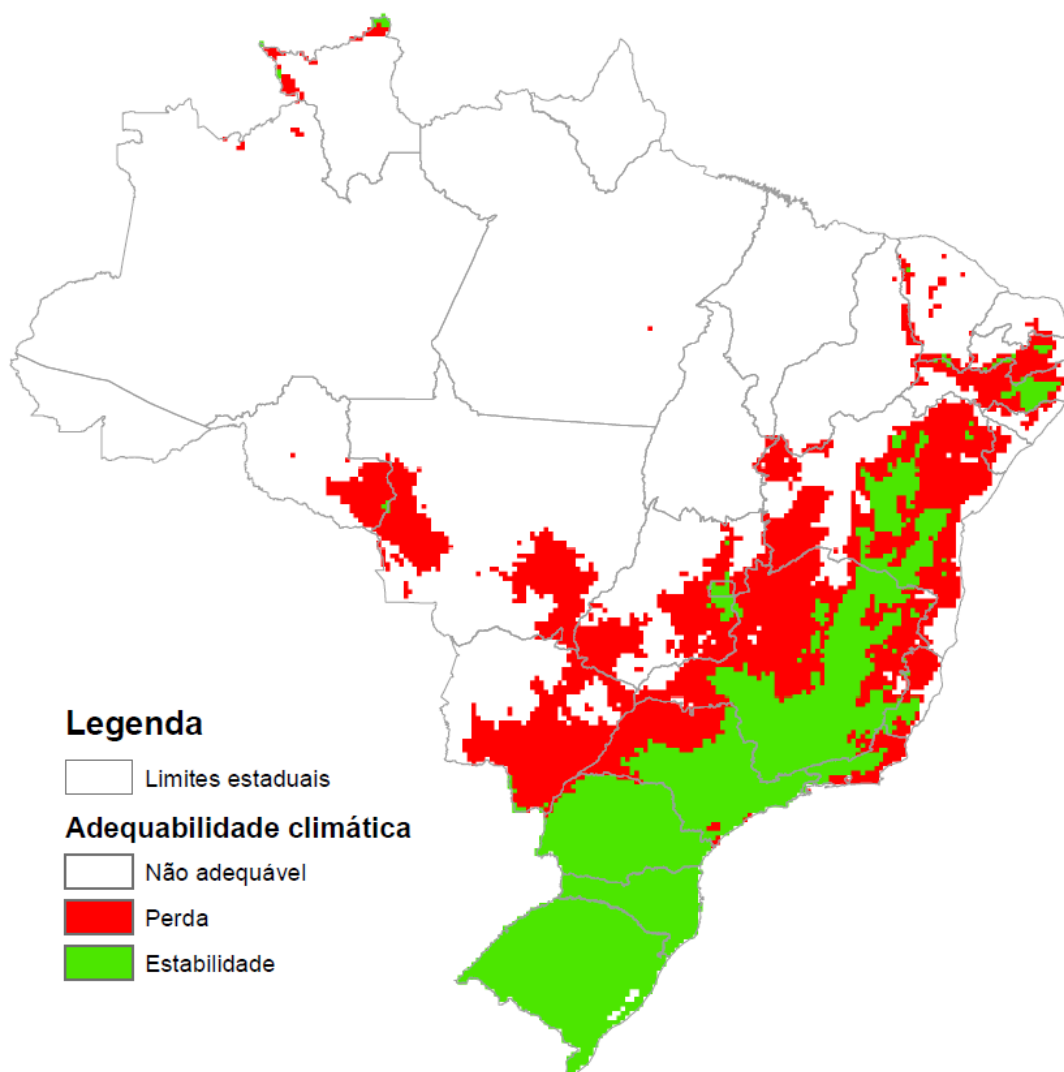
**TABELA 1** – Valores de contribuição de cada variável incluída no modelo de distribuição potencial gerado para a cultura da soja.

Variável	Contribuição (%)
Temperatura média anual (Bio1)	99,7
Faixa anual de Temperatura (Bio7)	0,0
Precipitação do mês mais seco (Bio14)	0,0
Precipitação do trimestre mais chuvoso (Bio16)	0,3

Fonte: Autor, 2019.

A distribuição da cultura da soja no Brasil no cenário atual comparada ao cenário futuro, está relacionada a sua distribuição sem tecnologias envolvidas, pois se tratava de uma cultura restringida a regiões de clima temperado ou, no máximo, subtropical, razão pelo qual o seu cultivo está limitado ao Sul do país, o que pode influenciar na produtividade agrícola e na sua distribuição pelo Brasil, mas os avanços tecnológicos influenciaram a sua distribuição pelo país, com o melhoramento genético, irrigação, mecanização, equipamentos, adubação, agroquímicos e outro fatores tecnológicos. Regiões hoje onde tem altas produções da cultura como no Centro-Oeste, não apresentam boas condições neste mapa atual, pois os modelos de distribuição foram baseados em cenários onde somente as condições climáticas pode interferir.

Na Figura 8, pode-se observar as áreas que apresentaram perda de adequabilidade climática comparada ao cenário atual e ao cenário futuro (2070), as áreas em vermelho mostram toda essa perda de adequabilidade climática, e as áreas em verde mostram as áreas estáveis que apresentam estabilidade climática, sendo favoráveis para a cultura da soja.



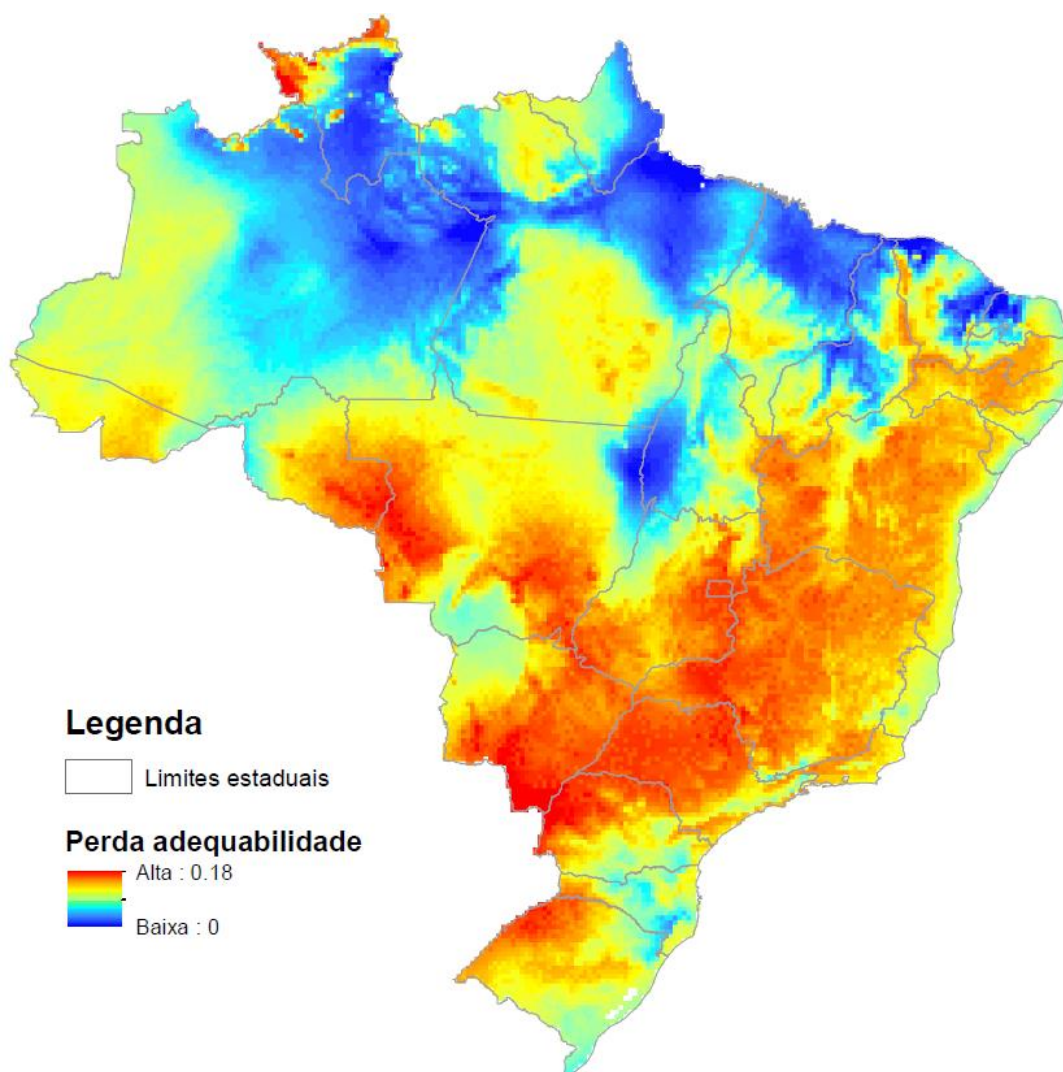
Fonte: Autor, 2019.

**FIGURA 8** – Modelo de distribuição da perda e estabilidade da adequabilidade climática da cultura da soja no Brasil, comparando o cenário atual e o cenário futuro.

Já na Figura 9, podemos observar as áreas que apresentaram maior perda de adequabilidade climática para a cultura da soja, onde regiões com cores mais quentes apresentou maior perda, sendo estas áreas as de maior produção agrícola responsáveis por grande parte da produção de grãos de soja do país, como por exemplo a Região Sul, Sudeste e Centro-Oeste e parte da região Nordeste, essa alta perda de adequabilidade apresentou valor próximo de 0,18. Áreas com cores mais frias presentou perda de adequabilidade climática ou até mesmo nenhuma perda climática, como por exemplo, na região Norte onde não apresenta adequabilidade climática para a cultura, com valores baixos de 0,5, chegando a 0,0.

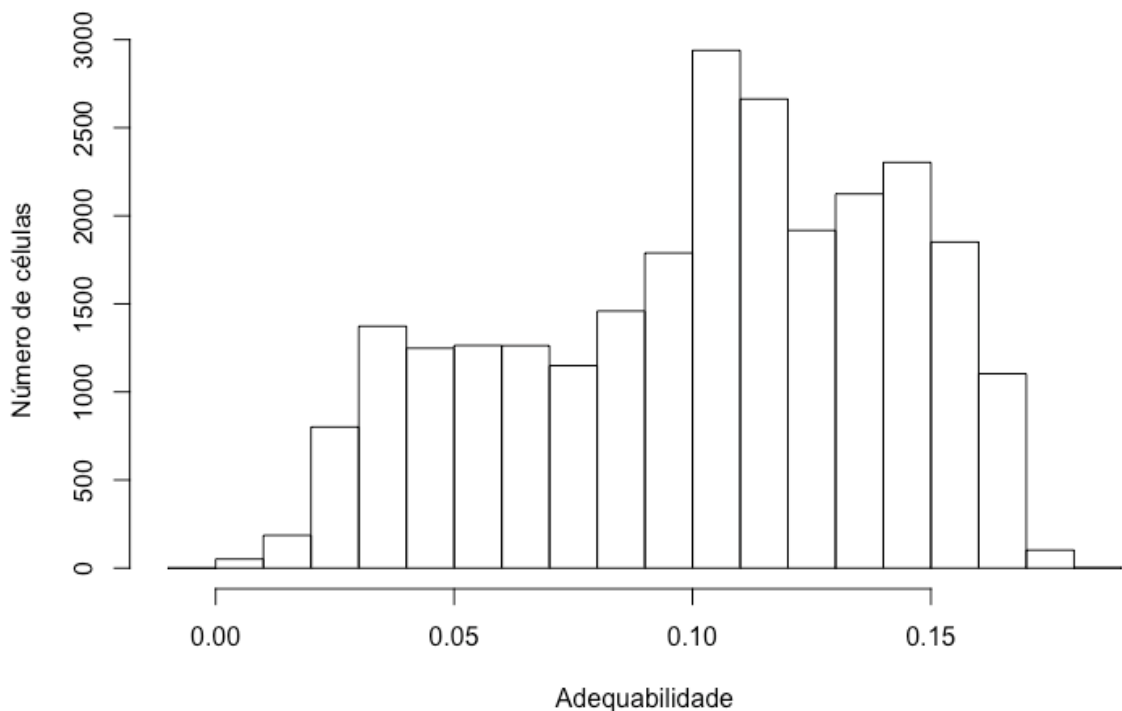
O gráfico representa esta perda de adequabilidade climática mais detalhada, sendo de melhor visualização e compreensão estatisticamente comparando ao mapa, Figura 9,

demonstrando quais foram as maiores perdas, e quais as quantidades de células apresentaram maior perda. Como pode-se observar que os valores de perda de adequabilidade de 0,10 a 0,15 apresentou maior perda de área (número de células), como mostra na Figura 10.



Fonte: Autor, 2019.

**FIGURA 9** – Modelo de distribuição da perda de adequabilidade climática, mostrando as áreas que terá maior está maior perda no Brasil.



Fonte: Autor, 2019.

**FIGURA 10** – Gráfico da perda de adequabilidade climática com o número de células atingidas por estas perdas.

Os fatores climáticos foram os que mais influenciaram na explicação da produtividade da soja no país, como na região Sul e Centro-Oeste do Brasil que apresentam um significativo avanço tecnológico, o que ajuda a explicar as boas produtividades da região em relação a outras regiões do país. Com estes avanços nas tecnologias de melhoramento genético, o principal centro produtor da oleaginosa migrou da região Sul para a região Central do país.

A introdução da soja na região Norte do país e um avanço tecnológico (EMBRAPA, 2005), pois, a implantação de programas de melhoramento de soja no Brasil possibilitou estes avanços da cultura para as regiões de baixas latitudes, por meio do desenvolvimento de cultivares mais adaptadas, usando a incorporação de genes que atrasam o florescimento mesmo em condições de fotoperíodo indutor, transferindo a característica de período juvenil longo (KIIHL; GARCIA, 1989). A adoção de tecnologias mostraram ser um fator muito importante para explicar as altas produtividades em todo o Brasil, nas regiões com baixa adequação ambiental demonstraram ter a maior importância da tecnologia agrícola.

Essas tecnologias permitiram produzir em regiões em que não haviam nenhuma adequabilidade favorável a cultura, porém, as mudanças climáticas podem interferir nessas tecnologias e levar a grandes mudanças socioeconômicas, principalmente porque estes recursos tecnológicos demandam altos investimentos e os pequenos agricultores não apresentam

condições financeiras necessárias para esses recursos tecnológicos (ASSAD et al., 2013). Por isso, os riscos das variações climáticas intensificaram a importância da tecnologia na agricultura (ABBERTON et al., 2016).

As mudanças climáticas mostraram que podem interferir nas áreas de cultivo da soja pelo Brasil, provocando impactos na produção e na sua distribuição geográfica, principalmente na região Norte e Central do Brasil, migrando as áreas mais produtoras e cultiváveis para o Sul do país, região no qual a cultura teve entrada no Brasil, pois apresentou melhor adaptação inicial (SEDIYAMA et al., 2013), portanto, espera que a região Sul seja mais afetada pelas variações climáticas.

Pela demanda de informações, este fato tende a apoiar mais o uso de modelos de distribuições potencial, visando prever a futura distribuição da cultura da soja, junto com o uso e avanços de tecnologias voltadas para o melhoramento genético e da agricultura aplicada. O aumento de investimentos em tecnologias agrícolas, tornou-se importante para aumentar a produtividade da agricultura, melhorando a genética das cultivares, reduzindo os efeitos negativos de doenças, pragas e mudanças climáticas (GODFRAY et al., 2010).

As vantagens do uso deste tipo de ferramenta são crescentes em virtude da necessidade de informações rápidas e fundamentadas para direcionar ações conservacionistas, o que pode evitar a perda acelerada da biodiversidade (GIANNINI, 2012). Com essas estimativas da distribuição potencial, identificamos as áreas que poderão ter maior adequabilidade climática para a ocorrência da cultura da soja e as que perderão essas condições favoráveis, segundo os dados de variações climáticas, essas estimativas poderão ser usadas para investimentos tecnológicos nestas regiões.

Como a soja é uma das culturas mais importantes para economia do Brasil e para o suprimento global, nossos resultados mostram a importância de desenvolver estratégias para minimizar os impactos das mudanças climáticas sobre a produção, para manter essas altas produtividades em áreas já produtoras. Portanto, para atingir os níveis de produtividade esperado nas regiões de menores abrangências, em um futuro com mudanças climáticas, a tecnologia terá papel fundamental, conseqüentemente, serão gastos mais recursos em tecnologias. Este estudo pode subsidiar pesquisas e trabalhos de melhoramento genético de cultura e zoneamento agroclimático.

## 5. CONCLUSÃO

A partir da geração dos modelos de distribuição potencial foi possível verificar que em condições comparando o cenário atual e futuro, o Brasil pode ter uma diminuição da sua adequabilidade climática em torno de 50% da área cultivável com soja. Uma das soluções para superar estes impactos climáticos sobre a agricultura é a adoção de estratégias tecnológicas que se adapte às variações climáticas de maneira a aumentar a produção das áreas em cultivo, ou que pelo menos minimize os impactos sobre a cultura, podendo sofrer alterações na data de semeadura da soja, evitando estresse hídrico, e aumentando os investimentos em melhoramentos genéticos, com espécies tolerantes a seca.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBERTON M.; BATLEY J.; BENTLEY A.; BRYANT J.; CAI H.; COCKRAM J.; EDWARDS D. **Global agricultural intensification during climate change: a role for genomics.** *Plant Biotechnol J*; 14, 1095–1098, 2016.

ALAMBERT, M. R. **Estimação estocástica de parâmetros produtivos da soja: uso do modelo PPDSO em um estudo de caso em Piracicaba/SP.** 2010. Tese (MPA em Fitotecnia) – Escola de Economia de São Paulo, São Paulo.

ALLIPRANDINI, L. F. et al. Understanding Soybean Maturity Groups in Brazil: Environment, Cultivar Classification, and Stability. **CROP SCIENCE**, VOL. 49, MAY–JUNE 2009.

ALMEIDA, I. R. de., **O Clima como um dos fatores de expansão da cultura da soja no Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso.** 2005. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, São Paulo.

ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas.** Santa Maria, Ed. da UFSM, 1999. 142p.

ARAÚJO, B. A.; GUIBAN, A. **Five (or so) challenges for species distribution modelling.** *Journal of Biogeography*, 33: 1677-1688, 2006.

ARAÚJO, M. B.; THULLER, W.; PEARSON, R. G. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. **Journal of Biogeography**, 33, 1712–1728, 2006.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1057 – 1064, 2004.

ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; EPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. *Biogeosciences*, v. 10, n. 10, p. 6141-6160, 2013.

BARBOSA, F. G. **Modelos de distribuição de espécies invasoras: tendências e aplicações.** 2011. Disponível em:  
<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/49285/000827764.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 28 Ago. 2019.

BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R. BREGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do

tanque “classe A” e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, v.22, p.251-259, 1986.

BONATO, E.R., BERTAGNOLLI, P.F., IGNACZAK, J.C.; TRAGNAGO, J.L.; RUBIN, S de A, L. Desempenho de cultivares de soja em três épocas de semeadura, no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.879-884, 1998.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 4 ed. Viçosa: UFV, 2005. P.525.

CÂMARA, G.M.S. **Soja: tecnologia da produção II**. Gil Miguel de Sousa Câmara (editor). Piracicaba: G.M.S. Câmara, 450p, 2000.

CÂMARA, G.M.S.; SEDIYAMA, T.; DOURADO-NETO, D.; BERNARDES, M.S. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agricola**, v.54, p.149-54, 1997.

CARVALHO, J. L. N.; GALDOS, M. V.; CERRI, C.E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. CERRI, C.C A soja e os novos desafios mundiais. **In: Soja e CIA**. CAMARA, G. M. de S. Piracicaba, 334p, 2009.

COLOMBO, A. F. **Conseqüências potenciais das mudanças climáticas globais para espécies arbóreas de Mata Atlântica**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ecologia. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia. 2007.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Series históricas das safras. 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>> . Acesso em: 15 Ago 2019.

CORRÊA, S.T.R. **Avaliação do modelo LINTUL (Light Interception and Utilization) para estimação da produtividade potencial da cultura da soja** 2008. 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

DAUWALTER, D.C.; RAHEL, F.J. Distribution modelling to guide stream fish conservation: an example using the mountain sucker in the Black Hills National Forest, ESA. **Aquatic Conservation: Marine and Fresh Water Ecosystems**. 18: 1263-1276, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 235p, 1979. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

EGLI, D.B.; WARDLAW, I.F. Temperature response of seed growth characteristics of soybeans. **Agronomy Journal**, v.72, p.560-564, 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. A soja no Brasil. In: Embrapa, Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil - 2005. Disponível em: <[http://www.cnpso.embrapa.br/download/publicacao/central\\_2005.pdf](http://www.cnpso.embrapa.br/download/publicacao/central_2005.pdf)>. Acesso em: 06 Nov 2019.



EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil 2004.** Sistemas de Produção, n. 1. Londrina: Embrapa Soja. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54358/1/Sistemas-de-Producao-4.pdf>>. Acesso em: 14 Jun. 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivares de Soja: Regiões Norte e Nordeste do Brasil.** Londrina: Embrapa - CNPSo, 2011. 50 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivares de Soja: Macrorregiões 3, 4 e 5 Goiás e Região Central do Brasil.** Londrina: Embrapa - CNPSo, 2012. 23 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil, 2009 e 2010.** Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262p. (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, n.13).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil 2012 e 2013.** Sistemas de Produção, n. 15. Londrina: Embrapa Soja, 2011. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/SP15-VE.pdf>>. Acesso em: 19 Ago 2019.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2014.** Sistemas de produção, n.16. Londrina: Embrapa Soja. 2013.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Soja. Soja em números (safra 2018/19). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 28 Ago 2019.

ESRI, ArcGIS 10.2.2 - **Geographical Information System. Environment System Research Institute, Inc.,** Readlands, CA. 2014.

ETHERIDGE, D.; STEELE, M.L.P.; LANGENFELDS, R.L.; FRANCEY, R.J.; BARNOLA, M.; MORGAN, V.I. Historical CO<sub>2</sub> records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores. In: **A Compendium of Data on Global Change.** Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., 1998.

EVANGELISTA, B. A. **Projeção de cenários atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambiente de cerrado.** 2011. 164 p. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/256885>>. Acesso em: 17 mar 2018.

FAGERIA N.K.; MOREIRA A.; CASTRO C.; MORAES M.F. Índices de acidez ótima para produção de soja em latossolos brasileiros. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** New York, v. 44, n. 20, p. 2941-2951, 2013.

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; 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**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília: INMET, p. 263-277, 2009.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Circular técnica, n.48). Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/circtec48\\_000g3bkhmrq02wx5ok0r2ma0nxz1b1po.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/circtec48_000g3bkhmrq02wx5ok0r2ma0nxz1b1po.pdf)>. Acesso em: 28 Ago 2019.

FICETOLA, G. F., THUILLER, W. & MIAUD, C. **Prediction and validation of the potential global distribution of a problematic alien invasive species - the American bullfrog**. – *Diversity and Distributions* 13: 476-485, 2007.

GARCIA, A.; PÍPOLO, A. E.; LOPES, I. de O. N.; PORTUGAL, F. A. F. **Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas**. Londrina: Embrapa Soja, 11 p. 2007. (Embrapa Soja. Circular técnica, 51).

GARNER, W.W.; ALLARD, H.A. Photoperiodic response of soybeans in relation to temperature and other environmental factors. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.41, p.719- 735, 1930.

GASTÓN A., GARCIA-VIÑAS J.I., Modelling species distributions with penalised logistic regressions: A comparison with maximum entropy models. **Ecol Modell.** 222: 2037-2041, 2011.

GHESHLAGH, A.M.; HERNÁNDEZ-VERDUGO, S.; RUEDA-PUENTE, E.; SORIA-RUIZ, J.; TERRAZASA, S.; PACHECO-OLVERA, A; MAFAKHERI, N. **Climate change impact on *Olneya tesota* A. Gray (Ironwood) distribution in Sonoran desert using MaxEnt Modeling approach**. *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 1(2), pp.110-117, 2017.

GIANLUPPI, V. et al. **Cultivo de soja no cerrado de Roraima**. Sistema de Produção, Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/CultivodeSojanoCerradodeRoraima/clima.htm>>. Acesso em: 10 Ago 2019.

GIANNINI, T.C.; SIQUEIRA, M.F.; ACOSTA, A.L.; BARRETO, F.C.C.; SARAIVA, A.M.; ALVES-DOS-SANTOS, I. **Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies**. *Rodriguésia*, v.63, p.733-749, 2012. DOI: 10.1590/S2175-78602012000300017.

GIOVANELLI, J. G. R. SIQUEIRA, M.F.; HADDAD, C.F.B.; ALEXANDRINO, J. Modelling a spatially restricted distribution in the Neotropics: How the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. **Ecological Modelling**, v.221, p.215-224. 2010.

GODFRAY H.C.J.; BEDDINGTON J.R.; CRUTE I.R.; HADDAD L.; LAWRENCE D.; MUIR J.F.; TOULMIN C., Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, 327: 812-818, 2010.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**. v. 21, p.59, 2007.

GOUDRIAAN, J.; VAN LAAR, H.H. **Modelling potential crop growth processes**: textbook with exercises. Amsterdam: Kluwer Academic Press, 238 p. 1994.

GOVINDASAMY, B.; DUFFY, P. B.; COQUARD, J. **High-resolution simulations of global climate, part 2: effects of increased greenhouse cases**. *Climate Dynamics* 21: 391–404, 2003.

GUISAN, A.; BROENNIMAN, O.; ENGLER, R.; VUST, M.; YOCCOZ, N. G.; A. Lehmann & N. E. Zimmermann. Using niche-based models to improve the sampling of rare species. **Conservation Biology** 20: 501-511, 2006.

GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters** 8: 993-1009, 2005.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. **Predictive habitat distribution models in ecology**. *Ecological Modelling*, 135: 147-189, 2000.

HARTMAN, G. L.; WEST, E. D.; HERMAN, T. K. Crops that feed the World 2. Soybean-worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. **Food Security**, Beltsville, v. 3, p. 5-17, 2011.

HARTWIG, E.E. Varietal development. In: CALDWELL, B.E. (Ed.). Soybeans: improvement, production and uses. **American Society of Agronomy**, p.182-210, 1973.

HESKETH, J.D.; MYHRE, D.L. WILLEY, C.R. 1973 Temperature control of time intervals between vegetative and reproductive events in soybeans. **Crop Science**, v.13, p.250-254, 1973.

HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L.; JONES, P.G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, 25(15), pp.1965-1978, 2005.

HIROMOTO, D. M.; VELLO, N. A. The genetic base of Brazilian soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. **Revista Brasileira de Genética**, v.9, n.2, p.295-306. 1986.

HOFSTRA G. Response of soybeans to temperature under high light intensities. **Canadian Journal of Plant Science**, v.52, p.535-543, 1972.

IBGE, Agência de Notícias, Pesquisa Agrícola Municipal. **Recordes de produção de soja e milho impulsionaram agricultura em 2015**. 2016. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/9812-pesquisa-agricola-municipal-recordes-de-producao-de-soja-e-milho-impulsionam-agricultura-em-2015>>. Acesso em: 08 Mai 2019.

JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. Cambridge: Cambridge University Press, 428p. 1994.

KIIHL, R.A.S.; GARCIA, A. **The use of the long-juvenile trait in breeding soybean cultivars**. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4., p. 994-1000, 1989.

LACERDA, P. O. **Modelagem da distribuição geográfica atual e futura de *Guerlinguetus* (Rodentia, Scuridae) no Brasil**. 2013. Tese (Pós-Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

LEAKEY, A. D. B. Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C4 crops for food and fuel. **Proceedings of the Royal Society B**, London, v. 276, p. 2333 – 2343, 2009.

MARION, E. **Parâmetros hídricos para estimativa do rendimento de sementes de soja**. 2004. 102f. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis, 2004.

MARTINEZ, C. A.; OLIVEIRA, E. A. D. de; MELLO, T. R. P.; MARIN, A. L. A. Respostas das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e da temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 8, p. 635 – 650, 2015.

MELO, R.W. **Parametrização de modelo para estimação da produtividade da soja nas regiões do Planalto Médio, das Missões e do Alto Vale do Uruguai, Rio Grande do Sul**. 2005. 196 f. Teses (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 31 p. 2005.

NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. **Características da soja**. 2008. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01\\_24\\_271020069131.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_24_271020069131.html)>. Acesso em: 29 ago 2019.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; BARROS, H. B.; TEIXEIRA, R. C. Morfologia, crescimento e desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecnas, p. 7-16, 2009.

OBERHAUSER, K.; PETERSON, A. T. **Modelling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies**. PNAS, 100, 24: 14063–14068, 2003.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 425p. 1981.

PACHAURI, R.; REISINGER, A. **Climate change 2007: Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, Geneva: IPCC, pp. 104, 2007. Disponível em:

<[https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/en/contents.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html)>. Acesso em: 15 Mar 2019.

PARREIRA, M.; TERESA, F.; NABOUT, J.; TESSAROLO, G.; LIMA-RIBEIRO, M. Disentangling uncertainties from niche modeling in freshwater ecosystems. **Ecological Modelling**. 391. 1-8, 2018.

PASCALE, A. J. Tipos agroclimáticos para el cultivo de la soya en la Argentina. **Revista de La Facultad de Agronomía e Veterinaria**, v.17, p.31-38, 1969.

PBMC, PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Contribuição do grupo de trabalho 1 ao primeiro relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Sumário Executivo GT1**. PBMC, Rio de Janeiro, 24p., 2013.

PEARSON, R. G. Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. **Lessons in Conservation**. n. 3. p. 54-89, 2010.

PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? - **Global Ecology and Biogeography** 12: 361-371, 2003.

PEARSON, R. G., RAXWORTHY, C. J., NAKAMURA, M. & PETERSON, A. T. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. - **J. Biogeogr.** 34: 102-117, 2007.

PEREIRA, R. S.; SIQUEIRA, M. F. Algoritmo Genético para Produção de Conjuntos de Regras (GARP). **Megadiversidade**, v. 3, n. 1-2, p. 46-55, 2007.

PEREIRA, C.R. **Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 282p. 2002.

PETERSON, A. T.; SÁNCHEZ-CORDERO, V.; SOBERÓN, J.; BARTLEY, J.; BUDDEMEIER, R. W.; NAVARRO-SIGUENZA, A. G. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. **Ecological Modelling**, 144, 21–30, 2001.

PETERSON, A.T., SOBERÓN, J., PEARSON, R.G., ANDERSON, R.P., MARTÍNEZ-MEYER, E., NAKAMURA, M., ARAÚJO, M.B., **Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)**. Vol. 56. Princenton University Press, 2011.

PHILLIPS, S. J., ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v.190, p. 231-259, 2006.

RANGEL, M.A.S. **Minha soja floresceu com porte baixo e agora?** Embrapa artigos, 2006. Disponível em: <<http://www.embrapa.gov.br/imprensa/artigo/2006/artigo.2006-01-12.1615609604>>. Acesso em: 05 ago. 2019.

RAUFF, K. O.; BELLO, R. A Review of crop growth simulation models as tools for agricultural meteorology. **Agricultural Sciences**, Boston, v.6, p. 1098 – 1105, 2015.

RAXWORTHY, C. J. et al. Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature*, v. 426, n. 18-25, p. 837-841, dec. 2003.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 178p. 1987.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. 2019.

RODRIGUES, D. F. **Desenho institucional, poliarquia decisória e formulação da política de mudanças climáticas no Brasil: estudo de caso da comissão interministerial global do clima**. 2013. Tese (Doutorado em Ciência Política) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

RODRIGUEZ, J. P., BROTONS, L., BUSTAMENTE, J. & SEOANE, J. **The application of predictive modelling of species distribution to biodiversity conservation**. - *Diversity and Distributions* 13: 243-251, 2007.

SANTOS NETO, J. T.; LUCAS, F. T.; FRAGA, D. F.; OLIVEIRA, L. F.; PEDROSO NETO, J. C. **Adubação Nitrogenada, com e sem Inoculação de Sementes, na Cultura da Soja**. *Revista FAZU*, n.10, p. 8-12, 2013.

SCIAMARELLI, A.; GUGLIERI-CAPORAL, A.; CAPORAL, F.J.M., **Modelos de distribuição geográfica de *Melinis minutiflora* P. Beauv.(capim-gordura) e *M. repens* (Willd.) Zizka (capim-favorito) em Mato Grosso do Sul, Brasil, utilizando dados bioclimáticos e NDVI/MODIS**, 2008.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 333p. 2015.

SEDIYAMA, T. **Tecnologia de produção de sementes de soja**. Londrina: Mecenas, 314p. 2009.

SEDIYAMA, T. **Tecnologia de produção de sementes de soja**. Londrina: Mecenas, 352p. 2013.

SEDIYAMA, T. **Produtividade da soja**. Londrina: Ed. Mecenas, 310p. 2016.

SEGURADO P., ARAÚJO M.B., KUNIN W.E., Consequences of spatial autocorrelation for niche-based models, *Journal of Applied Ecology*, 43:433-444, 2006.

SILVA, J. B. L. da; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, E. G.; COSTA, L. C.; MIRANDA, G. V. **Development of experimental structure and influence of high CO<sub>2</sub> concentration in maize crop**. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 32, p. 306 – 314, 2012.

SIQUEIRA, T.; PADIAL, A. A.; BINI, L. M. Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a biodiversidade: um panorama sobre as atividades de pesquisa. *Megadiversidade*, v5, nº 1-2, 2009.

SIQUEIRA, M. F.; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. *Biota Neotropica*, v 3: 1-14, 2003.

SOBERÓN, J.; NAKAMURA, M. **Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions.** PNAS, 106: 19644-19650, 2009.

STRECK, N. A. **Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and temperature on crop growth, development, and yield.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, p. 730 – 740, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 719 p. 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Trad. Eliane Romanato Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 719p. 2006.

TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO. **Boletim de Pesquisa de Soja**, Rondonópolis, n.10, p.54-112, 2006.

TERRIBILE L.C., LIMA-RIBEIRO M.S., ARAÚJO M. B., BIZÃO N., COLLEVATTI R.G., DOBROVOLSKI R., et al. Areas of climate stability of species ranges in the Brazilian Cerrado: disentangling uncertainties through time. *Nat Conserv*, 10:152-159, 2012.

UNFCCC - UNITED NATIONS. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. 1992.

URBEN FILHO, G.; SOUZA, P. I. de M. de. **Manejo da cultura da soja sob cerrado: época, densidade e profundidade de semeadura.** In: SIMPOSIO SOBRE CULTURA DA SOJA NOS CERRADOS, 1992, Uberaba, MG. *Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba: POTAFOS, p.267-298, 1993.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, Foreign Agrivultural Service. 2015.

USDA - United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. **Production, Supply and Distribution.** Online: Custom Query. USA, 2018. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>>. Acesso em: 13 Mar. 2019.

VAZ U.L., CUNHA H.F., NABOUT J.C. Trends and biases in global scientific literature about ecological niche models. *Braz J Biol.* 75: 17–24, 2015.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. **Mecanismos de aclimação das plantas à elevada concentração de CO<sub>2</sub>.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 45, p. 1564 – 1571, 2015.

WHIGHAM, D.K.; MINOR, H.C. Agronomic characteristics and environmental stress. In: NORMAN, A.G. (Ed.). **Soybean physiology, agronomy, and utilization.** New York: Academic Press, 1978. p.78-116.

WORLDCLIM – Global Climate Data, 2004. Disponível em: <<https://www.diva-gis.org/climate>>. Acesso em: 07 Jul 2019.